

Izvedba drvnih konstrukcija lijepljenim prednapregnutim drvnim materijalom

WOODEN CONSTRUCTION BY THE USE OF GLUED PRESTRESSED WOODEN MATERIAL

Prof. dr **Ninoslav Lovrić**, dipl. ing. građ.
dipl. ing. šum., redovni prof. u m.
Sumarski fakultet Zagreb

UDK 630*832.286:630*833.121

Primljeno: 23. V 1986.

Pregledni rad

Prihvaćeno: 9. VI 1986.

Sažetak

U članku se razmatra problematika primjene lijepljenog prednapregnutog lameliranog drva u izvedbi nosivih drvnih konstrukcijskih sustava. Pritom su s tehničko-tehnološkog aspekta razmatrana neka rješenja koja će doprinijeti uspješnijoj izvedbi konstrukcija lijepljenja prednapregnutim drvnim materijalom, a odnose se na glavne elemente, odnosno nosače drvnih konstrukcija. Na taj način, uz određivanje važnijih utjecajnih parametara utvrđeni su i uvjeti mogućnosti racionalnije izgradnje objekata od drvnog materijala.

Ključne riječi: lijepljeni prednapregnuti drveni materijal — nosači od lijepljenog prednapregnutog drva — puzanje drva.

Summary

The paper deals with the use of glued prestressed laminated wood in loadbearing wooden construction systems. Some solutions to more successful glued prestressed wooden material construction correlated to the main elements or rather beamsupporting wooden construction have been examined from the engineering and technical viewpoint. Conditions for more rational construction from wooden material have been determined along with some important influential factors.

Key words: glued prestressed wooden material — beamsupporting of glued prestressed wood — wood sliding

1. UVOD

Lijepljeno prednapregnuto lamelirano drvo primijenjeno je prvi puta u izgradnji građevnih konstrukcija g. 1976. u Klagenfurtu, izvedbom sajamske hale br. 5. U Jugoslaviji se do danas taj način izvedbe nije primijenio u izgradnji objekata. Grupa autora Građevinskog fakulteta u Sarajevu g. 1984. izradila je elaborat ispitivanja lameliranih prednapregnutih nosača koji može poslužiti projektantima i izvođačima za izgradnju drvenih nosivih konstruktivnih sustava. Premda je ekonomsko značenje te vrste izvedbe očito, jer se postižu uštede, ipak ta metoda izvedbe do sada nije došla u većem obujmu do upotrebe u inženjerskoj praksi. Tome je uzrok i tehničko-tehnološka složenost problematike, odnosno potreba izrade modela pri projektiranju drvenih konstrukcija.

U daljem razmatranju obrazložit će se s tehničko-tehnološkog aspekta načini primjene nekih rješenja koja će doprinijeti uspješnijoj izvedbi kon-

strukcija lijepljenim prednapregnutim drvnim materijalom. Ta obrada rješenja odnosi se na nosače nosivih konstrukcijskih sistema, za koje je potrebno, uz primjenu tehnike analize, ustanoviti važnije utjecajne parametre, a time i uvjete mogućnosti racionalnije izgradnje navedenih konstrukcijskih sistema.

2. METODA IZRADE I KONCEPCIJA TEMATIKE

Za obradu ove tematike primijenjena je empirijska metoda, koja se bazira na tehničko-tehnološkim kriterijima uz upotrebu tehnike analize. Tehnikom analize omogućeno je utvrđivanje glavnih parametara za suvremenu izvedbu nosivih konstrukcijskih sustava s prednapregnutim lameliranim drvom. Na taj način definiran je postupak primjene, kojim se može odrediti stupanj i veličina utjecaja pojedinih navedenih parametara, a ujedno je time i određen koncept izvedbe tematike.

Za razradu ove tematike poslužit će, uz upotrebu kriterija tehnike analize, slijedeći sastavci:

* Ovaj rad referirao je autor na 2. Jugoslavenkom simpoziju »Suvremene drvene konstrukcije«, Bled 23—25. IV 1986.

— tehnička dokumentacija [8] izvedbe nosača krovne konstrukcije klagenfurtske sajamske hale br. 5;

— rad grupe autora Građevinskog fakulteta u Sarajevu pod naslovom »Ispitivanje prednapregnutog nosača od lijepljenog lameliranog drva dimenzija 240/1000/16000 mm« [6].

