

**DVANAESTO MEĐUNARODNO NAUČNO – STRUČNO
SAVETOVANJE
OCENA STANJA, ODRŽAVANJE I SANACIJA GRAĐEVINSKIH
OBJEKATA**

Originalni naučni rad

Krstan Laketić¹, Zoran Mišković², Ivan Glišović³, Marija Todorović⁴

**SANACIJA DRVENIH GREDA POMOĆU ČELIČNIH PLOČA UGRAĐENIH
LEPLJENJEM**

Rezime: *Savremeni problem drvenih konstrukcija predstavlja održavanje tradicionalnih i vremenih objekata. Kao moguće rešenje pri sanaciji delimično oštećenih drvenih greda, u ovom radu se predlaže primena čeličnih ploča postavljenih u proreze u gredi, a zatim se prorez zapunjava epoksidnim lepkom. Kako bi se ocenila efikasnost predložene metode sanacije, sprovedeno je eksperimentalno ispitivanje. Dobijeni rezultati su analizirani kroz dijagrame sila-pomeranje i oblike loma na osnovu čega su izvedeni zaključci o mogućnostima primene ovog načina sanacije. U radu je dat i uprošćeni analitički model proračuna ostvarenog nastavka.*

Ključne reči na srpskom jeziku: *drvo, epoksid, sanacija, čelik*

REPAIR OF TIMBER BEAMS USING BONDED IN STEEL PLATES

Abstract: *Modern day problem for timber structures is prolonging the exploitation life of traditional and aged buildings. A possible solution to repair partially damaged timber beams, the application of bonded in steel plates is presented. To assess the efficiency of the proposed method, an experimental investigation was performed. Obtained results were analysed through force-displacement curves and failure modes, based on which conclusions about the possible application of the method were drawn. The paper also presents a simplified design model for calculation of the achieved connection.*

Key words: *wood, epoxy, repair, steel*

¹dipl.građ.inž, student doktorskih studija, Piramida d.o.o, Sremska Mitrovica,
krstan.laketic@piramidasm.rs

²dr, vanredni profesor, Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, mzoran@imk.grf.bg.ac.rs

³dr, vanredni profesor, Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, ivang@grf.bg.ac.rs

⁴dr, docent, Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, todorovicm@grf.bg.ac.rs

1. UVOD

Drvo predstavlja tradicionalni građevinski materijal. Veliki broj konstrukcija, mahom krovnih konstrukcija, od drveta je već dugi niz godina u eksploataciji. Tokom eksploatacije dolazi do degradacije i korozije pojedinih delova konstrukcije. Glavni uzrok propadanja je izloženost atmosferalijama zbog problema sa dotrajanim krovnim pokrivačem. Nakon propadanja krovnog pokrivača, u prostor krovne, drvene konstrukcije, ulazi vlaga koja omogućava postepeno i sporo propadanje. Kod stambenih objekata, drvene podne grede su uzidane u noseće zidove u toku gradnje objekta. One mogu da propadnu usled curenja vode iz instalacija vodovoda i kanalizacije.

Drveni nosači mogu biti na razne načine oštećeni tokom eksploatacije: dugotrajno oscilovanja ciklusa kvašenja i sušenja kod objekata gde nije dobro rešena izolovanost objekta od atmosferalija, udarom alatima ili mašinama za izvođenje radova koji su usledili nakon montaže drvene konstrukcije, izloženost insektima nakon lagerovanja materijala koji su u sebi sadržali larve ili jaja organizama agresivnih prema drvenoj konstrukciji. Čak iako konstrukcija nije ni na koji način oštećena, može doći do potrebe za zamenom konstruktivnih elemenata ili potrebe za ojačavanjem postojeće konstrukcije zbog promene namene objekta, odnosno zbog promene veličine eksploatacionog opterećenja ili zbog promene statičkog sistema usled preuređivanja objekta.

