

**PREVIEW OF THE SCHOOL ROOF GLUED LAMINATED  
TIMBER STRUCTURE  
PRIKAZ KROVNE KONSTRUKCIJE OD LIJEPLJENO  
LAMELIRANOG DRVETA KOD ŠKOLSKE DVORANE**

Žana Džubur, Merima Salčin, Džana Vrce, Majudin Muratović  
Univerzitet „Džemal Bijedić“ u Mostaru Građevinski fakultet, USRC "Mithat Hujdur Hujka"  
88104 Mostar BiH, zana.dzubur@unmo.ba

**Keywords:** wood, glued laminated timber, roof structure, beam

**ABSTRACT:**

*Glued laminated timber is a product of the latest technologies in wood processing, adhesive technology and the highest scientific achievements in the field of design and construction theory. The glued laminated wood beams are designed in accordance with the requirements of the technological process of production and according to the conditions of utilization of the complete capacity in the cross-section of the beam. This paper presents the calculation of the main and secondary elements, as well as the elements of the stabilization roof structure of the school sports hall. The facility is located in the southern part of the city of Mostar, building measures are 28,50x46 m, peak is 10,65 m. Purlins are made of wood material quality C30, the highest utilization is obtained for the purlin which is in the middle of stabilization roof structure for the ultimate limit states and is 97%. The main beams are type glued laminated beams, designed as a two-part symmetrical trapezoidal beams. Wood quality of the main beam is GL32h, dimensions 30 / 70-180 cm, length 28,5 m. The maximum utilization is obtained for the ultimate limit states is 81%.*

**Ključne riječi:** drvo, lijepljeno lamelirano drvo, krovna konstrukcija, nosač

**SAŽETAK:**

*Lijepljeno lamelirano drvo je produkt najsavremenije tehnologije u obradi drveta, tehnologije lijepljenja i najviših naučnih dostignuća iz oblasti projektovanja i teorije konstrukcija. Nosači od lijepljenog lameliranog drveta se oblikuju u skladu sa zahtjevima tehnološkog procesa proizvodnje i prema uslovima gotovo potpunog iskorištenja nosivosti materijala u poprečnim presjecima nosača. U ovom radu prikazan je proračun glavnih i sekundarnih elemenata, te elemenata stabilizacijskog sprega krovne konstrukcije školske sportske dvorane. Objekat se nalazi u južnom dijelu grada Mostara, dimenzija 28,50x46 m, sa kotom sljemena 10,65 m. Rožnjače su izvedene od punog drveta kvalitete materijala C30, najveća iskorištenost je dobivena za rožnjaču u polju koja se nalazi u sistemu stabilizacijskog sprega za granično stanje nosivosti i iznosi 97%. Glavni nosači su tipski lijepljeni lamelirani nosači, izvedeni kao dvodjelni simetrični trapezni nosači, što ga ujedno čini i interesantnim. Kvaliteta materijala glavnih nosača je GL32h, dimenzija 30/70-180 cm, dužine 28,5 m. Najveća iskorištenost za granično stanje nosivosti iznosi 81%.*

## 1. UVOD

### 1.1. Lijepljeno lamelirano drvo

Lijepljeno lamelirano drvo je građevinski materijal sastavljen od tankih drvenih elemenata jednake širine, postavljeni jedni preko drugih, te međusobno slijepljeni određenim vrstama ljepila u određenim uvjetima. Sve vrste drva koje se koriste u klasičnim drvenim konstrukcijama mogu se koristiti i za lijepljene konstrukcije, ali s puno više pažnje prilikom izbora. Lijepljeno lamelirano drvo je proizvod koji je pomoću tehnologije unaprijedio fizičke osobine masivnog drva. Lamelirano drvo je zapravo oplemenjeno masivno drvo, pod pretpostavkom da je lijepljenje izvedeno kvalitetno i da su greške drva svedene na minimum ili potpuno isključene. [1]

Za razliku od masivnog drva, lijepljeno lamelirano drvo je neusporedivo čvršće, ima bolje statičke osobine, nema sklonosti uvijanju, vrijeme građenja je kraće, ima veliku požarnu otpornost i visoku otpornost na potres. Na osnovi navedenih osobina omogućena je izrada nosivih konstrukcija velikih raspona, uz korištenje tanjih elemenata.

