

Eksperimentalno određivanje nosivosti veza ostvarenih metalnim konekterima

ŽIKICA M. TEKIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Arhitektonski fakultet, Beograd
SAŠA M. ĐORĐEVIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Arhitektonski fakultet, Beograd

Originalni naučni rad
UDC: 624.014.2.072.9

U radu je prikazano eksperimentalno određivanje nosivosti veza ostvarenih metalnim konekterima tipa WOLF i LKVC. S obzirom na kompleksnost veza ostvarenih ovim savremenim mehaničkim spojnim sredstvima, predmet rada obuhvata samo nosivost bočne veze (naprezanje u spoju metal-drvo). Cilj sprovedenih eksperimentalnih ispitivanja je bio da se utvrdi nosivost bočne veze ostvarene metalnim konekterima, u skladu sa odredbama Evrokoda 5 i da se paralelno sa tim analizira odnos nosivosti ova dva tipa konektera, sa aspekta njihove geometrije. Eksperimentalno ispitivanje je sprovedeno na više uzoraka, opterećivanjem uzoraka do dostizanja granične nosivosti bočne veze. Diskusija rezultata ispitivanja je obuhvatila analizu pomerljivosti veza za različite nivoe opterećenja, kao i način dostizanja granične nosivosti bočne veze. U zaključku je dat komentar o utvrđenim graničnim nosivostima bočne veze, za određena pomeranja veze, i zauzet je stav po pitanju dobijenih rezultata.

Ključne reči: metalni konekter, zubac, čvorna veza, granična nosivost, pomeranje

1. UVODNO OBRAZLOŽENJE

Metalni konekteri su savremena mehanička spojna sredstva, nastala razvojem savremenih sistema drvenih struktura. Pojava ovih spojnih sredstava je imala za cilj unapređenje stepena proizvodnje, u svrhu jednostavnosti izvođenja veza elemenata konstrukcije, odnosno, konstruisanja veza, koje će po pitanju prenošenja opterećenja biti kvalitetne i sigurne [1].

U savremenoj građevinskoj praksi u svetu, postoji više standardnih tipova metalnih konektera, koji se proizvode perforacijom lima i izvlačenjem zubaca upravno na ravan lima, i koji se uspešno primenjuju za ostvarivanje veza između štapova drvenih rešetkastih nosača. Geometrija standardnih tipova metalnih konektera se međusobno razlikuje od proizvođača do proizvođača ovog spojnog sredstva, u odnosu na debljinu lima, oblik i dužinu zubaca, kao i položaj i broj zubaca po jedinici površine. Navedeni parametri i tehnologija proizvodnje standardnih tipova metalnih konektera, su od posebnog značaja za nosivost ostvarenih veza drvenih elemenata, upotrebom ovog spojnog sredstva. Nosivost metalnih konektera se određuje eksperimen-

talnim putem i u skladu sa Evrokodom 5, i kao parametar koristi za dimenzionisanje veza ostvarenih ovim savremenim mehaničkim spojnim sredstvima.

Za eksperimentalno određivanje nosivosti veza ostvarenih metalnim konekterima, izabran je konekter LKVC, čiji je proizvođač LKV Centar iz Srbije [2] i konekter WOLF 15N, čiji je proizvođač WOLF iz Austrije [3]. Konekteri su proizvedeni u skladu sa odredbama EN 10147 [4] i imaju debljinu lima od 1.5 mm, što je i bio prevashodan razlog da se vrše bilo kakva poređenja po pitanju nosivosti ostvarenih veza.

Prikazani konekteri imaju različite geometrije zubaca, kao i njihov raspored i broj po jedinici površine konektera. Međusobni razmak zubaca u dva ortogonalna pravca je prikazan u tabeli 1., na osnovu čega se može konstatovati pripadajuća površina zupca konektera LKVC od 169 mm², odnosno 215 mm² za konekter WOLF.



Slika 1 - Metalni konekteri LKVC (levo) i WOLF (desno)

Adresa autora: Žikica Tekić, Univerzitet u Beogradu, Arhitektonski fakultet, Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73

Rad primljen: 04.09.2014.

Rad prihvaćen: 22.09.2014.