Problem lokalnog oštećenja ili ojačanja drvenog nosača se najlakše rešava zamenom celog elementa novim elementom, istog ili statički ekvivalentnog poprečnog preseka. Ovakav pristup nije primenjiv ukoliko je element integralno vezan u statički sistem ili eksploatacionu celinu. Tada je potrebno izvršiti popravku ili zamenu oštećenog dela bez destruktivnog procesa po okolne nosive elemente ili elemente obloge.

Problem popravke ili prepravke drvene konstrukcije može pored funkcionalnog rešenja u sebi sadržati i problem očuvanja forme i estetskih kvaliteta postojeće konstrukcije, ukoliko je objekat u pitanju od istorijskog značaja. Noseće grede mogu biti deo vizuelne forme koja definiše objekat kao spomenik, sa velikim brojem finih detalja na sebi. Zamena takvih elementa ugrožava očuvanje istorijske vrednosti objekta.

Poveljom iz Venecije iz 1964. je određen način pristupa sanacijama i rekonstrukcijama objekata. Poštovanje uputstava izloženih u Povelji je inspirisalo mnoge autore na pronalaženje načina sanacije drvenih konstrukcija, a bez zamene kompletne konstrukcije novim elementima. Pojedini autori [7], [4], [6] su obrađivali problem ojačanja drvene konstrukcije pomoću traka i šipki na bazi polimera ojačanih staklenim vlaknima (*Glass Fibre Reinforced Polymer - GFRP*) i čeličnih elemenata povezanih sa postojećim drvenim elementima putem epoksidnog lepka. U radu [8] je izložen pristup sanaciji oštećenog dela greda zamenom novim delom, a jedan od modela proračuna ovakve sanacije je izložen u [1].

2. METOD SANACIJE

Ideja sanacije lokalizovanog oštećenja drvene grede se traži u isecanju oštećenog dela grede i zamene novim zdravim delom. Prevezivanje grede metalnim podvezicama i formiranje krute veze pomoću zavrtnjeva ili trnova je pristup koji zahteva veliku visinu poprečnog preseka grede. Prema pravilima za drvene konstrukcije, rastojanja i nosivost zavrtnjeva u drvetu su manja od nosivosti istih zavrtnjeva u čeliku. Mala statička visina, te povećan raster između rupa nameću potrebu za većim potrebnim gabaritom veznih

elemenata. Kako su klasične drvene konstrukcije uglavnom pravljene od masivnog drveta, preseći su ograničeni prirodnim rastom drveta te nije moguće smestiti neophodnu vezu u raspoloživi prostor.

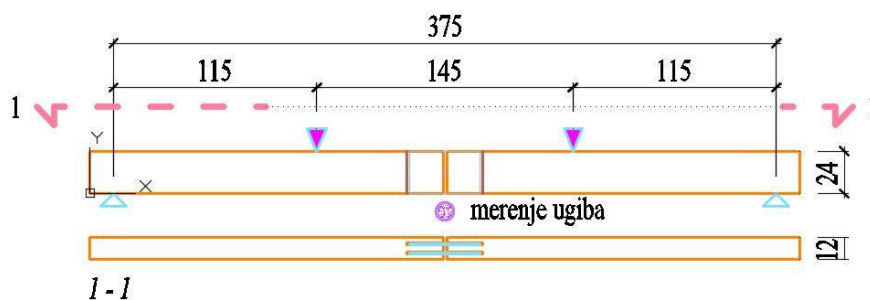
Rezultati dosadašnjih ispitivanja koji su izvedeni na drvenim gredama sa čeličnim pločama umetnutim u proreze na gredi i zatim zalepljeni pomoću epoksidnog lepka, ukazuju na jedan od mogućih pristupa sanacije samo dela grednog elementa. U literaturi nije dat način računске provere ovakvog spoja, što je od primarnog značaja za proveru i planiranje to jest projektovanje postupka sanacije.

Ispitivanje prikazano u ovom radu je izvršeno primenom čeličnih ploča postavljenih u proreze u gredi povezanih sa epoksidnim lepkom. Odlučeno je da se izvrši provera nosivosti ispitivanjem te da se rezultati merenja uporede sa predloženom formom proračuna kako bi se definisao metod sanacije primenljiv u praksi.

3. EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE

U Laboratoriji za materijale i konstrukcije Građevinskog fakulteta u Beogradu je izvršeno ispitivanje šest uzoraka greda od lepljenog lameliranog drveta. Ispitivanje je u svemu sprovedeno prema EN 408 [2] za određivanje graničnog opterećenja i globalnog modula elastičnosti pri čistom savijanju.

Sve grede se ispituju na čisto savijanje, prema dispoziciji ispitivanja definisanoj u EN 408 prikazanoj na slici 1. Grede se ispituju do loma. Testirani nosači su izrađeni od drveta smreke klase čvrstoće C24. Ukupna dužina svih nosača je bila 4 m, a poprečni presek 12 x 24 cm. Svi nosači su ispitani kao proste grede raspona 375 cm. Nosači su opterećeni približno u trećinama raspona na rastojanju $a=115$ cm od svakog oslonca. Opterećenje je naneto preko hidraulične prese, a sila je sa jedne razložena u dve koncentrisane sile pomoću čeličnog profila. Na mestima unosa sile, kao i na mestima oslanjanja se postavljaju čelični podmetači kako bi se izbeglo lokalno utiskivanje usled pritiska upravnog na vlakna. Grede od lepljenog lameliranog drveta su korišćene jer se može kontrolisati veličina poprečnog preseka uz kontrolu vlažnosti materijala, što je generalno teško organizovati sa elementima od masivnog drveta.



Slika 1. Dispozicija ispitivanja - serija "B"

Ispitivanje je urađeno na ukupno šest greda. Tri grede su ispitivane bez formiranog nastavka. One su korišćene za upoređivanje dobijenih rezultata i kontrolu mehaničkih parametara za proračun. Ovo su uzorci vođeni kao serija "A".

Uzorcima serije "B" su grede sa formiranim nastavkom. Svaka greda iz serije "B" je prvo presečena na sredini. Zatim je urađeno formiranje proreza za umetanje čeličnih ploča za vezu. Prerez je napravljen motornom testerom, što je oprema koja se očekuje u slučaju izvođenja radova na gradilištu (slika 2). Prerez je dimenzija 13 x 205 x 240 mm. Na svakom mestu nastavka su napravljena dva proreza za umetanje dve ploče. Smatra se da je veza sa dve ploče bolja od veze sa jednom pločom u sredini grede iz razloga boljeg angažovanja kompletnog poprečnog preseka u prenosu sila.



Slika 1. Priprema eksperimenta

Čelične ploče koje su postavljene u proreze su dimenzija 6 x 400 x 240 mm. Dimenzija ploče je tako usvojena da može lako da se ugradi u prorez i da ima veću nosivost od drvenog elementa koji se nastavlja kako bi se lom dogodio u drvenoj gredi. Čelične ploče su peskarene kako bi se uklonila nečistoća i rđa, te kako bi se omogućilo bolje prijanjanje epoksidnog lepka za površinu koja usled peskarenja više nije glatka.

Spoj je izveden tako da čelična ploča zadire u svaki od delova grede koji se spajaju, a pri tom se ostavlja zazor od 20 mm između delova koji se nastavljaju. Ovakva dispozicija je usvojena kako bi se onemogućio kontakt između dva drvena elementa. Bez kontakta između drvenih elemenata nije moguće formiranje sprega sila između kontaktnog pritiska u drvetu i zatezanja u donjoj zoni čeličnih ploča. Spoj mora da prenosi sile isključivo na relaciji epoksid-drvo i epoksid-čelik. Prerez na gredama je napravljen veći od dimenzije ploče koja se umeće. Na ovaj način je lako ugraditi ploče u projektovani položaj i lako je usuti lepak, pri čemu je obuhvaćena i eventualna izvođačka greška usled nemogućnosti finog ugrađivanja čeličnih ploča u drvene elemente na gradilištu. Formirani prorezi su očišćeni vazduhom pod pritiskom, izudavan je ostatak piljevine i drvene prašine nastale tokom rezanja. U svaki prorez su postavljene čelične ploče koje su fiksirane podmetačima u sredini proreza (slika 3).

