

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Puš, A., 2015. Dimenzioniranje sestavljenih lesenih stebrov. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Lopatič, J., somentor Saje, D.): 21 str.

Datum arhiviranja: 07-10-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Puš, A., 2015. Dimenzioniranje sestavljenih lesenih stebrov.. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Lopatič, J., co-supervisor Saje, D.): 21 pp.

Archiving Date: 07-10-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*

Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si



UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVO

Kandidatka:

ALJA PUŠ

DIMENZIONIRANJE SESTAVLJENIH LESENIH STEBROV

Diplomska naloga št.: 231/B-GR

DESIGN OF BUILT - UP TIMBER COLUMNS

Graduation thesis No.: 231/B-GR

Mentor:

izr. prof. dr. Jože Lopatič

Somentor:

doc. dr. Drago Saje

Ljubljana, 24. 09. 2015

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisana Alja Puš izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom »Dimenzioniranje sestavljenih lesenih stebrov«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju.

Ljubljana, 15.9.2015

Alja Puš

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	624.011.1:624.07(043.2)
Avtor:	Alja Puš
Mentor:	izr. prof. dr. Jože Lopatič
Somentor:	doc. dr. Drago Saje
Naslov:	Dimenzioniranje sestavljenih lesenih stebrov
Tip dokumenta:	Diplomska naloga - univerzitetni študij
Obseg in oprema:	21 str., 4 pregl., 11 sl., 47 en.
Ključne besede:	sestavljene leseni stebri, vezna sredstva, žebliji, modul zdrsa, nadomestna upogibna togost prereza, uklon

Izвлеček

Analiziramo napetostno stanje sestavljenih lesenih stebrov po standardu za projektiranje lesenih konstrukcij SIST EN 1995-1-1. Stebri so členkasto podprti na obeh koncih, posamezni elementi stebra pa potekajo neprekinjeno po vsej dolžini. Prerezi v centrično tlačnih stebrih morajo biti simetrični, zato se tlačne napetosti po celotnem prerezu ne spreminjajo. Program, izdelan v orodju Microsoft Excel, omogoča izbiro škatlastega in »I« prereza, ki sta pri dimenzioniranju sestavljenih stebrov najbolj pogosta in učinkovita. Nosilnost stebra je odvisna predvsem od njegove relativne vitkosti in togosti povezave med lesenimi elementi, ki jo zagotavljajo vezna sredstva. Lastnosti sestavljenega stebra zajamemo z nadomestno upogibno togostjo prereza in modulom pomika veznega sredstva. Strižni priključki so tipa les – les in imajo eno strižno ravnino v kateri se pri obremenitvi pojavijo strižne napetosti, katere prevzamejo žebliji prek svoje strižne odpornosti. Vezna sredstva si izberemo na podlagi vrste lesa, dimenzij prereza in velikosti obremenitve, ki jo morajo vezna sredstva prevzeti. Na podlagi podane geometrije elementa, izbrane vrste lesa, trajanja in velikosti obtežbe ter vrste veznih sredstev preverjamo nosilnost elementov glede uklona stebra in nosilnosti veznih sredstev. Program poda rezultate analize izbranega stebra ločeno za oba pogoja nosilnosti, tako da lahko uporabnik popravi samo tiste parametre, ki ne izpolnjujejo določene kontrole.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 624.011.1:624.07(043.2)
Author: Alja Puš
Supervisor: Assoc. Prof. Jože Lopatič, Ph.D.
Cosupervisor: Assist. Prof. Drago Saje, Ph.D
Title: Design of built - up timber columns
Document type: Graduation thesis – University studies
Notes: 21 p., 4 tab., 11 fig., 47 eq.
Key words: composite timber columns, mechanical fasteners, nails, slip modulus, effective bending stiffness, buckling resistance

Abstract

We analyse the stress state of built – up timber columns by the standard for the design of timber structures SIST EN 1995-1-1. Columns are pin jointed at both ends. The cross - sections in a centrally compressed columns should be symmetrical so that the compressive stress over the entire section does not change. The computer program, created with the tool Microsoft Excel, allows the selection of the “boxed” and “I” section, which are the most common and effective for dimensioning built - up columns. The load capacity of a column mainly depends on its relative slenderness and rigidity of the connection between wooden elements, provided by the mechanical fasteners. Properties of the built -up column are captured by the effective bending stiffness and the slip modulus of mechanical fasteners. Shear connectors are wood - wood type and have one shear plane in which, when load is applied, the shear stress occurs. This shear stress is taken by the nails through their shear resistance. Fasteners are selected based on the type of wood, the cross - section dimensions and size of the load that fasteners have to bear. Based on the given geometry of the element, selected wood species, the applied time and size of load, the carrying capacity of elements, regarding column buckling and fasteners carrying capacity is checked. The program gives the results of the analysis of the selected column, separately for both load conditions, so that the user can correct only those parameters that do not meet certain conditions of the controls.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Jožetu Lopatiču in somentorju doc. dr. Dragu Sajetu.

Hvala vsem mojim najbližjim za podporo pri študiju.

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	X
1 UVOD	1
2 ANALIZA NAPETOSTNEGA STANJA TLAČNO OBREMENJENIH ELEMENTOV	2
2.1 Predpostavke izračuna	2
2.2 Material	3
2.2.1 Mehanske lastnosti lesa	3
2.2.2 Karakteristična trdnost lesa	4
2.2.3 Vpliv trajanja obtežbe	5
2.2.4 Materialni varnostni faktorji	6
2.3 Obtežba	6
2.4 Vezna sredstva	7
2.4.1 Bočna nosilnost veznih sredstev	7
2.4.2 Modul zdrsa veznega sredstva	9
2.4.3 Faktor togosti veznih sredstev	10
2.5 Nadomestna upogibna togost prereza	10
2.6 Vhodni podatki v programu Microsoft Excel	11
2.6.1 Geometrijske karakteristike prerezov	11
2.6.2 Izbira veznega sredstva	13
3 KONTROLA NORMALNIH NAPETOSTI GLEDE NEVARNOSTI UKLONA	14
3.1 Eulerjeva kritična sila	14
3.2 Uklonski faktor	15
3.3 Kontrola normalnih napetosti glede nevarnosti uklona okoli osi y – y	16
3.4 Kontrola normalnih napetosti glede nevarnosti uklona okoli osi z – z	17

4	KONTROLA NOSILNOSTI VEZNIH SREDSTEV	18
4.1	Idealizirana računsko nadomestna prečna sila	18
4.2	Projektna obremenitev enega veznega sredstva v strižni ravnini	18
4.3	Kontrola nosilnosti žebeljev okoli y osi	19
4.4	Kontrola nosilnosti žebeljev okoli z osi	19
5	ZAKLJUČEK	20
VIRI		21