3. IZVEDBE NOSAČA NOSIVOG KONSTRUKCIJSKOG SISTEMA S OBZIROM NA UPOTRIJEBLJENI DRVNI MATERIJAL

Glavni element u nosivom konstrukcijskom sistemu su nosači, koji mogu biti oblikovani na različite načine. Ravni nosači s konstantnom visinom pravokutnog presjeka duž svoje osovine su najčešći i najjednostavniji oblici s tehničko-tehnološkog stajališta. U pogledu primjene drvnog materijala, drveni nosači mogu biti izvedeni samo od drva, armiranog drva i lijepljenog prednapregnutog drva. Kod navedenih načina izvedbe mogu se za spajanje drva upotrijebiti različita vezna sredstva, kao npr. svornjaci, skobe, moždanici, lje-pila itd.

3.1. *Izvedba nosača od armiranog drva* rijetko se primjenjuje, a izrađen je kombinacijom drva i čelika. Kod te kombinacije oba elementa u statičkom pogledu djeluju kao jedna cjelina. Pri tom, u pravilu, drvo preuzima tlačna naprezanja a čelik vlačna. Za razliku od lijepljenog prednapregnutog drva, uloga čeličnih žica u prednapregnutom drvu po svojoj namjeni drugačija je od čelične armature armiranog drva. Te čelične žice služe kod prednapregnutog drva za stvaranje prethodnog tlaka u presjeku nosača, odnosno postizanje potrebnog naprezanja. Prema tome, te se čelične žice ne mogu smatrati armaturom nosača.

3.2. *Izvedbe nosača samo od drva* koriste drvo u oblom stanju i piljenjem prerađeno drvo, te lijepljeno drvo, odnosno lamelirano. Mogućnosti primjene lameliranog drva su veće nego li oblog ili piljenog zbog znatnih prednosti u konstrukcijama. Prije nego što se počelo primjenjivati lijepljenje, drvene konstrukcije bile su ovisne o dimenzijama drvnog materijala, uvjetovanog njegovim prirodnim rastom. Ako su bile potrebne veće dimenzije, drvo se međusobno povezivalo raznim spojnim sredstvima, ili su se izvodile rešetkaste konstrukcije. Primjena lameliranih nosača omogućila je da se dimenzije presjeka pojedinih konstrukcijskih elemenata znatno povećaju, ali problematika povezivanja sudarnih i spojnih mjesta bila je i ostala slaba strana izvedbe drvenih konstrukcija.

3.3. *Nosači od lijepljenog lameliranog i prednapregnutog lijepljenog lameliranog drva* također se mogu izvesti različitog oblika. Najracionalniji oblici s tehničko-tehnološkog aspekta su ravni nosači pravokutnog presjeka, konstantne visine. Njihova industrijska proizvodnja veoma je jednostavna i brza. Dimenzije ovog poprečnog presjeka i du-

ljina nosača teorijski, a donekle i praktički, nisu ničim ograničene. S obzirom na mogućnosti naših tvornica lijepljenog konstrukcijskog materijala, visina poprečnog presjeka nosača iznosi većinom do 1,50 m (prema potrebi izrađivane su i više visine), a duljine do 45,0 m.

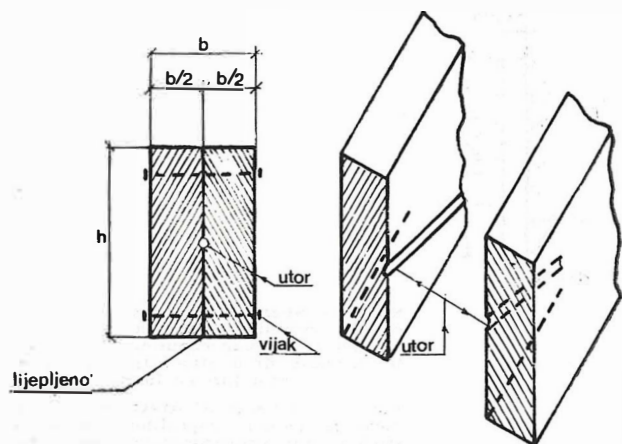
Pravokutan poprečni presjek nosača sa statičkog stajališta, odnosno s obzirom na izvedbu nosača od lameliranog prednapregnutog drva, nije povoljan, već složeni poprečni presjek oblika ($\rightarrow T \leftarrow$), kod kojeg je iskorišćenje gornjih i donjih granica naprezanja optimalno, zbog pomaka polazaja težišta, nastalog uslijed djelovanja sile prednaprezanja.

