

# 1. OSNOVE DIMENZIONIRANJA

## PARCIJALNI FAKTORI SIGURNOSTI UTJECAJA

slučaj dimenzioniranja	stalni utjecaji $\gamma_G$	promjenjivi utjecaji $\gamma_Q$
<b>granično stanje nosivosti</b>		
- povoljno djelovanje	1,00	0,00
- nepovoljno djelovanje	1,35	1,50
<b>granično stanje uporabljivosti</b>	1,00	1,00

## PARCIJALNI FAKTORI SIGURNOSTI MATERIJALA

situacija dimenzioniranja	parcijalni koeficijent $\gamma_M$
<b>osnovne kombinacije</b>	
-Puno drvo, iverica (particleboards), vlaknatice (fiberboards), drvo u spojevima	1,30
-LLD, "konektor" ploče	1,30
-LVL, šperploče (plywood), OSB (oriented strand board)	1,20
-čelik u spojevima	1,10
<b>slučajne kombinacije</b>	1,00

## FAKTORI KOMBINACIJA

utjecaj	GSN $\psi_0$	GSU $\psi_1$
<b>pokretno opterećenje stropova</b>		
- prostorije za stanovanje, biroi, trgovine do 50m <sup>2</sup> , prolazi, balkoni, prostori u bolnicama	0,7	0,5
- prostorije za skupove, garaže i javne garaže, sportske dvorane, tribine, hodnici u školskim objektima, knjižnice, ahive	0,8	0,8
- izložbeni i prodajni prostori, trgovačke i robne kuće	0,8	0,8
<b>opterećenje vjetrom</b>	0,6	0,5
<b>opterećenje snijegom</b>	0,7	0,2
<b>svi ostali utjecaji</b>	0,8	0,7

### Osnovna kombinacija

$$\sum_i \gamma_{G,i} \cdot G_{k,i} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{j>2} \gamma_{Q,j} \cdot \psi_{0,j} \cdot Q_{k,j}$$

### Pojednostavljene kombinacije

$$\gamma_G \cdot \sum_i G_{k,i} + \gamma_Q \cdot Q_{\max} \quad - 1. \text{ pojednostavljeno pravilo}$$

$$\gamma_G \cdot \sum_i G_{k,i} + \psi \cdot \gamma_Q \cdot \sum_j Q_{k,j} \quad - 2. \text{ pojednostavljeno pravilo}$$

- u ovom slučaju usvajamo da je:  $\psi = 0,9$

## RAZREDI UPORABE

razred uporabe	ravnoteža vlage u drvu	mikroklima prostora	primjer
1	$u \leq 12\%$	20° i 65% relativne vlažnosti zraka, koja može biti prekoračena samo nekoliko tjedana u godini	grijani prostori
2	$u \leq 20\%$	20° i 85% relativne vlažnosti zraka, koja može biti prekoračena samo nekoliko tjedana u godini	natkrivene konstrukcije
3	$u > 20\%$	mikroklimatski uvjeti koji dovode do povećanja vlage drva	konstrukcije izložene atmosferilijima

## RAZREDI TRAJANJA UTJECAJA

razred	trajanje karakterističnog utjecaja	primjeri za opterećenja
stalno	duže od 10 godina	vlastita težina
dugo	od 6 mjeseci do 10 godina	korisno opterećenje u skladištima
srednje	od 1 tjedna do 6 mjeseci	pokretno opterećenje, snijeg
kratko	kraće od 1 tjedna	vjetar, snijeg
vrlo kratko	udarno	naročita opterećenja, vjetar

## FAKTORI UTJECAJA RAZREDA TRAJANJA OPTEREĆENJA I KORIŠTENJA

materijal i razred trajanja utjecaja	razred uporabe					
	1	2	3	1	2	3
	GSN $k_{mod}$			GSU $k_{def}$		
<b>puno drvo i LLD</b>						
- stalno	0,60	0,60	0,50	0,60	0,80	2,00
- dugo	0,70	0,70	0,55	0,50	0,50	1,50
- srednje	0,80	0,80	0,65	0,25	0,25	0,75
- kratko	0,90	0,90	0,70	0,00	0,00	0,30
- vrlo kratko	1,10	1,10	0,90	0,00	0,00	0,00

-kada u spoju postoje dva materijala s različitim faktorom k

$$k_{mod} = \sqrt{k_{mod,1} k_{mod,2}}$$

$$k_{def} = 2\sqrt{k_{def,1} k_{def,2}}$$

Table 3.1 – Values of  $k_{mod}$

Material	Standard	Service class	Load-duration class				
			Permanent action	Long term action	Medium term action	Short term action	Instantaneous action
Solid timber	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Glued laminated timber	EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
LVL	EN 14374, EN 14279	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Plywood	EN 636 Part 1, Part 2, Part 3 Part 2, Part 3 Part 3	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
OSB	EN 300 OSB/2 OSB/3, OSB/4 OSB/3, OSB/4	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Particle-board	EN 312 Part 4, Part 5 Part 5 Part 6, Part 7 Part 7	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Fibreboard, hard	EN 622-2 HB.LA, HB.HLA 1 or 2 HB.HLA1 or 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Fibreboard, medium	EN 622-3 MBH.LA1 or 2 MBH.HLS1 or 2 MBH.HLS1 or 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	–	–	–	0,45	0,80
Fibreboard, MDF	EN 622-5 MDF.LA, MDF.HLS MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	–	–	–	0,45	0,80

Tablica 1: Vrijednosti  $k_{mod}$  (Table 3.1, prEN 1995-1-1:2003, str.27.)

**Table 3.2 – Values of  $k_{def}$  for timber and wood-based materials for quasi-permanent actions.**

Material	Standard	Service class		
		1	2	3
Solid timber	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Glued Laminated timber	EN 14080	0,60	0,80	2,00
LVL	EN 14374, EN 14279	0,60	0,80	2,00
Plywood	EN 636			
	Part 1	0,80	–	–
	Part 2	0,80	1,00	–
	Part 3	0,80	1,00	2,50
OSB	EN 300			
	OSB/2	2,25	–	–
	OSB/3, OSB/4	1,50	2,25	–
Particleboard	EN 312			
	Part 4	2,25	–	–
	Part 5	2,25	3,00	–
	Part 6	1,50	–	–
	Part 7	1,50	2,25	–
Fibreboard, hard	EN 622-2			
	HB.LA	2,25	–	–
	HB.HLA1, HB.HLA2	2,25	3,00	–
Fibreboard, medium	EN 622-3			
	MBH.LA1, MBH.LA2	3,00	–	–
	MBH.HLS1, MBH.HLS2	3,00	4,00	–
Fibreboard, MDF	EN 622-5			
	MDF.LA	2,25	–	–
	MDF.HLS	2,25	3,00	–

Tablica 2: Vrijednosti  $k_{def}$  (Table 3.2, prEN 1995-1-1:2003, str.28.)