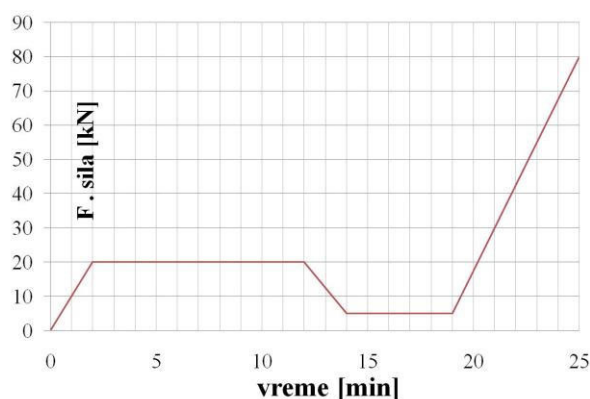


Slika 3. Ugradnja čeličnih ploča u proreze

Pre početka lepljenja u zazor između greda je postavljen komad stirodura debljine 20 mm. Stirodur se lako može izbiti iz spoja nakon očvršćavanja lepka prostim kidanjem, te je stoga ugrađen kako bi se sprečilo isticanje lepka iz spoja. Kompletan spoj je spakovan u PVC foliju, koja se učvršćuje za drvenu gredu lepljivom trakom i dodatno pritiska obložnim pločama sa strane. Na ovaj način je formiran kalup za nalivanje epoksidnog lepka, a obezbeđena je mogućnost uklanjanja kalupa jer se epoksid neće vezati za PVC.

Lepak izabran za formiranje spoja je SikaDur 52N koji je žitak i lako penetrira u šupljine i otvore prostim nalivanjem u spoj. Ovaj lepak je zastupljen na domaćem tržištu te stoga lako dostupan. U tehničkom listu ovog lepka je definisano da lepak služi za lepljenje betonskih, čeličnih i drvenih elemenata. Kako bi se predupredilo rasipanje lepka i pravilno ugrađivanje u spoj, formiran je kalup za lepak i ploče su fiksirane podmetačima. Lepak je dvokomponentan i meša se prema uputstvu proizvođača u odgovarajućem masenom odnosu učvršćivača prema lepilu. Ambalaža lepka je tako napravljena da se u sudu u kom je lepak može izvršiti mešanje sa očvršćivačem. Da bi se izbeglo prevremeno očvršćavanje, mešanje je rađeno u manjim sudovima pomoću mašinskog miksera. Svaka spremljena doza je postupno nalivena u kalup. Pre nalivanja sledeće doze lepka, čekalo se da se prethodna doza "slegne" prodiranjem lepka u drvo u okolini spoja. Karakteristika epoksidnih lepaka je formiranje prostorne strukture unutar lepka, te prodiranje lepka u drvo u okolini spoja ima pozitivan efekat "mikroarmiranja". U tom smislu, kao optimizacija izvedenog spoja bi trebalo predvideti rupe na čeličnim pločama koje bi omogućile povezivanje lepka sa svake strane čelične ploče.

Nakon kompletnog nalivanja kalupa, grede su ostavljene da stoje u prostoru laboratorije. Lepljenje greda je vršeno na podlozi tako da spoj nije opterećen silama. Grede su ostavljene da stoje 10 dana kako bi lepak potpuno očvrstao i kako bi se grede prilagodile uslovima sredine u prostoru za ispitivanje. Prilikom izvođenja sanacije na terenu, elemente koji se spajaju treba obezbediti privremenim osloncima do očvršćavanja spoja. Novi deo koji se ugrađuje u staru konstrukciju treba da bude svojim karakteristikama što je moguće više sličan postojećim elementima u smislu upotrebljene vrste drveta, vlažnosti drveta, te dimenzija poprečnog preseka.