Razumljivo je da se u izvedbi nosivih konstrukcijskih sistema mogu primijeniti različiti složeni poprečni presjeci nosača. Do sada najčešći je ravan pravokutni presjek nosača, konstantne visine. U pogledu primjene statičkog sistema pri izvedbi nosača od lijepljenog prednapregnutog drva u izgradnji drvnih konstrukcija, uglavnom se može konstatirati da ekonomske prednosti imaju prosti ravni nosači na dva ležaja velikog raspona i kontinuirani nosači na više ležaja, gdje se povezanost može postići bez upotrebe posebnih spojnica, zatim kod rešetkastih sistema, kod kojih se ne mogu uspješno riješiti čvorne točke, te nosača drvenih konstrukcija visećih krovova [8].

4. TEHNIČKO-TEHNOLOŠKI POSTUPAK IZVEDBE LAMELIRANIH PREDNAPREGNUTIH NOSAČA I INTERPRETACIJA UTJECAJNIH PARAMETARA

4.1. *Postupak izvedbe lameliranih prednapregnutih nosača.* Iz građenja prednapregnutim betonom postignuta su mnoga teorijska i iskustvena saznanja, koja se na osnovi analogije mogu načelno, odnosno uz neke korekcije, primijeniti u izgradnji konstrukcija s prednapregnutim lameliranim drvom. Sličnim postupcima primjenjivani su principi prednaprezanja u izvedbi nosača od prednapregnutog lameliranog drva. Taj princip sastoji se u izazivanju prethodnog tlaka u onom dijelu nosača u kojem nastaje vlak nakon opterećenja. Prema navedenom, ostvarenje sile prednaprezanja postignuto je spletom žica (kablovima) od čelika velike otpornosti.

Drveni nosači se izrađuju od dva jednaka dijela. Po dužini svakog dijela na odgovarajućim mjestima izglodani su utori u kojima su položene omotane cijevi kabela. Zatim se oba dijela nosača sljepljuju i pričvršćuju vijcima koji sprečavaju razdvajanje nosača (sl. 1). Razdvajanje većinom nastaje na mjestima loma kablova, odnosno na mjestima promjena skretnih sila. Kroz podužnu rupu, kojih može biti i više, provuče se kabel i pomoću preše zategne i usidri na krajevima nosača. Taj se kabel nastoji povratiti na prvotnu duljinu, pa preko sidra izaziva silu tlaka u nosaču.



Sl. 1 — Utori u nosaču za smještaj kabela [prema lit. 7, 8]
 Fig. 1 — Grooves in beam supporting for cable setting [according to Lit. 7, 8]

Navedenim tehničko-tehnološkim postupkom izvedbe moguće je iskoristiti cijeli presjek prednapregnutog drvnog nosača, ostvariti uštede na materijalu i povećati njegovu nosivost uz smanjeni presjek. Negativna strana upotrebe lijepljenog prednapregnutog drvnog materijala jest da su presjeci i proizvodnja složeniji, a izrada skuplja i teža.

Između drva i betona postoji razlika u pogledu prednaprezanja u izvedbi nosača. U navedenoj izvedbi prednaprezanja beton može primiti visoka tlačna naprežanja i vrlo mala vlačna, a, nasuprot tome, kod nosača od lameliranog drva, koji je opterećen na savijanje, praktički su jednaka naprežanja tlaka i vlaka. Zbog toga se uzima u obzir navedena konstatacija, pa se na taj način, primjenom superponiranja, postiže kod nosača od prednapregnutog lameliranog drva njegova veća nosivost.