**napomene:**

- kod kombinacija utjecaja koji pripadaju različitim klasama trajanja  $k_{mod}$  uzimamo za utjecaj najkraćeg trajanja
- kod punog drva koje u trenutku ugradnje ima vlažnost blizu područja zasićenja vlakanaca, a u ugrađenom stanju se može isušiti faktor  $k_{def}$  treba povećati za 1,00

**VRIJEDNOSTI KARAKTERISTIKA MATERIJALA ZA DIMENZIONIRANJE**

**granično stanje nosivosti**

$$X_d = \frac{k_{mod} \cdot X_k}{\gamma_M}$$

**granično stanje uporabljivosti**

$$X_d = \frac{k_{def} \cdot X_k}{\gamma_M}$$

Razredi čvrstoće	Karakteristične čvrstoće [N/mm <sup>2</sup> ]							Moduli [kN/mm <sup>2</sup> ]						Gustoće [kg/m <sup>3</sup> ]	
	Savijanje	Vlak <sup>0</sup>	Vlak <sup>90</sup>	Tlak <sup>0</sup>	Tlak <sup>90</sup>	Posmik	Elastičnosti				Posmika		Karakteristična	Srednja	
	f <sub>m,k</sub>	f <sub>t,0,k</sub>	f <sub>t,90,k</sub>	f <sub>c,0,k</sub>	f <sub>c,90,k</sub>	f <sub>v,k</sub>	E <sub>0,mean</sub>	E <sub>0,05</sub>	E <sub>90,mean</sub>	E <sub>90,05</sub>	G <sub>0,mean</sub>	G <sub>0,05</sub>	ρ <sub>k</sub>	ρ <sub>mean</sub>	
Čmrgotično drvo - četirni (mško drvo)	C14	14	8	0,4	16	2,0	1,7	7,0	4,7	0,23	0,16	0,44	0,29	290	350
	C16	16	10	0,5	17	2,2	1,8	8,0	5,3	0,27	0,18	0,50	0,33	310	370
	C18	18	11	0,5	18	2,2	2,0	9,0	6,0	0,30	0,20	0,56	0,38	320	380
	C20	20	12	0,5	19	2,3	2,2	9,5	6,3	0,32	0,21	0,59	0,40	330	390
	C22	22	13	0,5	20	2,4	2,4	10,0	6,7	0,33	0,22	0,63	0,42	340	410
	C24	24	14	0,5	21	2,5	2,5	11,0	7,3	0,37	0,24	0,69	0,46	350	420
	C27	27	16	0,6	22	2,6	2,8	11,5	7,7	0,38	0,26	0,72	0,48	370	450
	C30	30	18	0,6	23	2,7	3,0	12,0	8,0	0,40	0,27	0,75	0,50	380	460
	C35	35	21	0,6	25	2,8	3,4	13,0	8,7	0,43	0,29	0,81	0,54	400	480
	C40	40	24	0,6	26	2,9	3,8	14,0	9,3	0,47	0,31	0,88	0,58	420	500
C45	45	27	0,6	28	3,1	3,8	15,0	10,0	0,50	0,33	0,94	0,63	440	520	
C50	50	30	0,6	29	3,2	3,8	16,0	10,7	0,53	0,36	1,00	0,67	460	550	
f <sub>t,0,k</sub> =0,6 f <sub>m,k</sub> ; f <sub>t,90,k</sub> =min[0,60; 0,015 ρ <sub>k</sub> ]; f <sub>c,0,k</sub> =5 f <sub>m,k</sub> <sup>0,45</sup> ; f <sub>c,90,k</sub> =0,007 ρ <sub>k</sub> ; f <sub>v,k</sub> =min[3,80; 0,20 f <sub>m,k</sub> <sup>0,8</sup> ]															
E <sub>0,05</sub> =2/3 E <sub>0,mean</sub> ; E <sub>90,mean</sub> =E <sub>0,mean</sub> /30; E <sub>90,05</sub> =2/3 E <sub>90,mean</sub> ; G <sub>0,mean</sub> =E <sub>0,mean</sub> /16; G <sub>0,05</sub> =2/3 G <sub>0,mean</sub>															
Bjelogotično drvo - listani (vrdo drvo)	D30	30	18	0,6	23	8,0	3,0	10,0	8,3	0,64	0,53	0,60	0,50	530	640
	D35	35	21	0,6	25	8,4	3,4	10,0	8,3	0,69	0,58	0,65	0,54	560	670
	D40	40	24	0,6	26	8,9	3,8	11,0	9,2	0,75	0,63	0,70	0,58	590	700
	D50	50	30	0,6	29	9,8	4,6	14,0	11,7	0,93	0,78	0,88	0,73	650	780
	D60	60	36	0,6	32	10,5	5,3	17,0	14,2	1,13	0,94	1,06	0,89	700	840
	D70	70	42	0,6	34	13,5	6,0	20,0	16,7	1,33	1,11	1,25	1,04	900	1080
	f <sub>t,0,k</sub> =0,6 f <sub>m,k</sub> ; f <sub>t,90,k</sub> =min[0,60; 0,015 ρ <sub>k</sub> ]; f <sub>c,0,k</sub> =5 f <sub>m,k</sub> <sup>0,45</sup> ; f <sub>c,90,k</sub> =0,015 ρ <sub>k</sub> ; f <sub>v,k</sub> =0,20 f <sub>m,k</sub> <sup>0,8</sup>														
E <sub>0,05</sub> =5/6 E <sub>0,mean</sub> ; E <sub>90,mean</sub> =E <sub>0,mean</sub> /15; E <sub>90,05</sub> =5/6 E <sub>90,mean</sub> ; G <sub>0,mean</sub> =E <sub>0,mean</sub> /16; G <sub>0,05</sub> =5/6 G <sub>0,mean</sub>															
LLD- homogeno	GL24h	24	17	0,4	24	2,7	2,7	11,6	9,7	0,39	0,33	0,72	0,60	380	415
	GL28h	28	20	0,5	27	3,0	3,2	12,6	10,5	0,42	0,35	0,78	0,65	410	445
	GL32h	32	23	0,5	29	3,3	3,8	13,7	11,4	0,46	0,38	0,85	0,71	430	480
	GL36h	36	26	0,6	31	3,6	4,3	14,7	12,3	0,49	0,41	0,91	0,76	450	500
LLD- kombinirano	GL24k	24	14	0,4	21	2,4	2,2	11,6	9,7	0,32	0,27	0,59	0,49	350	385
	GL28k	28	17	0,4	24	2,7	2,7	12,6	10,5	0,39	0,33	0,72	0,60	380	410
	GL32k	32	20	0,5	27	3,0	3,2	13,7	11,4	0,42	0,35	0,78	0,65	410	450
	GL36k	36	23	0,5	29	3,3	3,8	14,7	12,3	0,46	0,38	0,85	0,71	430	475
LLD	E <sub>0,05</sub> =5/6 E <sub>0,mean</sub> ; E <sub>90,05</sub> =5/6 E <sub>90,mean</sub> ; G <sub>0,05</sub> =5/6 G <sub>0,mean</sub>														