Slika 4. Način unosa opterećenja na grede serije "B"

Tokom ispitivanja, računarskom opremom se prati unos sile uz merenje ugiba na sredini grede za grede serije "A", odnosno na mestu spoja na obe polovine kod greda serije "B". Unos sile je postepen i odvija se brzinom 10 kN/min što je u skladu sa EN 408. Grede

serije "A" se opterećuju neprekidno do loma, dok se grede serije "B" prvo opterećuju do sile na presi $F=20$ kN. Ova sila se održava na gredi 10min, zatim se vrši rasteričavanje do 5kN i potom se sila unosi do loma. Način opterećivanja greda serije "B" je prikazan na slici 4. Postavka eksperimenta je prikazana na slici 5.



Slika 5. Postavka eksperimenta u laboratoriji

4. ANALIZA REZULTATA

Rezultati ispitivanja su izloženi u tabeli 1. U tabeli je data maksimalna sila pri lomu grede, kako sila na presi F , tako i sile koje deluju u dve tačke na gredi P . Za maksimalnu silu pri lomu je dat odgovarajući maksimalni ugib. Kako je ugib grede praćen sa dva ugibomera za grede serije "A", i sa četiri ugibomera za grede serije "B", kao maksimalni ugib je definisana prosečna vrednost izmerenog ugiba. Na osnovu rezultata ispitivanja, a prema uputstvu izloženom u EN 408 za odgovarajući faktor korelacije određena je vrednost globalnog modula elastičnosti.

Uzorak	Maksimalna sila na presi	Sila na gredi	Ugib pri loma	Globalni modul elastičnosti
[...]	F [kN]	$P = \frac{F}{2}$ [kN]	u [mm]	$E_{m,g}$ [kN/mm ²]
Seriya A				
A1	90,5	45,3	nije zabeležen	/
A2	90,6	45,3	58,6	12,60
A3	98,9	49,4	63,9	12,06
Srednja vrednost	93,4	46,7	61,2	12,33
Seriya B				
B1	47,5	23,8	29,2	11,42
B2	50,1	25,0	27,8	13,95
B3	49,7	24,9	29,4	11,94
Srednja vrednost	49,1	24,6	28,8	12,44

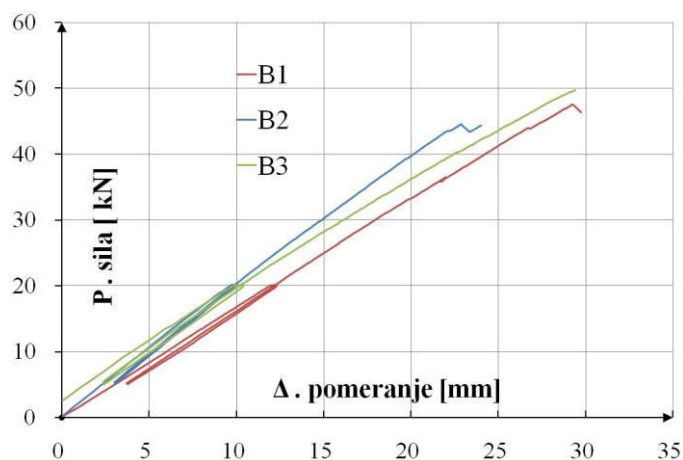
Tabela 1. Rezultati ispitivanja

Kako su sve grede istog poprečnog preseka, vrednost globalnog modula elastičnosti je direktan pokazatelj krutosti. Upoređivanjem srednje vrednosti modula elastičnosti može se zaključiti da su grede bez nastavka i grede sa formiranim nastavkom jednake krutosti. U najnepovoljnijem slučaju, izmereni rezultati pokazuju pad krutosti od svega 10%.

Maksimalna sila koja se može preneti gredama serije "B" je u najnepovoljnijem slučaju za 52% manja od maksimalne sile koja se može preneti gredama serije "A". Ovo upućuje da se grede koje su dimenzionisane prema pravilima za drvene konstrukcije na ovaj način ne mogu nastaviti na mestu maksimalnih momenata. Objekti koji su predmet sanacije su najčešće pravljani u skladu sa tradicionalnim pravilima bez statičkog proračuna, te su poprečni preseki po pravilu većih dimenzija od statički neophodnih. Primenom ovakvog postupka sanacije je moguće preneti uticaje u konstrukciji na mestu sanacije uz adekvatan dokaz nosivosti.