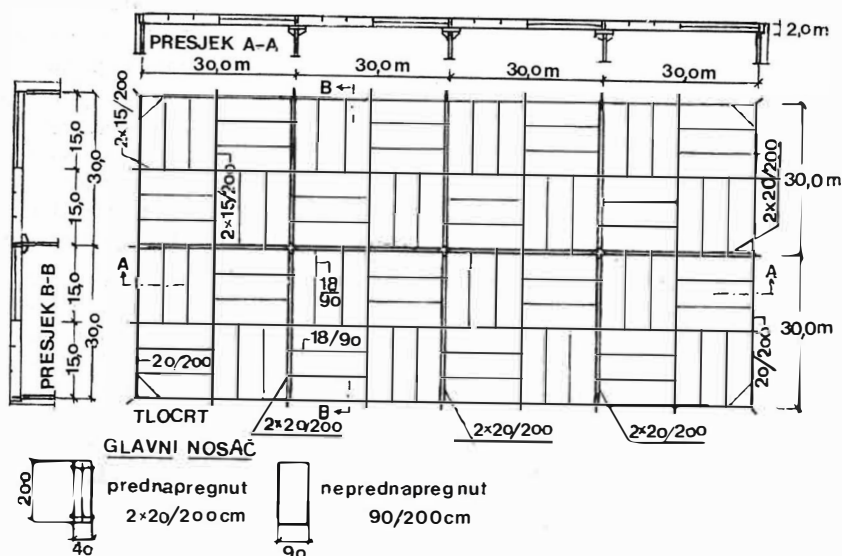
Na osnovi prethodnih spoznaja izvedeni su ravni nosači pravokutnog presjeka od prednapregnutog lijepljenog lameliranog drva za krovnu konstrukciju sajamske kale br. 5 u Klagenfurtu.

4.1.1. Tehnički prikaz izvedbe krovišta klagenfurtske sajamske hale. Halu je trebalo izgraditi s prenosivom konstrukcijom, zatim predvidjeti grijanje i što veći izložbeni prostor sa što manjim brojem unutarnjih oslonaca. Predviđena tlocrtna površina hale izosila je 7000 m², s mogućnošću izvedbe od betona, čelika ili drva. Prednost bi se dala drvu ukoliko ne bi postojale razlike u troškovima izgradnje u odnosu na druge materijale. Rok trajanja izgradnje bio je šest mjeseci.

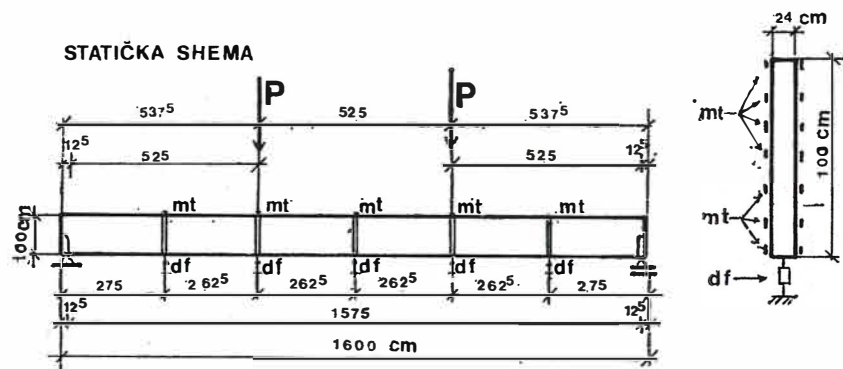
Nakon detaljnih ispitivanja, prihvaćena je izgradnja nosive krovne konstrukcije hale upotrebom lijepljenog prednapregnutog drvnog materijala. Nosiva krovna konstrukcija sastoji se od jedne podužne kontinuirane grede na pet oslonaca (ležišta), odnosno s četiri jednaka raspona od 30 m, te tri unutarnje poprečne kontinuirane grede i dvije vanjske poprečne grede na tri oslonca s dva jednaka raspona, također od 30 m (sl. 2). Sve te grede izvedene su od lijepljenog prednapregnutog drva s poprečnim presjekom 40/200 cm. Bez primjene prednaprežanja bio bi potreban poprečni presjek 90/200 cm. Sila prednaprežanja podužne nosive grede ostvarena je s dva kabela $2 \times 1200 = 2400$ kN, a poprečnih nosivih greda s tri kabela $3 \times 1200 = 3600$ kN. Nepovoljna opterećenja nosivih greda bili su agregati za grijanje, klimatski uređaji i razni vodovi.

Podužna kontinuirana greda i poprečne kontinuirane grede izvedene su od pojedinih greda duljine 30 m, koje su industrijski izvedene i dopremjene na gradilište. Nakon smještaja tih pojedinačnih greda na stupove od armiranog betona (oslonce), te postupkom provedbe prednaprežanja kao kod prednapregnutog betona, ostvarena je kontinuiranost podužne nosive grede, odnosno ostalih poprečnih nosivih greda.