**Tablica 3:** Karakteristike materijala (predavanja doc.dr.sc. Jurko Zovkić)

Utjecaj dimenzija elementa na karakteristične vrijednosti za **čvrstoće na vlak i savijanje**:

Kod pravokutnog presjeka **punog drva** ( $\rho_k \leq 700 \text{ kg/m}^3$ ) vrijednosti iz tablica odnose se na: elemente opterećene savijanjem visine od 150mm odnosno za elemente opterećene vlakom dimenzija od 150mm. Za sve manje dimenzije presjeka vrijednosti čvrstoće  $f_{m,k}$  i  $f_{t,0,k}$  uvećavamo množeći ih s faktorom  $k_h$ :

$$k_h = \min \left\{ \left( \frac{150}{h} \right)^{0,2} \right. \\ \left. 1,3 \right\}$$

oznake:

$h$  - visina presjeka za elemente kod savijanja, a za vlak širina ili visina  $u$  [mm]

Kod pravokutnog presjeka **LLD** vrijednosti iz tablica odnose se na: elemente opterećene savijanjem visine od 600mm odnosno za elemente opterećene vlakom dimenzija od 600mm. Za sve manje dimenzije presjeka vrijednosti čvrstoće  $f_{m,k}$  i  $f_{t,0,k}$  uvećavamo množeći ih s faktorom  $k_h$ :

$$k_h = \min \left\{ \left( \frac{600}{h} \right)^{0,1} \right. \\ \left. 1,1 \right\}$$

oznake:

$h$  - visina presjeka za elemente kod savijanja, a za vlak širina ili visina  $u$  [mm]

## 2. PRORAČUN NA RAZINI POPREČNOG PRESJEKA VLAK U PRAVCU VLAKANA

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_{t,0,d}}{A_{\text{neto}}} \leq f_{t,0,d}$$

**napomena:** kod ekscentrično opterećenih elemenata vlačnu silu treba uvećati za 1,5puta ( $F_{t,0,d} = 1,5 \cdot F_{t,0,d}$ )

$F_{t,0,d}$  - računski vlačna sila u elementu u pravcu vlakana

$A_{\text{neto}}$  - neto površina poprečnog presjeka koji se opire vlačnoj sili

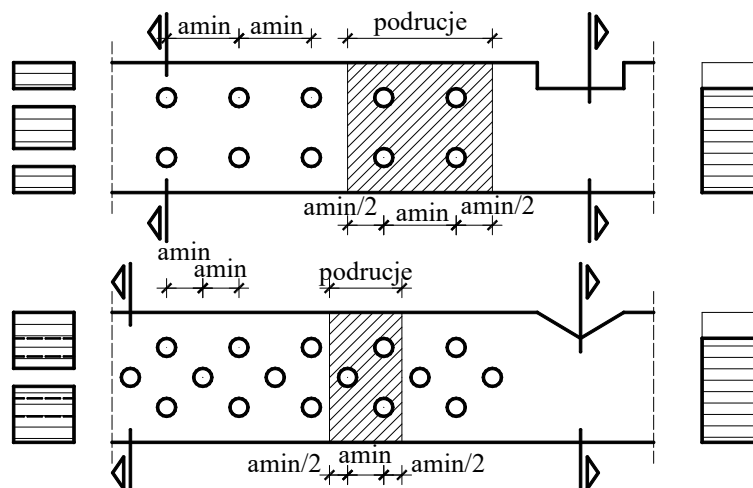
$f_{t,0,d}$  - računski nosivost drva na vlak u pravcu vlakana

$\sigma_{t,0,d}$  - naprezanje od vlačne sile u pravcu vlakana

Oslabljenja presjeka ne uzimamo u obzir kod:

- nebušenih čavala promjera do 6mm
- simetrično raspoređenih rupa u tlačnim elementima (trnovi, vijci, čavli)
- rupa u tlačnoj zoni elementa koja je ispunjena materijalom čija je krutost veća od krutosti drva

Kod određivanja efektivnog presjeka treba uzeti u obzir sva oslabljenja koja se nalaze unutar područja  $\pm \min a/2$ , gdje je min a najmanji razmak između spajala. Ako se pojavljuju različita spajala preporuča se za min a uzeti najveću vrijednost.



$$A_{\text{neto}} = A - n \cdot A_0$$

$n$  - broj oslabljenja u području

$A_0$  - površina oslabljenja

$$A_{\text{neto}} = A - n \cdot A_0 - A'$$

$A'$  - bilo kakvo drugo oslabljenje

$A$  - površina poprečnog presjeka

- kao aproksimaciju možemo uzeti i sljedeće  $A_{\text{neto}} = 0,8 \cdot A$

## VLAK OKOMITO NA PRAVAC VLAKANA

$$\sigma_{t,90,d} = \frac{F_{t,90,d}}{A_{\text{neto}}} \leq k_{\text{dis}} k_{\text{vol}} f_{t,90,d}$$

- faktor volumena

$k_{\text{vol}} = 1,0$  - za puno drvo

$$k_{\text{vol}} = \left( \frac{V_0}{V} \right)^{0,2} \text{ - za LLD i LVL}$$

- faktor koji uzima u obzir nelinearnu raspodjelu naprezanja

$k_{\text{dis}} = 1,0$  - za nosače koji nisu zasječeni

$k_{\text{dis}} = 1,4$  - za jednostruko i dvostruko zakošene (trapezne) i zakrivljene nosače