Nosači od lijepljenog lameliranog drveta se oblikuju u skladu sa zahtjevima tehnološkog procesa proizvodnje i prema uslovima gotovo potpunog iskorištenja nosivosti materijala u poprečnim presjecima nosača. Tipiski oblici ovakvih nosača mogu biti trapezni, sedlasti i zakrivljeni, dok poprečni presjeci mogu biti konstantne ili promjenjive visine, što daje neograničenu slobodu oblikovanja. Raspodjela naprezanja se mijenja duž raspona ovih nosača, od presjeka do presjeka te dovodi do velike promjene naprezanja po visini poprečnog presjeka. Pojavljuju se i normalna naprezanja okomito na smjer vlaknaca kojih kod ravnih nosača jednostavne geometrije nema. Složeno stanje naprezanja, koje je upravo posljedica njihovog oblika, opisuje se nizom koeficijenata kojima se koriguju jednostavne provjere naprezanja u karakterističnim presjecima u pravcu zdužne osi, kakve bi bile promjenjive i na ravne lamelirane nosače. [2]

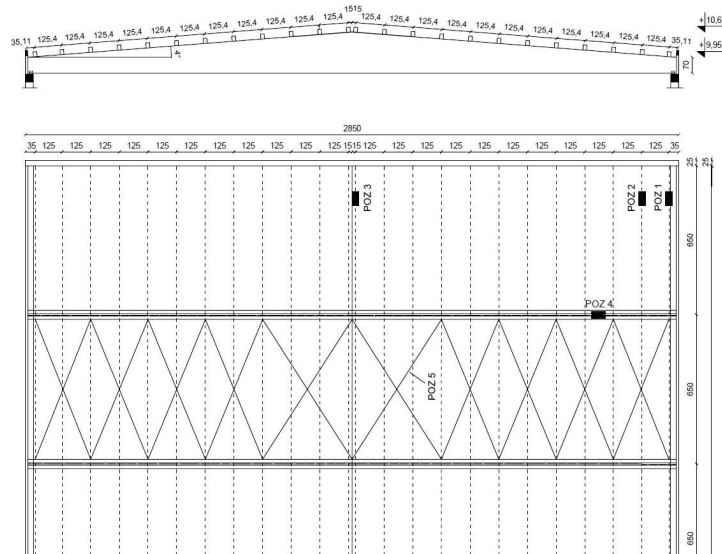
### 1.2. Opis konstrukcije

Školska sportska dvorana se nalazi u Mostaru. Tlocrtne dimenzije dvorane su 28,5 x 46,0 m. Krovna konstrukcija je izvedena kao dvovodni simetrični krov čija je visina sljemena 10,65 m sa nagibom krovnih ploha od 4,0°.

Glavni nosači su tipiski lijepljeni lamelirani nosači izvedeni kao dvostruki simetrični trapezni nosači ravnog intradosa. Dimenzije glavnih nosača su (70-180/15x2) cm i nalaze se na razmaku od 6,5 m. Materijal glavnog nosača je lijepljeno lamelirano drvo klase čvrstoće GL32h. Statički sistem je prosta greda. Rožnjače su sekundarni elementi poprečnog presjeka 16/22 cm postavljene na razmaku od 1,25 m. Materijal rožnjače je puno drvo kvalitete C30. Statički sistem sekundarnih nosača (rožnjača) je prosta greda. Prostorna stabilizacija krovne konstrukcije je izvedena kao sistem mekih dijagonala  $\phi 27$  mm kvalitete čelika S235. Statički sistem je rešetkasti nosač.

Norme korištene za proračun dejstva na konstrukciju su BAS EN 1991, zajedno sa interaktivnim kartama koje se nalaze na web stranici. [3-5] Za proračun i dimenzioniranje rožnjača, glavnog nosača i elemenata horizontalnih stabilizacijskih spregova korištena je norma BAS EN 1995 i BAS EN 1993. [6,7] Unutrašnje sile, reakcije i ugibi nosača proračunati su u programu Tower 7.