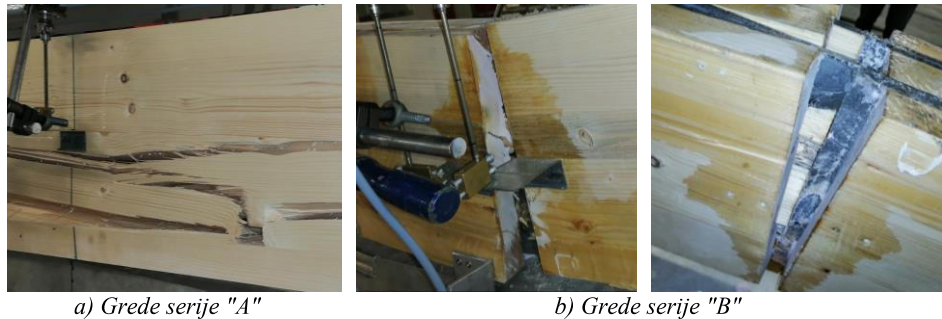
Ugibi za grede serije "A" su u sličnom odnosu prema silama kao i ugibi greda serije "B". Ovo je očekivano ako se uzme u obzir da je globalni modul elastičnosti približno jednak, odnosno da je ispitivanje pokazalo da nije došlo do gubitka na krutosti na savijanje primenom nastavka na gredi.

Na dijagramu sila-pomeranje, slika 6, se vidi linearno elastično ponašanje greda serije "B". Ponašanje je linearno elastično za period opterećivanja i rasterećivanja nosača, te posle ponovo tokom opterećenja sve do loma. Nakon loma ugibi, to jest pomeranje na dijagramu naglo raste, te je taj deo dijagrama isključen kako bi se moglo sagledati opterećenje-rasterećenje u elastičnoj zoni.



Slika 6. Dijagram sila - pomeranje serije "B"

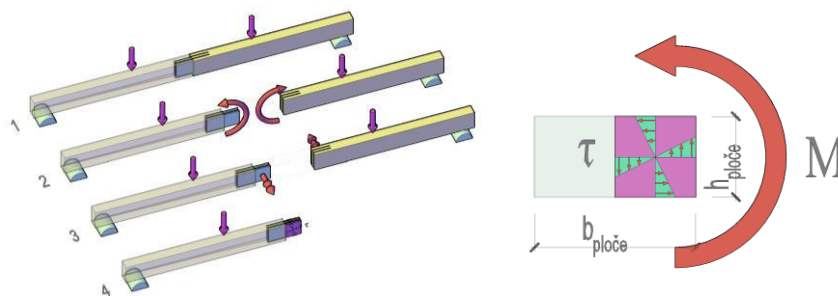
Analizom loma drvenih greda, sagledava se različit način loma za grede serije "A", slika 7a, i za grede serije "B", slika 7b. Lom je uvek u drvenom nosaču. Kod greda serije "A" lom je karakterističan lom za ovu vrstu dispozicije ispitivanja. Lom je u zategnutoj zoni nosača, kao posledica prekoračenja nosivosti na zatezanje pri savijanju. Ova vrsta loma je obično inicirana koncentracijom napona oko čvora ili prsline u nosaču. U trenutku otkaza nosača na savijanje, dolazi do pojave pukotine usled angažovanja napona zatezanja upravno na vlakna. Kod greda serije "B" lom je usled smicanja drveta u zoni spoja nosača. Pri граниčnom opterećenju dolazi do smicanja vlakana u zoni lepljenog spoja i izvlačenja čelične ploče iz spoja (slika 7b).