$k_{\text{dis}} = 1,7$  - za sedlaste nosače

$F_{t,90,d}$  - računska vlačna sila u elementu okomita na pravac vlakana

$A_{\text{neto}}$  - neto površina poprečnog presjeka koji se opire vlačnoj sili

$f_{t,90,d}$  - računska nosivost drva na vlak okomito na pravac vlakana

$\sigma_{t,90,d}$  - naprezanje od vlačne sile okomito na pravac vlakana

$V$  - ravnomjerno opterećen volumen u  $\text{m}^3$

$V_0 = 0,01\text{m}^3$  - usporedni volumen

## TLAK U PRAVCU VLAKANA

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,0,d}}{A} \leq f_{c,0,d}$$

**napomena:** potrebno je ispitati i mogućnost izvijanja elementa

$F_{c,0,d}$  - računska tlačna sila u elementu u pravcu vlakana

$A$  - površina poprečnog presjeka koji se opire tlačnoj sili

$f_{c,0,d}$  - računska nosivost drva na tlak u pravcu vlakana

$\sigma_{c,0,d}$  - naprezanje od tlačne sile u pravcu vlakana

## TLAK OKOMITO NA PRAVAC VLAKANA

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

$F_{c,90,d}$  - računska tlačna sila u elementu okomita na pravac vlakana

$A$  - površina koji se opire tlačnoj sili



$f_{c,90,d}$  - računska nosivost drva na tlak okomito na pravac vlakana

$\sigma_{c,90,d}$  - naprezanje od tlačne sile okomito na pravac vlakana

$k_{c,90}$  - faktor koji uzima u obzir način unosa opterećenja, mogućnost cijepanja i stupnja deformiranja pod tlakom (  $1,0 \leq k_{c,90} \leq 4,0$  )

**Za gredu s ležajevima  $k_{c,90}$  određujemo:**

- za vanjske ležajeve, koji se nalaze na udaljenosti od ruba  $a \leq \frac{h}{3}$  :

$$k_{c,90} = \left( 2,38 - \frac{l}{250} \right) \left( 1 + \frac{h}{12l} \right)$$

- za unutarnje ležajeve:

$$k_{c,90} = \left( 2,38 - \frac{l}{250} \right) \left( 1 + \frac{h}{6l} \right)$$

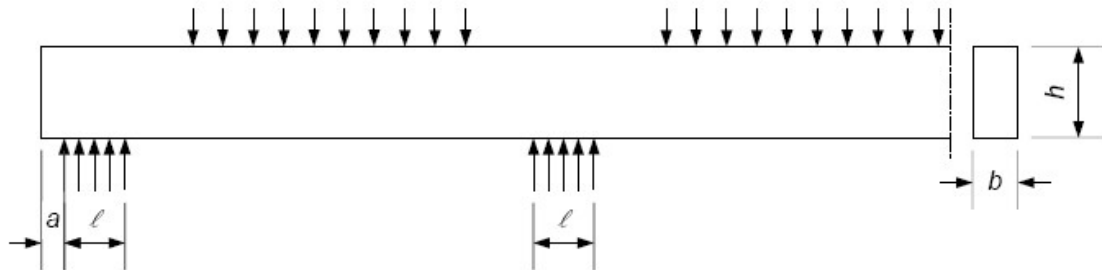


Figure 6.2 – Beam on supports

Slika 1: Greda na osloncima (prEN 1995-1-1:2003, str.37.)

**Općenito:**

- kada je unos sile preko cijele širine elementa  $b$ , uz uvjet da je  $h \leq 2,5b$  :

$$k_{c,90} = \left( 2,38 - \frac{l}{250} \right) \left( \frac{l_{ef}}{l} \right)^{0,5}$$

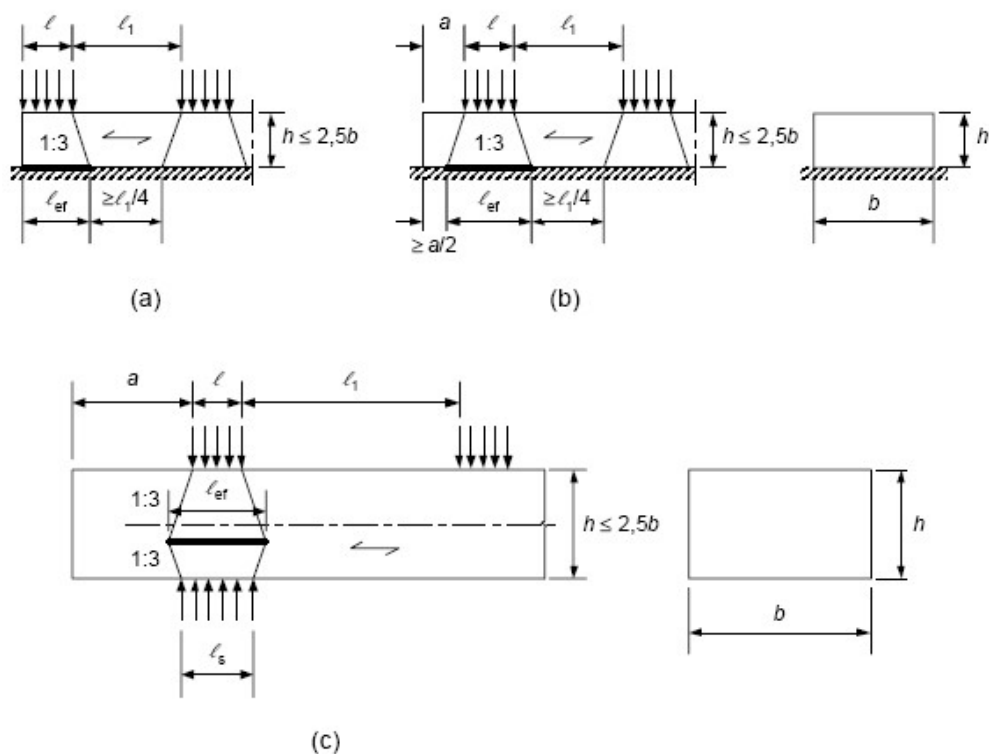


Figure 6.3 – Determination of effective lengths for a member with  $h/b \leq 2,5$ , (a) and (b) continuous support, (c) discrete supports

**Slika 2:** Određivanje efektivne duljine za elemente s  $h/b \leq 2,5$ , (a) i (b) s kontinuiranim osloncima, (c) s koncentriranim osloncima (prEN 1995-1-1:2003, str.38.)