KAZALO PREGLEDNIC

Tabela 1: Karakteristične lastnosti in togostne lastnosti masivnega lesa – iglavci in topolovina (Povzeto po: Beg (ur.), Pogačnik (ur.). 2011: str. 5-112)	4
Tabela 2: Karakteristične lastnosti in togostne lastnosti masivnega lesa - listavci (Povzeto po: Beg (ur.), Pogačnik (ur.). 2011: str. 5-112)	4
Tabela 3: Razvrstitev obtežb glede na trajanje (Beg (ur.), Pogačnik (ur.). 2011: str. 5-13)	5
Tabela 4: Vrednost faktorja k_{mod} za masivni les glede na razred uporabe (Beg (ur.), Pogačnik (ur.). 2011: str. 5-112).	5

KAZALO SLIK

Slika 1: Obremenitev sestavljenega prereza.	2
Slika 2: Porušni mehanizmi pri stiku les – les (SIST EN 1995, 2004, str. 63).	7
Slika 3: Prikaz prvega okna za izbiro prečnega prereza.	11
Slika 4: Okno za vnos geometrijskih karakteristik, obtežbe in vrste lesa.	12
Slika 5: Okno za izbiro žablja.	13
Slika 6: Postopek kontrole uklona okoli y osi.	16
Slika 7: Pogoj kontrole nosilnosti glede uklona okoli y osi.	16
Slika 8: Postopek kontrole uklona okoli z osi.	17
Slika 9: Pogoj kontrole nosilnosti glede uklona okoli z osi.	17
Slika 10: Kontrola nosilnosti žabljev okoli osi y.	19
Slika 11: Kontrola nosilnosti žabljev okoli z osi.	19

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

MSN	Mejno stanje nosilnosti
MSU	Mejno stanje uporabnosti
EC5	Standard SIST EN 1995 1-1

1 UVOD

Les se kot naravni material od ostalih materialov v gradbeništvu razlikuje predvsem v svoji nehomogeni sestavi in geometrijski omejenosti. Omejitev velikosti prečnega prereza je posledica delovanja lesa, dolžina elementa pa je pogojena z dolžino lesnega debla. Zato pri objektih večjih dimenzij posamezne elemente sestavljamo ali lepimo, tako da dobimo prerez višje odpornosti. Čeprav se uporaba mehansko sestavljenih elementov z razvojem lepljenih elementov zmanjšuje, so ti ponekod nenadomestljivi. Na primer pri ojačitvi konstrukcij, z namenom ohranitve prvotnih konstrukcijskih elementov in pri prefabriciranih elementih, kjer je pomembna enostavnost gradnje. Za razliko od lepljenih elementov, lahko elemente z mehanskimi veznimi sredstvi povezujemo na gradbišču, s čimer poenostavimo transport elementov velikih dimenzij do mesta vgradnje.

V splošnem se za konstrukcijske elemente uporabljajo trije tipi sestavljenih lesenih stebrov. V diplomski nalogi so obravnavani stebri, katerih sestavni deli so povezani po celotni dolžini elementa. Posamezni elementi so med seboj povezani z mehanskimi veznimi sredstvi. Mestoma povezani stebri so stebri, katerih elementi so občasno povezani z distančniki ali bočnimi prečnimi povezavami, pri paličnih sestavljenih stebrih pa se obremenitev prenaša prek mehanizma paličja.

Les je organski material, ki ga sestavljajo olesenela vlakna, pore in voda. Večji del suhe snovi tvorita celuloza in lignin. Masivni les lahko vsebuje napake, kot so razpoke, grčavost, smolnata mesta in odklon vlaken, katera neugodno vplivajo na mehanske in fizikalne lastnosti elementa. Če je les izmenično izpostavljen vplivom ozračja je neobstoje, zato moramo konstrukcijskim elementom zagotoviti okolje s čim bolj konstantno stopnjo vlage v zraku. Prav tako je les potrebno ustrezno zaščititi proti biološkim škodljivcem.

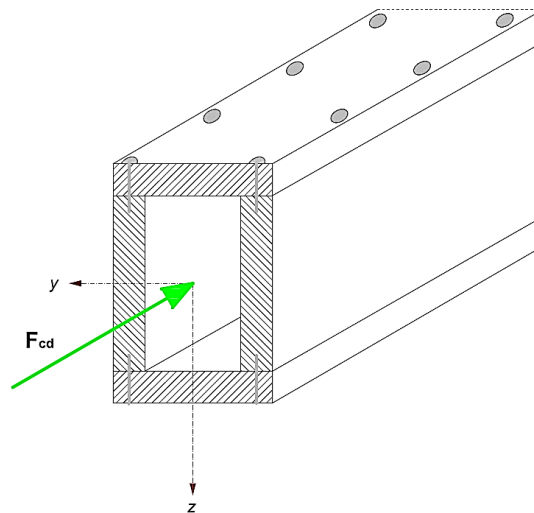
V diplomski nalogi obravnavamo dimenzioniranje lesenih sestavljenih stebrov po standardu za projektiranje lesenih konstrukcij SIST EN 1995-1-1 (Eurocode 5, EC5) Izdelan je računalniški program, opisan v nadaljevanju.

2 ANALIZA NAPETOSTNEGA STANJA TLAČNO OBREMENJENIH ELEMENTOV

2.1 Predpostavke izračuna

Analiza napetostnega stanja v Evrokodu 5 (EC5) vsebuje naslednje predpostavke [1]:

- stebri so vrtljivo podprti na obeh koncih dolžine l ;
- razmak med žebli je konstanten ali se enakomerno spreminja; veljati mora $s_{\max} \leq 4 \cdot s_{\min}$, kjer je s razmak med veznimi sredstvi,
- stebri so tlačno obremenjeni v težišču sestavljenega prereza.



Slika 1: Obremenitev sestavljenega prereza.

Dodatne predpostavke, pod katerimi je zasnovan program:

- posamezni sestavni deli elementa potekajo po celotni dolžini stebra, oziroma so stiki izvedeni tako, da so ti deli polno nosilni;
- za elastični modul vseh nosilnih elementov je privzeta srednja vrednost elastičnega modula $E_{0,05}$ in so vsi deli iz enakega lesa;
- zveza med obremenitvijo in zdrsom žablja je linearna [2].

2.2 Material

2.2.1 Mehanske lastnosti lesa

Les je izrazito nehomogen in anizotropen material. Večina mehanskih in fizikalnih lastnosti je zato različna v različnih smereh. Pri lesnem deblu so za analizo lastnosti lesa pomembni naslednji trije rezi:

- prečni prerez,
- tangencialni prerez in
- radialni prerez.