Slika 7. Karakterističan lom greda

5. NUMERIČKA ANALIZA

Za potrebe projektovanja sanacije putem ugradnje čeličnih ploča u proreze na gredi, ovde se predlaže uprošćen analitički model. Model je urađen prema pretpostavci da se lom dešava u drvetu kao najslabijem elementu u spoju, usled otkaza na smicanje na spoju sa čeličnom pločom (slika 8).



Slika 8. Računski model

Prema dispoziciji ispitivanja, moment savijanja od koncentrisane sile P koja se unosi u greda putem sile F sa prese je:

$$M = P \times L_{sila} = 1,15 \times P \dots [\text{kNm}] \quad (1)$$

gde je L_{sila} - rastojanje od oslonca do mesta dejstva koncentrisane sile P .

Nastavak greda je kruta veza sposobna za prenos momenata savijanja. Moment se na kontaktu drvo-epoksid i epoksid-čelik prenosi kao torzioni moment, upravna na ravan ploče.

Torzioni otporni moment spoja na jednoj gredi se računa za upisanu elipsu unutar površine spoja na gredi prema:

$$W_{p,1} = \frac{\pi}{16} b^2 h = \frac{\pi}{16} 19^2 \times 24 = 1701,17 \text{cm}^3 \quad (2)$$

$$W_{p,2} = \frac{\pi}{16} h^2 b = \frac{\pi}{16} 24^2 \times 19 = 2148,85 \text{cm}^3 \leq 1,33 \times W_{p,1} \quad (3)$$

gde je b - širina kontaktne površine spoja, h - visina kontaktne površine spoja.

Smičući napon u spojnoj ravni prema Evrokodu 5 [3] se može izračunati prema:

$$\tau_d = \frac{\gamma_g \times M_g + \gamma_p \times M_p}{W_{p,\min}} \times 1/n \leq k_{\text{mod}} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} \quad (4)$$

gde je γ_g i γ_p - parcijalni koeficijenti sigurnosti za dejstva (stalno i promenljivo), M_g i M_p - moment od stalnog i promenljivog opterećenja, $W_{p,\min}$ - minimalni torzioni otporni moment spoja, n - projektovani broj spojnih ravni, k_{mod} - korekcionni koeficijent, $f_{v,k}$ - karakteristična vrednost smičuće čvrstoće, γ_M - parcijalni koeficijent sigurnosti za svojstva materijala.

Za proveru računskog modela neophodno je izvršiti upoređivanje rezultata dobijenih ispitivanjem sa vrednostima koje su određene računski. Upoređivanje treba uraditi za graničnu vrednost sile i srednju vrednost čvrstoće, umesto karakteristične. Maksimalni momenat koji može da se prenese predloženom metodom se može odrediti iz torzione krutosti, broja smičućih ravni i srednje čvrstoće na smicanje.

$$M \leq f_{v,m} \times W_{p,\min} \times n \quad (5)$$

gde je $f_{v,m}$ - srednja vrednost smičuće čvrstoće.

JCSS [5] pretpostavlja lognormalnu raspodelu za smičuću čvrstoću sa COV = 15% za lepljeno lamelirano drvo. Log normalna raspodela za karakterističnu vrednost $f_{v,k} = 3,5$ N/mm² (prema EN 14080) i COV = 15% je korišćena u ovom radu.

Sračunata srednja vrednost smičuće čvrstoće iznosi $f_{v,m} = 4,5$ N/mm². Na osnovu ove vrednosti se može izračunati vrednost M , prema (5):

$$M \leq 4,5 \times 1701,17 \times 4 = 30,6 \text{ kNm} \quad (6)$$

Iz izraza (1) dalje sledi:

$$P = 30,6/1,15 = 26,6 \text{ kN} \quad (7)$$

Odnosno, maksimalna sila koja se unosi presom, a koja dovodi do prekoračenja čvrstoće drveta na smicanje je:

$$F = 2P = 53,2 \text{ kN} \quad (8)$$

Na osnovu rezultata ispitivanja datih u tabeli 1, prosečna sila pri lomu to jest sila pri kojoj dolazi do popuštanja spoja je 49,1 kN. Sila dobijena eksperimentalnim putem je za 8% manja od vrednosti dobijene predloženim proračunskim modelom. Predloženi model daje rezultate koji su u prihvatljivom opsegu prema eksperimentalnim rezultatima.