**efektivnu duljinu raspodjele naprezanja određujemo** (uz uvjet da je nagib rasprostiranja naprezanja po visini 1:3, udaljenost od ruba od minimalno  $a/2$ , odnosno da je udaljenost od sljedećeg opterećenja minimalno  $l_1/4$ ):

- za sliku 6.3a:

$$l_{ef} = l + \frac{h}{3}$$

-za sliku 6.3b:

$$l_{ef} = l + \frac{2h}{3}$$

- za sliku 6.3c (uz uvjet da je  $a \geq h$  i  $l_1 \geq 2h$ ):

$$l_{ef} = 0,5 \left( l + l_s + \frac{2h}{3} \right)$$

gdje je  $h$  - visina elementa ali ne manje od 40mm

- ukoliko je  $h > 2,5b$ , sila se prenosi preko cijele širine  $b$  i duljina  $l$  je manja od veće vrijednosti  $h$  ili 100mm,  $k_{c,90}$  računamo (slika 6.4):

$$k_{c,90} = \frac{l_{ef}}{l}$$

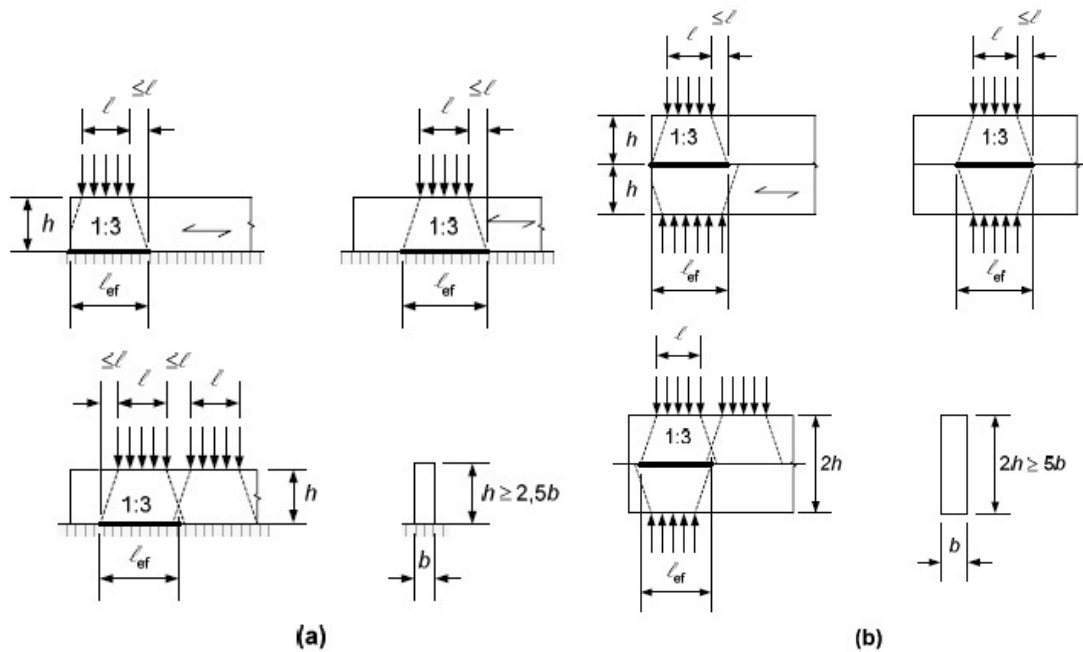


Figure 6.4 – Determination of effective lengths for a member with  $h/b > 2,5$  on (a) a continuous support, (b) discrete supports

**Slika 3:** Određivanje efektivne duljine za elemente s  $h/b > 2,5$ , (a) s kontinuiranim osloncima, (b) s koncentriranim osloncima (prEN 1995-1-1:2003, str.40.)

- ukoliko se visina elementa mijenja iznad ležaja za visinu  $h$  uzimamo vrijednost u osi ležaja, a za  $l_{ef} = l$ .

## TLAK POD KUTOM $\alpha$ PREMA PRAVCU VLAKANA

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_{c,d}}{A} \leq k_{c,\alpha} \cdot f_{c,0,d}$$

$$k_{c,\alpha} = \frac{1}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$F_{c,d}$  - računski tlačna sila pod kutom  $\alpha$  prema pravcu vlakana

$A$  - površina poprečnog presjeka koji se opire tlačnoj sili

$f_{c,0,d}$  - računski nosivost drva na tlak u pravcu vlakana

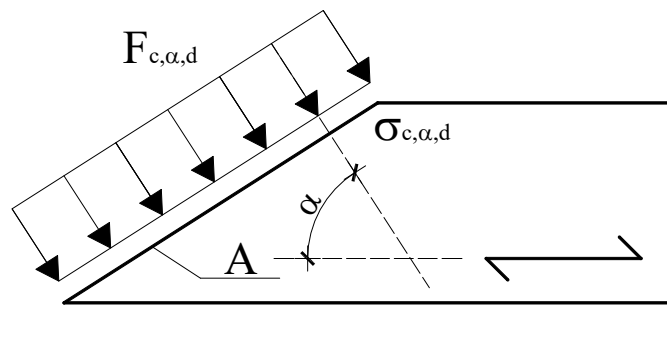
$f_{c,90,d}$  - računski nosivost drva na tlak okomito na pravac vlakana

$k_{c,90}$  - faktor koji uzima u obzir način unosa opterećenja, mogućnost cijepanja i stupnja deformiranja pod tlakom (  $1,0 \leq k_{c,90} \leq 4,0$  )

$\sigma_{c,\alpha,d}$  - naprezanje od tlačne sile pod kutom  $\alpha$  prema pravcu vlakana

$k_{c,\alpha}$  - faktor umanjenja čvrstoće ovisno o kutu  $\alpha$  unosa tlačne sile prema pravcu vlakana

$\alpha$  - kut između sile i pravca vlakana



**Slika 4:** Tlačni naponi pod kutom  $\alpha$  u odnosu na pravac vlakana (Figure 6.7, prEN 1995-1-1:2003, str.43.)

## SAVIJANJE (JEDNOOSNO I DVOOSNO)

- savijanje samo oko jedne osi (y-y)

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \leq f_{m,d}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

- dvoosno savijanje

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

**napomena:** potrebno je ispitati i mogućnost izbočavanje elementa

$M_d$  - računski moment savijanja oko osi y-y

$W_y$  - moment otpora oko osi y-y

$\sigma_{m,y,d}$  - naprezanje od savijanja oko y-y osi

$\sigma_{m,z,d}$  - naprezanje od savijanja oko z-z osi

$f_{m,y,d}$  - računski nosivost drva na savijanje oko y-y osi

$f_{m,z,d}$  - računski nosivost drva na savijanje oko z-z osi

$f_{m,d}$  - računski nosivost drva na savijanje

**$k_m$  - ovaj faktor primjenjujemo samo kod dvoosnog savijanja**

$k_m = 0,7$  - za pravokutne presjeke

$k_m = 1,0$  - za ostale presjeke

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{I_y}{y}$$

$b$  - širina presjeka

$h$  - visina presjeka

$I_y$  - moment tromosti oko osi y-y

$y$  - udaljenost od težišta presjeka do ruba (kod simetričnih presjeka je  $h/2$ )