Teoretično bi morali razlikovati mehanske karakteristike v vseh treh smereh, praktično pa jih razlikujemo samo v smeri vlaken in pravokotno na vlakna (ortotropija). Večina mehanskih lastnosti je najboljših v smeri vzporedno z vlakni. Z večanjem kota glede na smer vlaken se mehanske lastnosti slabšajo in praviloma dosežejo najmanjšo vrednost v smeri pravokotno na vlakna [2].

Pomemben vpliv na mehanske karakteristike ima tudi vlažnost lesa, ki je odvisna od relativne vlažnosti okolice in temperature okolice. Vsebnost vlage vpliva na trdnost lesa le do točke nasičenosti, do koder je vpliv približno linearen. Povečevanje vlažnosti nad točko zasičenosti nima več vpliva, ker so vse pore že napolnjene z vodo in se ustvari tok s prosto gladino.

Po standardu EC5 les delimo glede na vsebnost vlage na tri razrede uporabe [1]:

- Prvi razred uporabe predstavlja suh les, katerega dosežemo s tehničnim sušenjem in vsebnost vlage ne presega 12 %. Relativna vlažnost okoliškega zraka je večino leta pod 65 %, večja vlažnost je le nekaj tednov na leto.
- Drugi razred uporabe dosežemo z naravnim sušenjem. Vsebnost vlage ne presega 20 %, relativna vlažnost okoliškega zraka pa je večino leta pod 85 %, večja vlažnost je le nekaj tednov na leto.
- Tretji razred uporabe lesa velja za les, ki vsebuje več kot 20 % vlage.

2.2.2 Karakteristična trdnost lesa

Trdnost je praviloma tista napetost v elementu, pri kateri se začne rušiti atomska struktura materiala. Neposredno na trdnost lesa vplivajo botanična vrsta lesa, smer obremenjevanja, vlažnost lesa, poroznost in napake v lesu [1].

Pri dimenzioniranju sestavljenih tlačnih elementov je odpornost stebra odvisna od karakteristične tlačne trdnosti v smeri vlaken $f_{c,0,k}$, saj lesna vlakna potekajo vzdolž elementa. V spodnjih preglednicah so podane karakteristične in togostne lastnosti za iglavce in listavce.

Tabela 1: Karakteristične lastnosti, togostne lastnosti in gostota masivnega lesa – iglavci in topolovina (Povzeto po: Beg (ur.), Pogačnik (ur.). 2011: str. 5-112)

Trdnostni razredi		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Tlak [N/mm ²]	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
	$f_{c,90,k}$	2	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Modul elast. [N/mm ²]	$E_{0,mean}$	7000	8000	9000	9500	10000	11000	11500	12000	13000	14000	15000	16000
	$E_{0,05}$	4700	5400	6000	6400	6700	7400	7700	8000	8700	9400	10000	10700
Gostota [kg/m ³]	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Tabela 2: Karakteristične lastnosti, togostne lastnosti in gostota masivnega lesa - listavci (Povzeto po: Beg (ur.), Pogačnik (ur.). 2011: str. 5-112)

Trdnostni razredi		D30	D35	D40	D50	D60	D70
Tlak [N/mm ²]	$f_{c,0,k}$	23	25	26	29	32	34
	$f_{c,90,k}$	8	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Modul elastičnosti [N/mm ²]	$E_{0,mean}$	10000	10000	11000	14000	17000	20000
	$E_{0,05}$	8000	8700	9400	11800	14300	16800
Gostota [kg/m ³]	ρ_k	530	560	590	650	700	900
	ρ_{mean}	640	670	700	780	840	1080

Povprečno vrednost elastičnega modula v smeri vlaken označimo z $E_{0,mean}$ in ga upoštevamo pri računu parametrov podajnosti veznih sredstev. Vrednost elastičnega modula pri 5 % fraktili $E_{0,05}$ pa upoštevamo pri računu relativne vitkosti stebra.

ρ_k predstavlja karakteristično gostoto lesa, ρ_{mean} pa povprečno gostoto lesa.

2.2.3 Vpliv trajanja obtežbe

Projektne trdnosti lesa so odvisne od trajanja karakteristične obtežbe, ki deluje na konstrukcijo. Ločimo stalno (*P*), dolgotrajno (*L*), srednje dolgo (*M*), kratkotrajno (*S*), in trenutno obtežbo (*I*). Srednje dolgo obtežbo definiramo kot obtežbo s snegom. kot kratkotrajno obtežbo upoštevamo obtežbo z vetrom [2].

Tabela 3: Razvrstitev obtežb glede na trajanje (Beg (ur.), Pogačnik (ur.). 2011: str. 5-13)

Razred trajanja obtežbe	Čas delovanja	Primer obtežbe
stalna	več kot 10 let	lastna teža
dolgotrajna	6 mesecev do 10 let	skladiščni material
srednjetrjna	1 teden do 6 mesecev	koristna obtežba, sneg
kratkotrajna	manj kot en teden	sneg, veter
trenutna		veter, nezgodne obtežbe

Vpliv trajanja delovanja obtežbe in stopnje vlažnosti v računu zajamemo z modifikacijskim faktorjem k_{mod} , s katerim proporcionalno zmanjšamo trdnosti lesa. Za 1. in 2. razred uporabe lesa so faktorji k_{mod} enaki, za 3. razred, ki po predpisih ni primeren za konstrukcijske elemente, pa so vrednosti modifikacijskega faktorja nekoliko manjše.

Tabela 4: Vrednost faktorja k_{mod} za masivni les glede na razred uporabe (Beg (ur.), Pogačnik (ur.). 2011: str. 5-112).

Razred tr.	k_{mod}
P	0,60
L	0,70
M	0,80
S	0,90

2.2.4 Materialni varnostni faktorji

Materialni varnostni faktorji so pri dimenzioniranju lesenih konstrukcij odvisni od vrste materiala in od vrste mejnega stanja. Vrednost delnega varnostnega faktorja je po EC5 enaka za večino vrst konstrukcijskega lesa in znaša $\gamma_M = 1,3$. Manjšo vrednost upoštevamo pri lameliranem lepljenem lesu, pri katerem izločimo slaba mesta v materialu in nadzorujemo potek vlaken po elementu.

Projektno vrednost trdnosti izračunamo iz karakterističnih vrednosti. Trdnost faktoriramo z ustreznim koeficientom zaradi vpliva trajanja obtežbe in vlažnosti lesa ter zmanjšamo s pripadajočim materialnim faktorjem za izbrano vrsto lesa [2].

$$f_d = k_{mod} \frac{f_k}{\gamma_M} \quad (2.1)$$

2.3 Obtežba

Predpostavimo, da na stebre deluje tlačna osna sila, ki deluje v težišču prereza. Po celotnem prerezu se vzpostavi konstantno tlačno napetostno stanje.