4.1.2. Elaborat ispitivanja lameliranih prednapregnutih nosača od drva. Grupa autora Građevinskog fakulteta u Sarajevu izradila je 1984. g. elaborat (tab. I) ispitivanja lameliranih predna-



Sl. 2 — Tlocrt krovišta s presjecima [prema lit. 8]
 Fig. 2 — Ground plan of roof truss with sections [according to Lit. 8]



df = deflektometri
 mt = senzori
 sila prednapreznja s kabla $2 \times 600 = 1200 \text{ kN}$

Sl. 3 — Shema rasporeda sila, opterećenja i mjernih mjesta na neprednapregnutim i prednapregnutim nosačima od lameliranog drva dimenzija 240/1000/16000 mm [prema lit. 6]

Fig. 3 — Scheme of stress, loading and measure points disposition on unstressed and prestressed laminated wood beam supporting of size 240/1000/16000 mm [according Lit. 6]

pregnutih nosača od drva uz primjenu metode modela i teorijskog istraživanja. Tom prilikom izrađeni su od lameliranog prednapregnutog drva dva prototipa nosača i tri nosača od neprednapregnutog lameliranog drva. Nosači su pravokutnog presjeka, dimenzija 240/1000/16000 mm (sl. 3). Zbog usporedbe rezultata istraživanja na prednapregnutim nosačima izrađeni su neprednapregnuti, kako bi se s tehničko-ekonomskog stajališta odredili uvjeti praktične primjene prednapregnutih nosača u odnosu na neprednapregnute. Istraživanje na-

vedene grupe autora predočeno je u tablici I, koje je, uz primjenu tehnike analize, podijeljeno u slijedeće etape: sastav programa rada, prethodni radovi, glavna teorijska istraživanja i rezultati istraživanja primjenom metode modela. Opravdano je primijenjeno ne samo teorijsko istraživanje nego i metoda modela kojom su utvrđene veličine, odnosno parametri koji se nisu mogli odrediti računski. U radu je dokazana ispravnost izvjesnih teorijskih postavki na području primjene prednapregnutih nosača od lijepljenog lameliranog drva.

SHEMATSKI PRIKAZ ETAPNOG PROCESA ISTRAŽIVANJA
 SCHEME OF RESEARCH PROCESS STAGES

Tablica I
 Table I

Sastav programa rada

Cilj: tehničko-ekonomske mogućnosti primjene prednapregnutih nosača od lameliranog drva

Prethodni radovi

Priprema drvnog materijala

Izrada triju nosača od lameliranog drva i izrada dva-ju nosača od lameliranog prednapregnutog drva (prototipovi); lamelirani nosači su izvedeni zbog usporedbe s lameliranim prednapregnutim nosačima

Glavna teorijska istraživanja

Statički sistem: prosti ravni nosači na dva ležaja pravokutnog presjeka

Za lamelirane nosače određena je nosivost i osnovni statički podaci

Statički proračun lameliranih prednapregnutih nosača obavljen je prema načelima za prednapregnute armirano betonske nosače s podacima: mehaničke karakteristike drva, statički utjecaji, sile prednapreznja, vanjske sile, proračun gubitaka, kontrola napreznja i raspored kablova.

Rezultati istraživanja dobiveni primjenom metode modela

Deformacije, stanje napreznja, nosivost, opterećenje do sloma s koeficijentom sigurnosti nosača; praćenje vremenskih deformacija nosača nakon utezanja kablova pod djelovanjem sila utezanja i vlastite težine; usporedbe rezultata dobivenih eksperimentom i proračunom; utvrđena povećana nosivost prednapregnutih nosača za 60% prema lameliranim; izvršena analiza troškova izrade i ugradnje prednapregnutih i običnih nosača. Kod raspona većih od 20 m prednapregnuti nosači su jeftiniji od običnih.