## POSMIK

$$\tau_d = 1,5 \frac{V_d}{A} \leq f_{v,d}$$

$\tau_d$  - naprezanje od posmika

$V_d$  - računski posmična sila

$f_{v,d}$  - računski nosivost drva na posmik

$A$  - površina poprečnog presjeka

Iznad ležaja možemo zanemariti neke poprečne sile (slika 5):

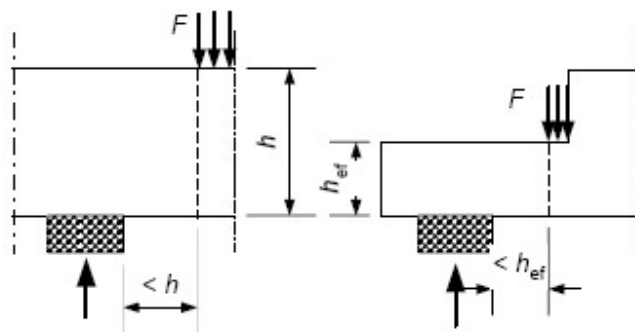


Figure 6.6 – Conditions at a support, for which the concentrated force  $F$  may be disregarded in the calculation of the shear force

**Slika 5:** Uvjeti na osloncu za koje se može zanemariti utjecaj sile  $F$  pri proračunu posmične nosivosti (Figure 6.6, prEN 1995-1-1:2003, str.42.)

Ukoliko se sila nalazi unutar udaljenosti  $h$  ili  $h_{ef}$  od ležaja možemo ju zanemariti. Kod nosača sa zasjekom nad ležajem samo u slučaju kada je zasjek na suprotnoj strani od ležaja.

Ukoliko je nosač oslabljen poprečna naprezanja provjeravamo:

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{b \cdot h_e} \leq k_v \cdot f_{v,d}$$

$k_v$  - faktor redukcije zbog oslabljenja

$h_e$  - visina poprečnog presjeka oslabljenog nosača

$k_v = 1,0$  - kod nosača oslabljenog s gornje strane

$$k_v = \min \left( \frac{1}{k_n \left( 1 + \frac{1,1 \cdot i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)} \right) - \text{kod nosača oslabljenog s donje stranje}$$

$$\frac{1}{\sqrt{h} \cdot \left( \sqrt{\alpha \cdot (1 - \alpha)} + 0,8 \cdot \frac{x}{h} \cdot \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)}$$

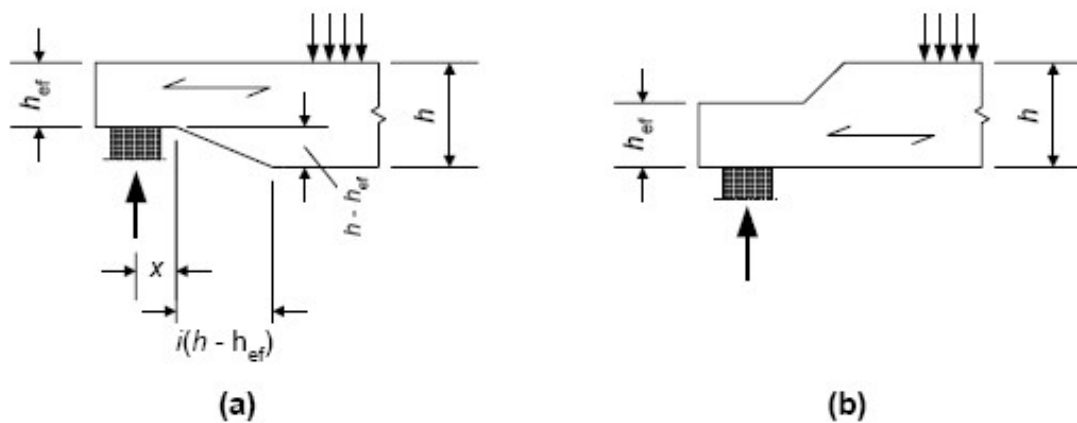


Figure 6.11 – End-notched beams

**Slika 6:** Nosači oslabljeni na rubu (Figure 6.11, prEN 1995-1-1:2003, str.53.)

- omjer visine oslabljenog dijela i punog dijela nosača

$$\alpha = \frac{h_c}{h}$$

- mjera za energiju sloma

$k_n = 4,5$  - za LVL

$k_n = 5,0$  - za puno drvo

$k_n = 6,5$  - za LLD

$x$  - udaljenost ležajne reakcije i početka oslabljenja (slika 6)

$i$  - nagib oslabljenja (slika 6)

## TORZIJA

$$\tau_{\text{tor,d}} \leq k_{\text{shape}} f_{v,d}$$

$\tau_{\text{tor,d}}$  - naprezanje od torzije

$k_{\text{shape}}$  - faktor ovisan o obliku presjeka

$f_{v,d}$  - računaska nosivost drva na posmik

$k_{\text{shape}} = 1,2$  - za kružni poprečni presjek

$$k_{\text{shape}} = \min \begin{cases} 1 + 0,15 \frac{h}{b} & \text{- za pravokutni poprečni presjek} \\ 2,0 & \end{cases}$$

$h$  - visina (veća dimenzija) presjeka

$b$  - širina (manja dimenzija) presjeka

$$\tau_{\text{tor,d}} = \frac{M_{\text{tor,d}}}{W_{\text{tor}}}$$

$M_{\text{tor,d}}$  - moment torzije

$W_{\text{tor}}$  - moment otpora torzije

**-za pravokutni poprečni presjek b/h**

$$I_{\text{tor}} = \alpha h b^3$$

$$W_{\text{tor}} = \beta h b^2$$

$\alpha, \beta$  - faktori ovisni o omjeru visine  $h$  i širine  $b$  presjeka:

$\frac{h}{b}$	1,00	1,25	1,50	2,00	3,00	4,00	6,00	10,00	$\infty$
$\alpha$	0,140	0,171	0,196	0,229	0,263	0,281	0,299	0,313	0,333
$\beta$	0,208	0,221	0,231	0,246	0,267	0,282	0,299	0,313	0,333