Projektna obremenitev E_d , ki ne sme presegati odpornosti konstrukcijske komponente R_d , je določena v SIST EN 1990 in je enaka za vse Evrokod standarde. Pr stalnih in začasnih stanjih je E_d učinek kombinacije naslednjih vplivov:

$$\sum_j \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (2.2)$$

Z G označujemo stalne vplive, s Q pa spremenljive. Ker pri tlačno obremenjenih stebrih vsa obtežba deluje neugodno, je v programu privzet varnostni faktor za stalne vplive 1,35, za spremenljive vplive pa 1,5. V primeru, da na konstrukcijo deluje več različnih spremenljivih obtežb, prevladujočo obtežbo faktoriramo z γ_Q , ostale pa zmanjšamo s kombinacijskim faktorjem, torej jih faktoriramo z $\gamma_Q \cdot \psi_{0,i}$ [3].

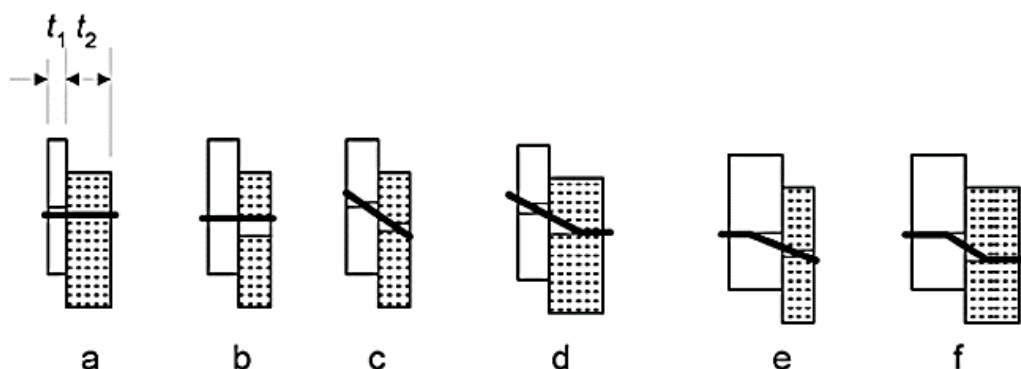
2.4 Vezna sredstva

Mehanska vezna sredstva med seboj povezujejo sestavne elemente posameznega stebra. Zaradi podajnosti lesa in popustljivosti veznih sredstev pride pri obremenjevanju do zdrsov in medsebojnih zamikov. Pri elastičnih veznih sredstvih, kot so na primer zabiti žebliji, se zamiki gibljejo med 0,08 mm in 0,50 mm. Žebliji so vezna sredstva mozničnega tipa in obremenitve prevzemajo v strižni ravnini po principu paličnega moznika. Strižni tok ali priključna intenziteta so strižne sile reducirane na enoto dolžine priključne ravnine. V primeru centričnega tlaka je priključna intenziteta konstantna, pri upogibu pa se spreminja skladno s prečnimi silami [2].

2.4.1 Bočna nosilnost veznih sredstev

Zaradi preprečenega zamika v priključni ravnini, se v žebliju pojavijo bočne tlačne napetosti. Nasprotno enake napetosti delujejo na les, ki se zaradi nižje trdnosti od žeblija deformira in povzroči dodaten zamik veznega sredstva. Glavni dejavniki, ki vplivajo na bočno nosilnost strižne zveze so vrsta veznega sredstva, dimenzije in material iz katerega je izdelan, bočna trdnost lesa in strižnost zveze.

V obravnavanih elementih so vsi stiki tipa enostrižnih zvez les - les. EC5 bočno nosilnost takih zvez določa z Johansenovimi izrazi. Za vsak porušni mehanizem izračunamo bočno nosilnost žeblija ter v izračunu upoštevamo najmanjšo od nosilnosti. Način porušitve je odvisen od geometrije stika, vtisnih trdnosti in polnoplastičnega momenta žeblija. Žebelj je v stiku les – les deformabilen v vseh veznih elementih. Možni so naslednji porušni mehanizmi [2]:



Slika 2: Porušni mehanizmi pri stiku les – les (SIST EN 1995, 2004, str. 63).

a) Bočna porušitev lesa okoli veznega sredstva v prvem sestavnem elementu.

$$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \quad (2.3)$$

b) Bočna porušitev lesa okoli veznega sredstva v drugem sestavnem elementu.

$$F_{v,Rk} = f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \quad (2.4)$$

c) Zasuk veznega sredstva.

$$F_{v,Rk} = \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1+\beta} \cdot \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \cdot \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right]} + \beta^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (2.5)$$

$F_{ax,Rk}$ predstavlja izvlečno nosilnost veznega sredstva. Največkrat v praksi prispevek izvlečne nosilnosti zanemarimo.

d) Plastifikacija veznega sredstva zaradi kontaktnih napetosti v drugem elementu.

$$F_{v,Rk} = 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2+\beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2+\beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (2.6)$$

e) Plastifikacija veznega sredstva zaradi kontaktnih napetosti v prvem elementu.

$$F_{v,Rk} = 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d}{1+2\beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (1+2\beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (2.7)$$

f) Plastifikacija veznega sredstva v obeh sestavnih elementih.

$$F_{v,Rk} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \cdot \sqrt{2M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (2.8)$$

Kjer so:

- d debelina žebnja,
- t_1 dolžina žebnja v prvem sestavnem elementu,
- t_2 dolžina žebnja v drugem sestavnem elementu,
- $f_{h,1,k}$ bočna trdnost lesa v prvem sestavnem elementu,
- $f_{h,2,k}$ bočna trdnost lesa v drugem sestavnem elementu.

Ker je stebel sestavljen iz elementov enakega materiala, sta bočni trdnosti enaki.

- za žeblice zabite neposredno v les:

$$f_{h,k} \left[\frac{N}{mm^2} \right] = 0,082 \cdot (d [mm])^{-0,3} \cdot \rho_k \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad (2.9)$$

- za žeblice zabite v predhodno pripravljene izvrtine:

$$f_{h,k} \left[\frac{N}{mm^2} \right] = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d [mm]) \cdot \rho_k \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad (2.10)$$

- β razmerje bočnih trdnosti v drugem in prvem elementu:

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} \quad (2.11)$$

- $M_{y,Rk}$ karakteristična vrednost upogibnega momenta pri popolni plastifikaciji jekla, iz katerega je izdelan žebelj:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \cdot d [mm]^{2,6} \quad (2.12)$$

2.4.2 Modul zdrsa veznega sredstva

Empirično določena vrednost modula zdrsa K_{ser} v mejnem stanju uporabnosti opisuje podajnost veznih sredstev. Izrazi so določeni na podlagi preizkusa, ki je izveden pri nefaktorirani obtežbi in so vezna sredstva neplastificirana. Modul K_{ser} določa togost veznega sredstva in je odvisen predvsem od njegove vrste ter dimenzije. Pomembna je tudi vrsta veznega sredstva in način vgradnje [1].

$$K_{ser} = \frac{F_{v1}}{\Delta} \quad (2.13)$$

- F_{v1} strižna sila, ki obremenjuje eno vezno sredstvo,
- Δ zdrs veznega sredstva.