4.2. *Interpretacija utjecajnih parametara.* Za ostvarenje sile prednaprezanja u elementima od prednapregnutog drvnog materijala služi čelik velike čvrstoće. Samo takav čelik omogućava trajnu prisutnost navedene sile u potrebnim granicama presjeka nosača. Sila postignuta u momentu izvedbe prednaprezanja smanjuje se tokom vremena, a smanjenje ovisi o utezanju i puzanju drvnog materijala, elastičnog trenutnog skraćanja konstrukcije, načinu sidrenja kablova, otpuštanju žice i trenju u otmotnim cijevima. Taj gubitak sile prednaprezanja uzima se u obzir pri proračunu nosivih elemenata, odnosno nosača od prednapregnutog drva. Većinom ga je teško precizno teorijsko-računski odrediti, jer postoje mnogo utjecajnih veličina, odnosno parametara koje treba uzeti u obzir (tab. I). U svakom slučaju upotrebom čelika visoke kvalitete mogu se ostvariti velike sile prednaprezanja, pa gubitak navedene sile neće ugroziti sigurnost drvene konstrukcije.

Utezanje drva u smjeru vlakancaca je neznatno i iznosi 0,1 do 0,5‰, a okomito na vlakanca je znatno veće. Prema tome, prednaprezanje je moguće samo u smjeru vlakancaca. Pored utezanja drva, treba uzeti u obzir i njegovo puzanje (deformacija po toku vremena), jer je sila prednaprezanja trajna a ne povremena. Čelik nema gotovo nikakve znatne deformacije zbog puzanja pri dopuštenom trajnom opterećenju.

Prema francuskim propisima (Régles C,B 71.) od 1972. g. [9], izračunavanje dugotrajnih deformacija, odnosno puzanje drva kod drvenih konstrukcija, određuje se jednadžbom:

$$E_{\infty} = \frac{E_i}{\Theta}$$

gdje je:

E_{∞} = računski E — modul za određivanje trajne deformacije;

E_i = E — modul za određivanje kratkotrajne deformacije (povremenog opterećenja);

Θ = faktor koji se izračunava prema formuli:

$$\Theta = 1 + \left(\frac{u + \Delta u}{12} \right) \left(\frac{\Delta u + 15}{20} \right) \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_{ds}} - 0,2 \right)$$

u = vlažnost drva pri ugradbi objekta u ‰;

Δu = razlika između najveće i najmanje vlažnosti kod upotrebe u ‰;

σ_{ds} = dopušteno naprezanje građevnog elementa;

σ_s = stvarno naprezanje građevnog elementa.

Na osnovi izloženog, deformacije nosivog elementa konstrukcije zbog puzanja drva ovise o slijedećem: naprezanjima, vlažnosti u času ugradbe i najvećim promjenama vlažnosti u upotrebi, te ostalim s tim u vezi. Kod tog izračunavanja deformacija zbog trajnog opterećenja nije uzeta u obzir temperatura, iako je poznat njen utjecaj na puzanje drva. Dakle, pored mehaničkih, postoje i klimatski utjecaji koji otežavaju ili onemogućavaju praktičnu primjenu laboratorijskih rezultata u praksi.

Slijedeći primjer određivanja parametara Θ pokazuje način njegove primjene za puni nosač od masivnog drva, koji je napregnut na savijanje i ugrađen u krovnu konstrukciju u predjelu s kratkotrajnim opterećenjem sa snijegom. Za ostale veličine u prethodno navedenoj formuli uzete su slijedeće vrijednosti:

$$u = 25‰; \Delta u = 5‰; \frac{\sigma_s}{\sigma_{ds}} = 0,6$$

Prema tome je

$$\Theta = 1 + \left(\frac{25 + 5}{12} \right) \left(\frac{5 + 15}{20} \right) (0,6 - 0,2) = 2,0$$

odnosno računski E — modul bit će za faktor 2 smanjen, tj. dugotrajna je deformacija dvostrukog iznosa u odnosu na prvotnu.

Uglavnom vrijednost faktora Θ kreće se od 1—3, a treba uzeti veći ukoliko su više temperature i prosječna vlažnost, odnosno njezine razlike pri pogonu objekta, zatim veća osjetljivost objekta na deformacije, duže vrijeme stalnog opterećenja i manje dimenzije nosivih elemenata. Pri izvedbi nosača navedene sajamske hale uzeti su u obzir svi navedeni činioci, ali bez primjene formula prema francuskim propisima. Proračuni su izvršeni na temelju pomnih ispitivanja postojećih uvjeta izgradnje objekta i izračunavanja deformacija starih objekata zbog puzanja drva, ali zbog sigurnosti kod izvedbe ostavljena je mogućnost naknadnog prednaprezanja nakon dovršenja izgradnje objekta.