-za vrijednosti između danih  $h/b$  linearno interpolirati

**-za kružni poprečni presjek**

$$I_{\text{tor}} = \frac{\pi}{2} r^4$$

$$W_{\text{tor}} = \frac{\pi}{2} r^3$$



## INTERAKCIJA VLAKA I SAVIJANJA

Vlak i jednoosno savijanje (oko osi y-y)

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

Vlak i dvoosno savijanje

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$\sigma_{t,0,d}$  - naprezanje od vlačne sile u pravcu vlakana

$f_{t,0,d}$  - računaska nosivost drva na vlak u pravcu vlakana

$\sigma_{m,y,d}$  - naprezanje od savijanja oko y-y osi

$\sigma_{m,z,d}$  - naprezanje od savijanja oko z-z osi

$f_{m,y,d}$  - računaska nosivost drva na savijanje oko y-y osi

$f_{m,z,d}$  - računaska nosivost drva na savijanje oko z-z osi

**$k_m$  - ovaj faktor primjenjujemo samo kod dvoosnog savijanja**

$k_m = 0,7$  - za pravokutne presjeke

$k_m = 1,0$  - za ostale presjeke

### **3. PRORAČUN NA RAZINI ELEMENTA** **TLAK U PRAVCU VLAKANA S IZVIJANJEM**

#### **DOKAZ IZVIJANJA**

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,0,d}}{A} \leq k_{c,y} f_{c,0,d}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,0,d}}{A} \leq k_{c,z} f_{c,0,d}$$

$\sigma_{c,0,d}$  - naprezanje od tlačne sile u pravcu vlakana

$f_{c,0,d}$  - računski nosivost drva na tlak u pravcu vlakana

$k_{c,y}$  - faktor izvijanja za os y-y

$k_{c,z}$  - faktor izvijanja za os z-z

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

$\lambda_{rel,y}$  - relativna vitkost za os y-y

$\lambda_{rel,z}$  - relativna vitkost za os z-z

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

ako je  $\lambda_{rel} \leq 0,3 \rightarrow k_c = 1,0$ , tj. nije potrebno provoditi dokaz izvijanja

$f_{c,0,k}$  - karakteristična nosivost drva na tlak u pravcu vlakana

$E_{0,05}$  - 5% modula elastičnosti u pravcu vlakana

$\lambda_y$  - vitkost za os y-y

$\lambda_z$  - vitkost za os z-z

$$\lambda_y = \frac{l_{i,y}}{i_y}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{i,z}}{i_z}$$

$l_{i,y}$  - duljina izvijanja elementa za os y-y

$l_{i,z}$  - duljina izvijanja elementa za os z-z

$i_y$  - polumjer tromosti poprečnog presjeka za os y-y

$i_z$  - polumjer tromosti poprečnog presjeka za os z-z

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$I_y$  - moment inercije poprečnog presjeka za os y-y

$I_z$  - moment inercije poprečnog presjeka za os z-z

$A$  - površina poprečnog presjeka

$\beta_c = 0,2$  - za puno drvo,  $\beta_c = 0,1$  - za LLD i LVL

$$k_y = 0,5 \left[ 1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right] \quad k_z = 0,5 \left[ 1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2 \right]$$

- kritični napon pri kojem dolazi do izvijanja elementa za os y-y i z-z

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_y^2}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_z^2}$$

# SAVIJANJE S IZBOČAVANJEM (BOČNIM IZVIJANJEM)

## IZBOČAVANJE

$$\sigma_{m,y,d} \leq k_{crit,y} f_{m,d}$$

$\lambda_{rel,m,y}$  - relativna vitkost za izbočavanje za os y-y

$$\lambda_{rel,m,y} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,y}}}$$

$\sigma_{m,crit,y}$  - kritično naprezanje od momenta

- za meka drva pravokutnog poprečnog presjeka:

$$\sigma_{m,crit,y} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef,y}} E_{0,05}$$

- općenito:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \sqrt{E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor}}}{l_{ef,y} W_y}$$

$E_{0,05}$  - 5%o modula elastičnosti u pravcu vlakana

$G_{0,05}$  - 5%o modula posmika u pravcu vlakana ( $G_{0,05} = (5/6)G_{0,mean}$ )

$I_z$  - moment tromosti oko osi z-z

$I_{tor}$  - moment torzije

$l_{ef,y}$  - razmak bočnih pridrzanja ovisno o uvjetima oslanjanja i opterećenju za os y-y (tablica 7)

**Table 6.1 – Effective length as a ratio of the span**

Beam type	Loading type	$l_{ef}/l^a$
Simply supported	Constant moment	1,0
	Uniformly distributed load	0,9
	Concentrated force at the middle of the span	0,8
Cantilever	Uniformly distributed load	0,5
	Concentrated force at the free end	0,8

<sup>a</sup> The ratio between the effective length  $l_{ef}$  and the span  $l$  is valid for a beam with torsionally restrained supports and loaded at the centre of gravity. If the load is applied at the compression edge of the beam,  $l_{ef}$  should be increased by  $2h$  and may be decreased by  $0,5h$  for a load at the tension edge of the beam.

**Tablica 4:** Razmak bočnih pridrzanja kao omjer raspona (Table 6.1, prEN 1995-1-1:2003, str.46.)

$k_{crit,y}$  - faktor izbočavanja za os y-y

za  $\lambda_{rel,m,y} \leq 0,75$

$\rightarrow k_{crit,y} = 1,0$

za  $0,75 < \lambda_{rel,m,y} \leq 1,4$

$\rightarrow k_{crit,y} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m,y}$

za  $1,4 < \lambda_{rel,m,y}$

$\rightarrow k_{crit,y} = \frac{1}{\lambda_{rel,m,y}^2}$

$I_{tor}$  - moment inercije torzije

-za pravokutni poprečni presjek b/h

$I_{tor} = \alpha hb^3$

$W_{tor} = \beta hb^2$

$\alpha, \beta$  - faktori ovisni o omjeru visine h i širine b presjeka:

$\frac{h}{b}$	1,00	1,25	1,50	2,00	3,00	4,00	6,00	10,00	$\infty$
$\alpha$	0,140	0,171	0,196	0,229	0,263	0,281	0,299	0,313	0,333
$\beta$	0,208	0,221	0,231	0,246	0,267	0,282	0,299	0,313	0,333

-za vrijednosti između danih h/b linearno interpolirati

## INTERAKCIJA TLAKA I SAVIJANJA

Tlak i dvoosno savijanje

- kada ne postoji problem izvijanja i izbočavanja tj. vrijedi:

$$\lambda_{rel,y} \leq 0,3, \lambda_{rel,z} \leq 0,3 \text{ i } \lambda_{rel,m,y} \leq 0,75, \lambda_{rel,m,z} \leq 0,75$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