Za žeblice zabite neposredno v les velja:

$$K_{ser} = \frac{\rho_m^{1,5} \cdot d^{0,8}}{30} \quad (2.14)$$

Za žeblice zabite v predhodno pripravljene izvrtine:

$$K_{ser} = \frac{\rho_m^{1,5} \cdot d}{23} \quad (2.15)$$

Izrazi za K_{ser} veljajo za modul zdrsa v mejnem stanju uporabnosti. Ker konstrukcije dimenzioniramo v mejnem stanju nosilnosti in računamo s povečanimi obremenitvami, se tudi zdrsi v priključnih ravninah povečajo. Spremembo začetne togosti veznih sredstev zajamemo z redukcijo modula zdrsa. V MSN torej za vrednost modula zdrsa uporabimo modul K_u , ki ga izračunamo z naslednjim izrazom [2]:

$$K_u = \frac{2}{3} \cdot K_{ser} \quad (2.16)$$

2.4.3 Faktor togosti veznih sredstev

Faktor togosti priključne ravnine γ_i je odvisen od razporeditve veznih sredstev (s_{ef} medsebojni računski razmak veznih sredstev), togosti veznega sredstva (K_{ser} v MSU oz. K_u v MSN), geometrijskih karakteristik priključne površine (A_i in L_{ef}) ter vrste lesa (E_{mean}). Faktor γ je definiran od vrednosti 0 do vrednosti 1, kjer 1 predstavlja popolno povezavo brez zamikov med elementi, z vrednostjo 0 pa opišemo elemente, ki med seboj niso povezani in so zdrsi popolnoma prosti. Element 2 je osnovni element, na katerega se priključujeta elementa 1 in 3, zato velja da je $\gamma_2 = 1,0$ (glej sliko 3).

Stopnjo togosti določimo z naslednjim izrazom [4]:

$$\gamma_i = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_{m,i} A_i s_{ef,i}^2}{K_i L_{ef}^2}}; \quad i = 1 \text{ in } 3 \quad (2.17)$$

2.5 Nadomestna upogibna togost prereza

EC5 za račun napetosti v prerezu in sile, ki odpade na vezna sredstva, definira nadomestno upogibno togost z upoštevanjem K_u . Za primer sestavljenega stebra s tremi elementi, pri čemer so vsi sestavni deli iz enake vrste lesa, računamo po spodnjem izrazu [4]:

$$I_{ef} = I_i + \gamma_i A_i a_i^2 \quad (2.18)$$

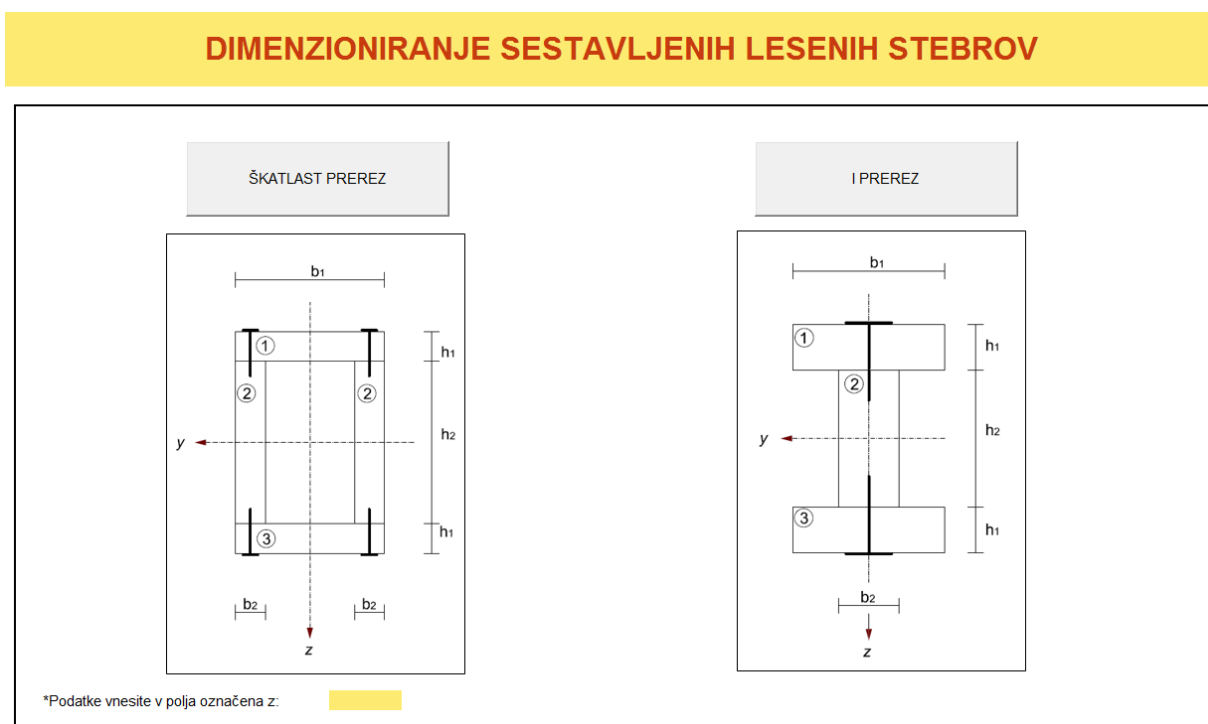
Kjer je a_i oddaljenost težišča celotnega prereza od težišča posameznega sestavnega dela.

2.6 Vhodni podatki v programu Microsoft Excel

2.6.1 Geometrijske karakteristike prerezov

V računalniškem programu se omejimo na dva prereza, ki sta najpogostejša pri sestavljenih stebrih z elementi, povezanimi po vsej dolžini. Prerez mora biti simetričen okoli obeh osi. Najenostavnejši je škatlast prerez, ki je uklonsko tudi najbolj ugoden. »I« prerez je uklonsko manj ugoden in bolj pogost prerez pri dimenzioniranju sestavljenih nosilcev.

V računalniškem programu vnesemo dimenzije posameznih elementov, na podlagi katerih izračunamo ploščine in vztrajnostna momenta okoli obeh simetrijskih osi.

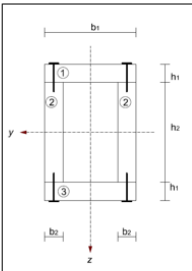


Slika 3: Prikaz prvega okna za izbiro prečnega prereza.