Žana Džubur, Merima Salčin, Džana Vrce, Majudin Muratović – Prikaz krovne konstrukcije od lijepljeno lameliranog drveta kod školske dvorane



Slika 1: Izgled krovne konstrukcije dvorane

## 2. DIMENZIONISANJE ELEMENATA KROVNE KONSTRUKCIJE

### 2.1. Rožnjača

Dimenzionisanje rožnjača krovne konstrukcije sportske dvorane urađeno je za tri pozicije: krajnja rožnjača (POZ1), rožnjača u polju (POZ2) i rožnjača u sljemenu (POZ3) prema graničnom stanju nosivosti (GSN) i graničnom stanju upotrebljivosti (GSU). Pretpostavljene dimenzije pravougaonog poprečnog presjeka rožnjače su 16/22 cm i klasa drveta C30, postupak dimenzionisanja i nosivost prikazana je Tabeli 1. Mjerodavna kombinacija opterećenja na rožnjaču za GSN je 1,35xstalno+1,5xvjetar-pritisak+1,5x07xsnijeg.

Tabela 1: Dimenzionisanje rožnjače

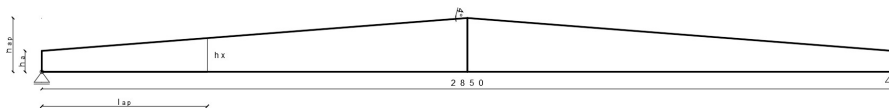
Nosivost	POZ1	POZ2	POZ3
Granično stanje nosivosti (GSN)			
$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} \cdot f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} \cdot f_{m,d}}$	0,57	0,72	0,46
$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} \cdot f_{m,d}}$	0,42	0,52	0,34
$\frac{\tau_{v,d}}{k_v \cdot f_{v,d}}$	0,11	0,17	0,17
$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_h \cdot k_{crit,y} \cdot f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_h \cdot k_{crit,z} \cdot f_{m,d}}$	0,84	0,96	0,52
$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_h \cdot k_{crit,y} \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_h \cdot k_{crit,z} \cdot f_{m,d}}$	0,68	0,97	0,46
Granično stanje upotrebljivosti (GSU)			

$W_{inst,Q} \leq W_{inst,lim} = \frac{L}{300} = 21,67\text{mm}$	15,98	20,41	12,62
$W_{fin} - W_{inst,g} \leq W_{inst,lim} = \frac{L}{200} = 32,50\text{mm}$	23,61	29,96	19,05
$W_{net,fin} = W_{fin} - W_0 \leq W_{net,fin,lim} = \frac{L}{250} = 26,00\text{mm}$	10,40	12,78	9,07

Najveća nosivost, tj. iskoristivost poprečnog presjeka rožnjače je POZ2, rožnjača u polju, i iznosi 97% kada se vrši kontrola nosivosti u dijelu stabilizacijskog sprega. Za granično stanje upotrebljivosti ugibi nisu prekoračeni ni za jedan od tri navedena kriterija. Poprečni presjek rožnjače se usvaja paravougaoani sa dimenzijama 16/22 cm i drveta klase C30.

## 2.2. Glavni nosač

Najveća dopuštena neto širina jedne lamele treba da je manja, odnosno jednaka 20 cm.[8] Gabariti objekta u poprečnom i podužnom pravcu zahtijevaju veće dimenzije poprečnog presjeka, pa je pretpostavljena širina 2x15cm, sa visinom u osloncu 70 cm i sljemenu 180 cm. Poprečni presjek je izveden kao dvodjelni trapezasti, klase drveta GL32h Dimenzionisanje glavnog nosača, statičkog sistema proste grede raspona 28,50 m, prikazano je u tabeli 2. Mjerodavna kombinacija opterećenja kod GSN je 1,35xstalno+1,5xsnijeg+1,5x0,6xvjetar-pritisak



Slika 2: Statički sistem glavnog nosača

Tabela 2: Dimenzionisanje glavnog nosača

Nosivost	Glavni nosač
Granično stanje nosivosti (GSN)	
Donja ivica nosača na savijanje u x-x presjeku $\frac{\sigma_{m,o,d}}{f_{m,d}}$	0,46
Gornja ivica nosača na savijanje u x-x presjeku $\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}}$	0,47
Stabilnost u presjeku x-x $\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}}$	0,46
Savijanje u sljemenu $\frac{\sigma_{m,ap,d}}{k_f \cdot f_{m,d}}$	0,42
Pritisak okomito na vlakna u sljemenu $\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot (\frac{V_0}{V})^{0,2} \cdot f_{t,90,d}}$	0,59
Smicanje iznad oslonca $\frac{\tau_d}{f_{v,d}}$	0,36
Pritisak okomito na vlakna u osloncu $\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90,d} \cdot f_{c,90,d}}$	0,81
Granično stanje upotrebljivosti (GSU)	