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedenog ispitivanja i datog postupka za računsku proveru nosivosti ovakvog spoja se zaključuje da je moguće izvršiti sanaciju dela grede koji je oštećen lokalnim isecanjem oštećenog dela i umetanjem zdravog dela drveta. Nastavak, to jest spoj između postojeće grede i novog dela se ostvaruje umetanjem čeličnih ploča u proreze na gredi i obezbeđenja prenosa sila odgovarajućim epoksidnim lepikom. Pri ovome se ne gubi na krutosti sanirane grede.

Postupak je primenjiv za mesta na gredi gde nije moguće smestiti dovoljan broj spojnih sredstava za prenos momenata savijanja, kao i za pozicije gde nije moguće izvršiti zamenu kompletnog oštećenog elementa, van zona maksimalnih momenata. Postupak

sanacije je lako izvodljiv na pozicijama greda koje su stradale na mestu oslanjanja na zid, gde se sanacija vrši zamenom oštećenog dela grede u zidu.

Iako je pokazano da se maksimalna sila u gredi smanjuje na polovinu sile koju može da prenese osnovni presek grede, postupak je zanimljiv sa aspekta očuvanja postojeće konstrukcije saniranjem samo oštećenih delova. Ovo može biti od integralnog značaja za izvođenje sanacije na objektima pod zaštitom, na objektima koji su od kulturnog značaja. Zamenom samo lokalizovanog elementa, ili više manjih elemenata u kompletnoj konstrukciji objekta, se zadržava postojeća forma i izgled objekta.

Eksperimentalno ispitavanje i predloženi proračunski model su pokazali da je dati postupak sanacije primenljiv u praksi. Kako je istraživanje urađeno na samo tri uzorka sa nastavkom, u budućem radu bi trebalo proširiti spektar ispitivanja na veći broj uzoraka. Takođe, treba naći način da se izvođenje nastavka na licu mesta uradi uz što je moguće manje curenje epoksidnog lepka da bi se izbeglo prljanje postojeće konstrukcije i postojećih ukrasa na konstrukciji tokom izvođenja sanacije.

7. REFERENCE

- [1] Arriaga F, Iñiguez-Gonzalez G, Esteban M, Fernandez-Cabo L. J: Simplified Model for Strength Assessment of Timber Beams Joined by Bonded Plates, *Journal of Materials in Civil Engineering* 25(8), 2013, pp. 980-990.
- [2] European Committee for Standardization (CEN). En 408:2010: Timber structures - Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties, Brussels, Belgium, 2012.
- [3] European Committee for Standardization (CEN). Eurocode 5: EN 1995-1-1: Design of timber structures. Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, Brussels, Belgium, 2008.
- [4] Jasienko J, Nowak P. T: Solid timber beams strengthened with steel plates – Experimental studies, *Construction and Building Materials* 63, 2014, pp. 81-88.
- [5] Joint Committee of Structural Safety JCSS: Probabilistic Model Code. Part 3: Resistance models – 3.5 Properties of timber, 2006. Available online at: <https://www.jcss-lc.org/publications/jcsspmc/timber.pdf>.
- [6] Morales-Conde M.J, Rodríguez-Liñán C, Rubio-de H.P: Bending and shear reinforcements for timber beams using GFRP plates, *Construction and Building Materials* 96, pp. 461-472.
- [7] Pizzo B, Gavioli M, Lauriola P. M: Evaluation of a design approach to the on-site structural repair of decayed old timber end beams, *Engineering Structures* 48, 2013, pp. 611-622.
- [8] Smedley D, Alam P, Ansell P.M: George Street, St. Albans, UK – a case study in the repair of historic timber structures using bonded-in pultruded plates, In *Proceedings of ACIC07 Advanced Composites in Construction*, Bath, UK, 2-4 April 2007.