Na spodnji sliki je prikazan primer prve strani za vnos vhodnih podatkov. Na podlagi izbranih parametrov sta izvedeni tudi kontrola nosilnosti glede na uklon in kontrola nosilnosti veznih sredstev.

ŠKATLAST PREREZ

A. PODATKI



Višina stebra	
<i>L</i>	900,00 cm

Geometrija prereza		Ploščina		Vztrajnostni moment - y os		Vztrajnostni moment - z os	
<i>b</i> ₁	20,00 cm	<i>A</i> ₁	100,00 cm ²	<i>I</i> _{1y}	208,33 cm ⁴	<i>I</i> _{1z}	208,33 cm ⁴
<i>h</i> ₁	5,00 cm	<i>A</i> ₂	100,00 cm ²	<i>I</i> _{2y}	6666,67 cm ⁴	<i>I</i> _{2z}	6666,67 cm ⁴
<i>b</i> ₂	5,00 cm						
<i>h</i> ₂	20,00 cm	<i>A</i> _{tot}	400,00 cm ²				

B. OBEŽBA

Stalna obtežba	<i>G</i> _k	20,00	kN		
Koristna obtežba - prevladujoča	<i>Q</i> _k	25,00	kN	→	<i>F</i> _{cd} 64,50 kN
Koristna obtežba	<i>Q</i> _{k1}		kN		
Kombinacijski faktorji	$\psi_{0,1}$	0,6			

C. IZBIRA VRSTE LESA

Trdnostni razred	<input type="text" value="C30"/>	→	<i>f</i> _{c,0,k} [kN/cm ²]	<i>E</i> _{0,05} [kN/cm ²]	<i>E</i> _{mean} [kN/cm ²]	ρ_{mean} [kN/cm ³]	ρ_k [kN/cm ³]	<i>f</i> _{c,0,d} [kN/cm ²]
			2,30	800,00	1200,00	0,46	0,38	1,415
Trajanje obtežbe	<input type="text" value="M"/>	→	<i>k</i> _{mod}	0,80				

D. IZBIRA VEZNEGA SREDSTVA

Slika 4: Okno za vnos geometrijskih karakteristik, obtežbe in vrste lesa.

2.6.2 Izbira veznega sredstva

V programu lahko izbiramo gladke žebelje, ki jih zabijamo neposredno v les ali jih zabijamo v predhodno izvrtano luknjo. Strižna odpornost posameznega žebelja je odvisna od načina vgradnje in lastnosti žebelja, dimenzij ter trdnosti lesenih elementov, v katere so žebelji zabiti. V stolpcih so podane karakteristike posameznih žebeljev. Žebelj izberemo na podlagi debeline elementa 1, ki mora ustrezati kriterijem maksimalne in minimalne debeline. Potrebno je tudi, da je žebelj zabiti dovolj globoko v drugi sestavni element, zato preverimo tudi pogoj minimalne debeline lesa 2 oz. minimalne globine vtiskanja (glej sliki 2 in 3).

Pri listavcih in žeblijih premera več kot 8 mm morajo biti žebelji zabiti v predhodno izvrtano luknjo. Program ob izbiri lesa gostote nad 500 kg/m^3 uporabnika opozori, da direktno zabijanje žebeljev ni mogoče in da je potrebno izbrati način z zabijanjem v predhodno uvrtno luknjo.

Iz preglednice izpišemo glavne karakteristike izbranega žebelja, ki so potrebne za izračun modula pomika in nosilnosti žebelja. Uporabnik poda število vrst in dejanski razmak med žebli. Z orodjem Data validation, omejimo vnesene vrednosti, tako da karakteristike žebelja ustrezajo izbrani geometriji prereza.

ŠKATLAST PREREZ - IZBIRA ŽEBELJA																			
Vrsta spoja: enostržen les - les																			
Način zabijanja žebeljev: ZABITI NEPOSREDNO V LES																			
f _{td} 600 Mpa																			
Premjer žebelja d [mm]	2,2	2,2	2,5	2,5	2,8	3,1	3,1	3,1	3,4	3,8	4,2	4,6	5,5	5,5	6	7	7,5	8	9
Dolžina žebelja l [mm]	45	50	55	60	65	65	70	80	90	100	110	130	140	160	180	210	230	280	310
f ₁ [mm]	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Minimalna globina zabijanja t ₂ [mm]	17,60	17,60	20,00	20,00	22,40	24,80	24,80	24,80	27,20	30,40	33,60	36,80	44,00	44,00	48,00	56,00	60,00	64,00	72,00
Maksimalna debelina lesa 1 [mm]	27,40	32,40	35,00	40,00	42,60	40,20	45,20	55,20	62,80	69,60	76,40	93,20	96,00	116,00	132,00	154,00	170,00	216,00	238,00
Minimalna debelina lesa 1 [mm]	15,40	15,40	17,50	17,50	19,60	21,70	21,70	21,70	23,80	26,60	29,40	32,20	38,50	38,50	42,00	53,40	59,10	64,80	76,10
Minimalna debelina lesa 2 [mm]	15,40	15,40	17,50	17,50	19,60	21,70	21,70	21,70	23,80	26,60	29,40	32,20	38,50	38,50	42,00	53,40	59,10	64,80	76,10
f _{1,1k} [N/mm ²]	24,60	24,60	23,67	23,67	22,88	22,19	22,19	22,19	21,59	20,88	20,26	19,71	18,68	18,68	18,20	17,38	17,02	28,67	28,36
f _{1,2k} [N/mm ²]	24,60	24,60	23,67	23,67	22,88	22,19	22,19	22,19	21,59	20,88	20,26	19,71	18,68	18,68	18,20	17,38	17,02	28,67	28,36
δ	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
M _{1,2k} [Nmm]	1.398,21	1.398,21	1.949,47	1.949,47	2.617,48	3.410,46	3.410,46	3.410,46	4.336,28	5.790,42	7.511,40	9.515,75	15.143,12	15.143,12	18.987,41	28.348,33	33.918,12	40.114,97	54.488,27
F _{v,1k} [N]	447,35	447,35	552,39	552,39	665,98	787,76	787,76	787,76	917,46	1102,28	1300,20	1510,77	2007,61	2007,61	2217,57	2678,25	2897,58	4815,72	5545,08
IZBRAN ŽEBELJ																			
Debelina žebelja d	5,5	mm																	
Dolžina žebelja l	160	mm																	
F _{v,1k}	2007,61	N																	
F _{v,1Ed}	1,24	kN																	
Dejanski razmak žebeljev s _p	5,00	cm																	
Število vrst žebeljev n	2	→ s ₁ 2,50 cm																	
NAZAJ NA ŠKATLAST PREREZ																			

Slika 5: Okno za izbiro žebelja.