Žana Džubur, Merima Salčin, Džana Vrce, Majudin Muratović – Prikaz krovne konstrukcije od lijepljeno lameliranog drveta kod školske dvorane

$W_{inst,Q} \leq W_{inst,lim} = \frac{L}{300} = 95,00\text{mm}$	44,63
$W_{fin} - W_{inst,g} \leq W_{inst,lim} = \frac{L}{200} = 142,50\text{mm}$	73,40
$W_{net,fin} = W_{fin} - W_0 \leq W_{net,fin,lim} = \frac{L}{250} = 114,00\text{mm}$	0,00

Najveća iskorištenost za granično stanje nosivosti iznosi 81%. Svi uslovi za granično stanje upotrebljivosti su ispunjeni. Dimenzionisanje dvodjelnog poprečnog presjeka glavnog nosača od lijepljeno lameliranog drveta posebno se razmatra sa uvrštavanjem normalne sile pritiska, koja se javlja kao posljedica horizontalnog krovnog sprega.

Tabela 3: Poprečni presjek glavnog nosča

Izgled poprečno presjeka	Postupak dimenzionisanja	Nosivost
	<p>Izvijanje oko osi z-z</p> $I_z = \frac{h \cdot b^3}{12}; \quad i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$ $\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{i_z}; \quad \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$ $k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2]$ $\beta_c = 0,1 \text{ za LLD}$ $k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$	$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = 0,007 \leq 1$
	<p>Izvijanje oko osi y-y</p> $\lambda_y = l_{ef,y} \sqrt{\frac{12}{h^2 + 3 \cdot a_1^2}}$ $\lambda_1 = \max \left\{ 30; \frac{l_1 \sqrt{12}}{h} \right\}$ $\lambda_{y,ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + \eta \cdot \frac{n}{2} \cdot \lambda_1^2}$ $\sigma_{crit,y} = \frac{\pi_2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_{y,ef}^2};$ $\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{crit,y}}}$ $k_y = 0,5 [1 + \beta_c \cdot \lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$	$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = 0,015 \leq 1$

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

### 2.3. Poprečni krovni spreg

Horizontalni spreg se proračunava kao rešetkasti nosač, gdje se ravnomjerno raspoređeno opterećenje rastavlja na koncentrisane sile koje djeluju u čvorovima sprega. Elemente horizontalnog sprega, pored dijagonalnih čeličnih elemenata, također čine i glavni nosač i rožnjača. S toga je ove elemente potrebno provjeriti na dejstvo normalne pritiskajuće sile, koja je prikazana u prethodnim poglavljima. Dijagonalni elementi poprečnog krovnog sprega odabrani su u izvedbi kružnog poprečnog presjeka od 27 mm, čelika S235. Dimenzionisanje sprega prikazano je u Tabeli 2.

Tabela 4: Dimenzionisanje sprega

Nosivost	Spreg
<b>Granično stanje nosivosti (GSN)</b>	
$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$	0,33
<b>Granično stanje upotrebljivosti (GSU)</b>	
$w_{inst,uk} \leq \frac{L}{500} = 57,00\text{mm}$	32,86
$w_{inst,w} \leq \frac{L}{700} = 40,70\text{mm}$	9,65

### 3. LITERATURA

- [1] Džubur Ž.: Savremene drvene konstrukcije-lijepljeni lamelirani nosači, Mostar, 2016.
- [2] Bjelanović A., Rajčić V.: Drvene konstrukcije prema europskim normama, Hrvatska sveučilišna naklada i građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 2005
- [3] BAS EN 1991-1-1:2015, Eurokod 1: Dejstva na konstrukcije - Dio 1-1: Opšta dejstva - Specifične težine, sopstvena težina i korisna opterećenja u zgradama
- [4] BAS EN 1991-1-3:2015, Eurokod 1: Dejstva na konstrukcije - Dio 1-3: Opšta dejstva - Opterećenje od snijega
- [5] BAS EN 1991-1-4:2015, Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije - Dio 1-4: Opća djelovanja - Djelovanja vjetra
- [6] BAS EN 1995-1-1:2017, Eurokod 5: Projektovanje drvenih konstrukcija – Dio 1-1: Opće odredbe - Opća pravila i pravila za zgrade
- [7] BAS EN 1993-1-1:2017, Eurokod 3: Projektovanje čeličnih konstrukcija - Dio 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade
- [8] Gojković M., Stojić D.: Drvene konstrukcije, Beograd 1996.