- kada postoji problem izvijanja i izbočavanja tj. vrijedi:

$$\lambda_{rel,y} > 0,3, \lambda_{rel,z} > 0,3 \text{ i } \lambda_{rel,m,y} > 0,75, \lambda_{rel,m,z} > 0,75$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} \cdot f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} \cdot f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} \cdot f_{m,z,d}} \leq 1$$

$\sigma_{c,0,d}$  - naprezanje od tlačne sile u pravcu vlakana

$f_{c,0,d}$  - računaska nosivost drva na tlak u pravcu vlakana

$k_{c,y}$  - faktor izvijanja oko osi y-y osi

$k_{c,z}$  - faktor izvijanja oko osi z-z osi

$\sigma_{m,y,d}$  - naprezanje od savijanja oko y-y osi

$\sigma_{m,z,d}$  - naprezanje od savijanja oko z-z osi

$f_{m,y,d}$  - računaska nosivost drva na savijanje oko y-y osi

$f_{m,z,d}$  - računaska nosivost drva na savijanje oko z-z osi

$k_{crit,y}$  - faktor izbočavanja za savijanje oko y-y osi

$k_{crit,z}$  - faktor izbočavanja za savijanje oko z-z osi

**$k_m$  - ovaj faktor primjenjujemo samo kod dvoosnog savijanja**

$k_m = 0,7$  - za pravokutne presjeke

$k_m = 1,0$  - za ostale presjeke

Tlak i jednoosno savijanje (oko osi y-y)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} \cdot f_{m,y,d}} \leq 1$$

- kada je element opterećen uzdužnim tlakom i savijanjem oko osi y-y te postoji problem izvijanja oko osi z-z i problem izbočavanja za savijanje oko osi y-y:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} \cdot f_{m,y,d}} \right)^2 \leq 1$$

## 4. GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI

### Početna elastična deformacija

$u_{inst}$

-računamo ju koristeći srednje vrijednosti karakteristika materijala i za svako opterećenje zasebno

### Konačna deformacija

-za stalna djelovanja

$$u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def})$$

-za nazovistalana djelovanja

$$u_{fin} = u_{inst} (1 + \psi_2 k_{def})$$

### oznake:

$u_{fin}$  - konačna deformacija

$u_{inst}$  - početna elastična deformacija

$k_{def}$  - faktor uvažavanja tečenja materijala

**Tablica 5:** Preporučene vrijednosti za  $\psi_2$  za objekte (Table A1.1, prEN 1990:2001, str.51.)

Action	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Imposed loads in buildings, category (see EN 1991-1-1)			
Category A : domestic, residential areas	0,7	0,5	0,3
Category B : office areas	0,7	0,5	0,3
Category C : congregation areas	0,7	0,7	0,6
Category D : shopping areas	0,7	0,7	0,6
Category E : storage areas	1,0	0,9	0,8
Category F : traffic area, vehicle weight $\leq 30kN$	0,7	0,7	0,6
Category G : traffic area, $30kN < \text{vehicle weight} \leq 160kN$	0,7	0,5	0,3
Category H : roofs	0	0	0
Snow loads on buildings (see EN 1991-1-3)*			
Finland, Iceland, Norway, Sweden	0,70	0,50	0,20
Remainder of CEN Member States, for sites located at altitude $H > 1000$ m a.s.l.	0,70	0,50	0,20
Remainder of CEN Member States, for sites located at altitude $H \leq 1000$ m a.s.l.	0,50	0,20	0
Wind loads on buildings (see EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Temperature (non-fire) in buildings (see EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
NOTE The $\psi$ values may be set by the National annex.			
* For countries not mentioned below, see relevant local conditions.			

-ukoliko postoje utjecaji koji imaju različite dužine trajanja svakom utjecaju pridružuje se njemu svojstven faktor  $k_{def}$ , a utjecaje kombiniramo prema tablici 5

**Tablica 6:** Kombiniranje utjecaja (Table A1.4, prEN 1990:2001, str.56.)

Combination	Permanent actions $G_d$		Variable actions $Q_d$	
	Unfavourable	Favourable	Leading	Others
Characteristic	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$Q_{k,1}$	$\psi_{0,i} Q_{k,i}$
Frequent	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$
Quasi-permanent	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$\psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$

### Klizanje spajala

$$u_{inst} = \frac{F_d}{K_{ser}}$$

**oznake:**

$u_{inst}$  - početna elastična deformacija

$F_d$  - sila koja djeluje na spoj

$K_{ser}$  - početni modul klizanja spoja

**Tablica 7:** Vrijednosti za početni modul klizanja  $K_{ser}$  za štapasta spajala [N/mm] (Table 7.1, prEN 1995-1-1:2003, str.55.)

vrsta spajala	drvo-drvo, materijal na bazi drva-drvo, čelik-drvo
trnovi, vijci, bušeni čavli	$\frac{\rho_k^{1,5} \cdot d}{23}$
nebušeni čavli	$\frac{\rho_k^{1,5} \cdot d^{0,8}}{30}$
klamfice	$\frac{\rho_k^{1,5} \cdot d^{0,8}}{80}$
Kod dijelova konstrukcije s različitim vrijednostima masa $\rho_{k,1}$ i $\rho_{k,2}$ , $\rho_k$ određujemo prema $\rho_k = \sqrt{\rho_{k,1} \cdot \rho_{k,2}}$ . Kod spojeva s čelikom ili betonom $K_{ser}$ množimo s 2,0.	

**oznake:**

$\rho_k$  - karakteristična masa drva [kg/m<sup>3</sup>]

$d$  - promjer spajala [mm]

## Granične vrijednosti progiba

**Tablica 8:** Preporučene vrijednosti za granične vrijednosti progiba (Tablica 3.2, NKSDK, S.Takač, 22.str. i Table 7.2, prEN 1995-1-1:2003, str.56.)

statički sustav	progib
slobodno oslonjena greda	$u_{inst} \leq \text{od } \frac{1}{300} \text{ do } \frac{1}{500}$ $u_{fin} \leq \text{od } \frac{1}{150} \text{ do } \frac{1}{300}$
konzola	$u_{inst} \leq \frac{1}{150}$ $u_{fin} \leq \frac{1}{100}$
spregovi	$u_{ukupno} \leq \frac{1}{500}$ $u_{promjenjivo} \leq \frac{1}{700}$

### Ukupni progib

$$u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def}) - u_0 \leq u_{dop}$$

$u_0$  - početno nadvišenje

$u_{dop}$  - dopušteni progib