3 KONTROLA NORMALNIH NAPETOSTI GLEDE NEVARNOSTI UKLONA

Pri kontroli napetosti predpostavimo konstantni potek napetosti po prečnem prerezu, čeprav se ta zaradi nehomogenosti lesa po prerezu spreminja. S sestavljanjem elementov lahko dosežemo stebre velikih višin, vendar s tem povečujemo vitkost stebra. Zaradi proste izbire dimenzij prereza, kontroliramo nevarnost uklona okrog osi y in okrog osi z .

Če ni nevarnosti uklona, mora v splošnem veljati:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \leq f_{c,0,d} \quad (3.1)$$

3.1 Eulerjeva kritična sila

Pri vitkih elementih lahko pride do izgube stabilnosti elementa še preden je dosežena tlačna nosilnost lesa. Ko dejanske napetosti $\sigma_{c,0,d}$ presežejo vrednost napetosti pri Eulerjevi kritični sili σ_{crit} , se element ukloni. Eulerjevo kritično silo definiramo pri 5 % fraktili elastičnega modula ($E_{0,05}$).

$$N_{crit} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05} \cdot I}{L_{ef}^2} \quad (3.2)$$

Eulerjevo kritično napetost izrazimo z vitkostjo elementa λ , ki je odvisna od uklonske dolžine stebra in geometrijskih karakteristik prereza.

$$\sigma_{crit} = \frac{N_{crit}}{A} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05} \cdot I}{L_{ef}^2 \cdot A} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05} \cdot i^2}{L_{ef}^2} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda^2} \quad (3.3)$$

$$\lambda = \frac{L_{ef}}{i} \quad (3.4)$$

Uklonska nosilnost sestavljenega stebra je odvisna od efektivne vitkosti λ_{ef} , ki upošteva vpliv nadomestne upogibne togosti prereza. V splošnem moramo računati vrednosti efektivne vitkosti posebej za uklon okrog osi y in uklon okrog osi z (če je steber v eni smeri podprt drugače kot v drugi) ter za različni vrednosti I_{ef} zaradi nesimetričnosti prereza [2].

$$\lambda_{ef} = L_{ef} \cdot \sqrt{\frac{E_{mean} A_{tot}}{(EI)_{ef}}} \quad (3.5)$$

3.2 Uklonski faktor

Na podlagi efektivne vitkosti izračunamo relativno vitkost, ki je odvisna od materialnih karakteristik elementa in lastnosti materiala. V odvisnosti od relativne vitkosti so določeni koeficienti k_c , s katerimi reduciramo tlačno trdnost elementa in upoštevamo možnost uklona elementa.

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda_{ef}}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (3.6)$$

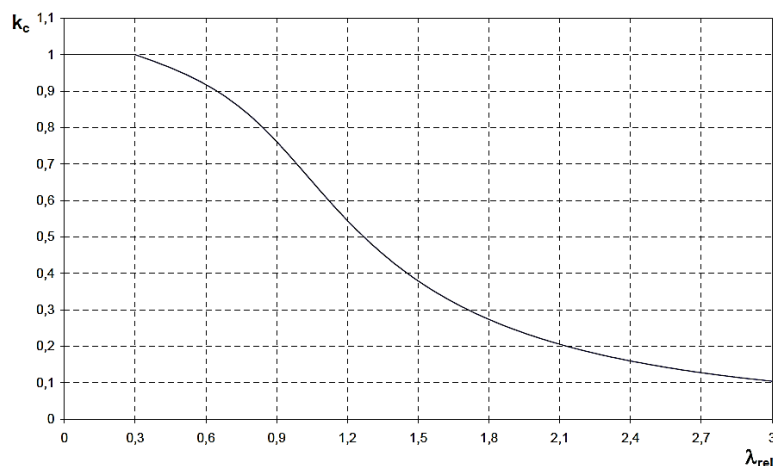
Če je $\lambda_{rel} \leq 0,3$, ni nevarnosti uklona in za vrednost uklonskega faktorja upoštevamo vrednost 1,0. Če je relativna vitkost večja od 0,3, izračunamo uklonski faktor po naslednjih dveh enačbah za vsako vztrajnostno os posebej:

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} \quad (3.7)$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + \beta_c (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] \quad (3.8)$$

β_c je faktor, s katerim upoštevamo geometrijsko nepopolnost elementa in znaša 0,2 za masivni les.

Vrednost uklonskega koeficienta v odvisnosti od relativne vitkosti je grafično prikazana v spodnjem diagramu



Graf 1: Uklonski korekcijski faktor k_c v odvisnosti od relativne vitkosti λ_{rel} (Lopatič, 2012: str. 36)

Ko poznamo vrednost uklonskega faktorja, preverimo ali dejanske napetost v prerezu ne presegajo reducirane računske odpornosti prereza.

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_c \cdot f_{c,0,d} \quad (3.9)$$

3.3 Kontrola normalnih napetosti glede nevarnosti uklona okoli osi y – y

uklon okoli osi y	
$\gamma_1 = \gamma_3$	0,701

$$\gamma_1 = \gamma_3 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_{mean} A_1 s_1}{K_1 L_{ef}^2}} \quad (3.10)$$

uklon okoli osi y		
$a_1 = a_3$	12,50	cm
$I_{ef,y}$	28993,08	cm ⁴

$$I_{ef,y} = (I_{1,y} + \gamma_1 A_1 a_1^2) \cdot 2 + I_{2,y} \quad (3.11)$$

$\lambda_{ef,y}$	105,712
$\lambda_{rel,y}$	1,804

$$\lambda_{ef,y} = L_{ef,y} \cdot \sqrt{\frac{E_{mean} A_{tot}}{I_{ef,y}}} \quad (3.12)$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_{ef,y}}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (3.13)$$

k_y	2,278
$k_{c,y}$	0,273

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] \quad (3.14)$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (3.15)$$

Slika 6: Postopek kontrole uklona okoli y osi.

uklon okoli osi y		
$\sigma_{c,0,d}$	0,161	kN/cm ²
$k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}$	0,386	kN/cm ²
	OK	

Veljati mora:

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} \cdot f_{c,0,d} \quad (3.16)$$

Slika 7: Pogoji kontrole nosilnosti glede uklona okoli y osi.