Grupa autora Građevinskog fakulteta u Sarajevu također nije uzela u obzir primjenu prethodno navedene formule u izradi prednapregnutih nosača. No navedeni utjecajni parametri kao i puzanje razmatrani su i obrazloženi u okviru svog programskog rada na takav način da su time date osnove koje mogu poslužiti za određivanje potrebnih utjecajnih parametara kod projektiranja i izvođenja objekata drvenih konstruktivnih sistema.

Iako izloženi način obračuna puzanja drva prema francuskim propisima nije upotrebljen u oba navedena slučaja, ipak primijenjeni način obra-

čuna, uz izvjesne korekcije, pokazuje jednu mogućnost praktičnog određivanja deformacija nosivih elemenata konstrukcija zbog trajnog opterećenja. U svakom slučaju uočljiva je složenost proračunavanja i izvedbe nosača od lijepljenog prednapregnutog drva, pa će biti potrebno dalje usavršavanje na tom području za mogućnost veće primjene u izgradnji objekata.

5. ZAKLJUČAK

Za obradu ove tematike primijenjena je empirijska metoda koja bazira na tehničko-tehnološkim kriterijima uz upotrebu tehnike analize. Na taj način razmatrana je izgradnja krovne konstrukcije klagenfurtske sajamske hale u Austriji i rad grupa autora sarajevskog Građevinskog instituta, pa su dobiveni osnovni podaci za suvremenu izvedbu nosivih konstrukcijskih sustava prednapregnutim drvom. Ujedno, s tehničko-ekonomskog stajališta, obrazložena su rješenja koja će doprinijeti većoj i uspješnijoj primjeni prednapregnutog lameliranog drva u izgradnji objekata drvenih konstrukcija, što odgovara zahtjevima i potrebama operative.

LITERATURA

- [1] Bađun, S., Petrić, B., Sertić, V.: Komparativna ocjena svojstava bagremovine i osnove njenih utilitacijskih karakteristika. Bilten ZIDI, Sumarski fakultet, Zagreb, 12 (1984), 5, s. 60--67.
- [2] Flögl, S.: Gradnja mostova. Nakladni zavod Hrvatske, Zagreb 1950.
- [3] Genähr, G.: Zur Vorspannung von Brettschichtträgern, Bauen mit Holz, Heft 11, Bruderverlag, Karlsruhe, 1980.
- [4] Horvat, I.: Drvo. Tehnička enciklopedija br. 1, Zagreb 1969.
- [5] Jokanović, O., Verbić, P.: Recenzija rada »Ispitivanje prednapregnutog nosača od lijepljenog lameliranog drva dimenzija 240/1000/16000 mm«, Građevinski fakultet u Sarajevu, Sarajevo 1984.
- [6] Lesić, L., Lončarić, D., Kisin, S., Pejović, R.: Istraživanja inženjerskih konstrukcija od lameliranog drveta prednapregnutog u svrhu racionalizacije pri izuzetno velikim opterećenjima i rasponima. Građevinski fakultet u Sarajevu 1984.
- [7] Lovrić, N.: Primjena lijepljenog prednapregnutog drvnog materijala u izgradnji građevnih objekata, Drvna industrija br. 11--12, 1977, Zagreb.
- [8] Rabitschnig, W.: Vorgespannte Leimkonstruktionen, Klagenfurt 1976.
- [9] ***: Régles de calculs et de conceptions des charpentes en bois, Régles CB 71, Edition Eyralles, Paris 1972.
- [10] Riedlbauer, A.: Vorgespannte Holzkonstruktionen - Spannholz, Bauen mit Holz, Heft 5, Bruderverlag, Karlsruhe 1982.
- [11] Sablić, S.: Drvene konstrukcije u svijetu i u nas, Građevinar br. 2, Zagreb 1976..
- [12] Stojadinović, Đ.: Tehnička mehanika, Sumarski fakultet, Sarajevo 1976.
- [13] Tusun, D.: Obloge od profiliranog drva i prednapregnuti drveni nosači, Drvna industrija 9--10, Zagreb 1976.

Recenzirao: Mr S. Petrović