3.4 Kontrola normalnih napetosti glede nevarnosti uklona okoli osi z – z

uklon okoli osi z	
$\gamma_1 = \gamma_3$	0,701

$$\gamma_1 = \gamma_3 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_{mean} A_1 s_1}{K_1 L_{ef}^2}} \quad (3.17)$$

Za razliko od kontrole glede nevarnosti uklona okoli y osi sta elementa 1 in 3 vzporedna z z osjo, element 2 pa je orientiran tako, da je pravokoten na z os.

uklon okoli osi z		
$a_1 = a_3$	7,50	cm
$I_{ef,z}$	14970,84	cm ⁴

$$I_{ef,z} = (I_{1,z} + \gamma_1 A_1 a_1^2) \cdot 2 + I_{2,z} \quad (3.18)$$

$$\lambda_{ef,z} = L_{ef,z} \cdot \sqrt{\frac{E_{mean} A_{tot}}{I_{ef,z}}} \quad (3.19)$$

$\lambda_{ef,z}$	147,112
$\lambda_{rel,z}$	2,511

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_{ef,y}}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (3.20)$$

$$k_{yz} = 0,5 \cdot [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] \quad (3.21)$$

K_z	3,873
$K_{c,z}$	0,147

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (3.22)$$

Slika 8: Postopek kontrole uklona okoli z osi.

uklon okoli osi z		
$\sigma_{c,0,d}$	0,161	kN/cm ²
$K_{c,z} \cdot f_{c,0,d}$	0,207	kN/cm ²
	OK	

Veljati mora:

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,z} \cdot f_{c,0,d} \quad (3.23)$$

Slika 9: Pogoji kontrole nosilnosti glede uklona okoli z osi.

4 KONTROLA NOSILNOSTI VEZNIH SREDSTEV

4.1 Idealizirana računska nadomestna prečna sila

Sile na žebelje določimo na podlagi sil, ki so posledica deformiranja elementa. Ker so relativno majhne, jih upoštevamo samo pri dimenzioniranju žebeljev v stikih, pri dimenzioniranju prečnega prereza pa jih zanemarimo. Določanje teh dodatnih prečnih sil temelji na poteku pomikov. Zaradi zapletenih analitičnih izrazov za določitev prečne sile v odvisnosti od uklona, EC5 podaja poenostavljene izraze, ki določajo idealizirano prečno silo na vezna sredstva na podlagi vrednosti osne sile v stebru in efektivne vitkosti λ_{ef} [3]:

$$V_d = \begin{cases} \frac{F_{c,d}}{120k_c}; & \lambda_{ef} < 30 \\ \frac{F_{c,d}\lambda_{ef}}{3600k_c}; & 30 \leq \lambda_{ef} \leq 60 \\ \frac{F_{c,d}}{60k_c}; & \lambda_{ef} > 60 \end{cases} \quad (3.24)$$

4.2 Projektna obremenitev enega veznega sredstva v strižni ravnini

Vsak žebelj mora prevzeti silo $F_{d,i}$, ki je definirana z naslednjim izrazom [4]:

$$F_{d,i} = \frac{\gamma_i A_i a_i s_i}{I_{ef}} V_d \quad (3.25)$$

Projektno obremenitev enega žeblija $F_{d,i}$ primerjamo z dejansko nosilnostjo žeblija $F_{v,Rd}$. Če velja, da je $F_{d,i} \leq F_{v,Rd}$, je izbran žebelj ustrezen. V nasprotnem primeru izberemo drug žebelj ali zmanjšamo dejanski razmik med žebliji s_n .

4.3 Kontrola nosilnosti žeblicev okoli y osi

uklon okoli osi y		
V_{Ed}	3,94	kN

$$V_{d,y} = \begin{cases} \frac{F_{c,d}}{120k_{c,y}}; \lambda_{ef,y} < 30 \\ \frac{F_{c,d}\lambda_{ef}}{3600k_{c,y}}; 30 \leq \lambda_{ef,y} \leq 60 \\ \frac{F_{c,d}}{60k_{c,y}}; \lambda_{ef,y} > 60 \end{cases} \quad (3.26)$$

uklon okoli osi y		
$F_{d1,y}$	0,30	kN
$F_{v,Rd}$	1,24	kN
OK		

$$F_{d,1} = \frac{\gamma_1 A_1 a_1 s_1}{I_{ef,y}} V_{d,y} \quad (3.27)$$

Slika 10: Kontrola nosilnosti žeblicev okoli osi y.

4.4 Kontrola nosilnosti žeblicev okoli z osi

uklon okoli osi z		
V_{Ed}	7,33	kN

$$V_{d,z} = \begin{cases} \frac{F_{c,d}}{120k_{c,z}}; \lambda_{ef,z} < 30 \\ \frac{F_{c,d}\lambda_{ef}}{3600k_{c,z}}; 30 \leq \lambda_{ef,z} \leq 60 \\ \frac{F_{c,d}}{60k_{c,z}}; \lambda_{ef,z} > 60 \end{cases} \quad (3.28)$$

uklon okoli osi z		
$F_{d1,z}$	0,64	kN
$F_{v,Rd}$	1,24	kN
OK		

$$F_{d,1} = \frac{\gamma_1 A_1 a_1 s_1}{I_{ef,z}} V_{d,z} \quad (3.29)$$

Slika 11: Kontrola nosilnosti žeblicev okoli z osi.

5 ZAKLJUČEK

V programskem okolju Microsoft Excel smo na podlagi izrazov iz standarda Evrokod 5 izdelali računalniški program za dimenzioniranje sestavljenih lesenih stebrov. Sestavljeni stebri, ki so predmet diplomske naloge, so sestavljeni iz debelih desk, ki so z mehanskimi veznimi sredstvi povezane po celi dolžini elementa. Omejili smo se na »škatlaste« in »I« prereze sestavljenih stebrov, saj se ti najpogosteje uporabljajo v praksi. Ker se zaradi mehanskih povezav pojavijo zdrsi v strižni ravnini, je potrebno pri sestavljenih elementih, poleg kontrole tlačne nosilnosti z upoštevanjem uklona, ki je običajna tudi pri nesestavljenih elementih, izvesti še kontrolo nosilnosti veznih sredstev. Tako na nosilnost sestavljenega stebra vpliva veliko parametrov. V primeru, ko ob izbranih začetnih parametrih, ki vplivajo na nosilnost elementa, ni bilo zadoščeno kontroli tlačne nosilnosti prečnega prereza in/ali kontroli nosilnosti veznih sredstev, lahko uporabnik, v zelo kratkem času, v izdelanem računalniškem programu spremeni parametre tako, da je obema kontrolama zadoščeno.

VIRI

- [1] Beg, D. (ur.), Pogačnik, A (ur.). 2011. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po evrokod standardih. 1. ponatis. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: 5-1 – 5-83.

- [2] Lopatič, J. 2012. Lesene konstrukcije B-UNI. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Študijsko gradivo: 6, 19-21, 34-38, 61-70, 79-85, 93-100.

- [3] SIST EN 1995-1-1: 2005. Evrokod 5: Projektiranje lesenih konstrukcij – 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe.

- [4] Porteous, J., Kermani, A. 2007. Structural timber design to Eurocode 5. Oxford, Blackwell Science Ltd.: 294- 303.