Tabela 1. Geometrija konektera LKVC i WOLF

	Lkvc (mm)	Wolf (mm)
Razmak zubaca u X pravcu	22.50	25.40
Razmak zubaca Y pravcu	7.50	8.46
Dužina zupca	13.50	15.00

2. DIMENZIONISANJE BOČNE VEZE OSTVARENE METALNIM KONEKTERIMA

Nosivost bočne veze (naprezanje u spoju metal-drvo) se definiše na osnovu laboratorijskih ispitivanja, opterećivanjem uzoraka za ispitivanje do dostizanja granične nosivosti, za različiti položaj podužne ose konektera, u odnosu na pravac sile i pravac pružanja drvenih vlakana. Karakteristične vrednosti nosivosti u spoju metal-drvo, se iskazuju po jedinici površine pokrivena metalnim konekterom, za određene uglove α i β [5], gde je α ugao između pravca sile i pravca podužne ose konektera, a β ugao između pravca sile i pravca podužne ose drvenog štapa. Podužna osa konektera je linija (pravac valjanja lima) izvlačenja zubaca van ravni lima, dok je podužna osa štapa definisana pravcem pružanja drvenih vlakana.

Granična nosivost bočne veze ostvarene metalnim konekterima se definiše na osnovu odredbi EN 1075 [6] i EN 28970 [7], u funkciji graničnog opterećenja, efektivne površine konektera i zapreminske mase drveta, a izražava se u N/mm²:

$$f_{a,\alpha,\beta} = \frac{F_{\alpha,\beta,max}}{2 \cdot A_{ef}} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho} \right)^c \tag{1}$$

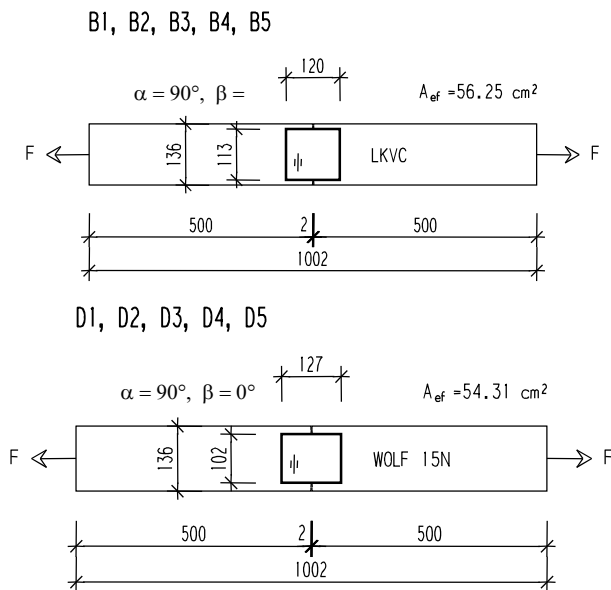
gde je:

- $f_{a,\alpha,\beta}$ - granična nosivost bočne veze za date uglove α i β (za jedan konekter u vezi),
- $F_{a,\alpha,\beta,max}$ - maksimalno (granično) opterećenje,
- A_{ef} - efektivna površina konektera,
- ρ_k - karakteristična zapreminska masa drveta, za određenu klasu drveta,
- ρ - zapreminska masa drveta, za ispitivani uzorak,
- c - bezdimenzionalni koeficijent.

3. OBLICI UZORAKA ZA EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE

Ekperimentalno ispitivanje nosivosti bočne veze je sprovedeno za vrednosti uglova $\alpha=90^\circ$ i $\beta=0^\circ$. Za utvrđivanje graničnih nosivosti bočne veze ostvarene metalnim konekterima, u skladu sa EN 14545 [8], ispitivanju su podvrgnuti standardni uzorci, sa 5 uzorka u jednoj seriji, za konekter LKVC i isto toliko za konekter WOLF (slika 2.). Geometrija uzoraka je izvedena u skladu sa EN 1075. Dimenzije konektera su

tako izabrane da se dobiju približno iste efektivne površine za oba tipa konektera, a da pri tome ne dođe do loma po preseku konektera, već isključivo po bočnoj vezi - vezi između zubaca i drveta. To je postignuto odnosom dužine konektera L i širine konektera B, gde je $L > B / 2$. Drvo koje je upotrebljeno za uzorke je od četinara II klase, sa vlažnošću od 15 %. Geometrija svih uzoraka koji su podvrgnuti ispitivanju je prikazana na slici 2, uz napomenu da je širina poprečnog preseka elemenata od drveta iznosila $b = 44$ mm.



Slika 2. - Oblici uzoraka serije B i serije D

4. POSTUPAK EKSPERIMENTALNOG ISPITIVANJA

Ekperimentalno određivanje nosivosti veza drvenih elemenata, podrazumeva sprovođenje određenih ispitivanja u laboratorijama koje su opremljene za tu svrhu, u cilju dobijanja određenih podataka o nosivosti tih veza. Pripremanje uzoraka za ispitivanje je obuhvatilo prethodno odležavanje (kondicioniranje) drvenih elemenata, pre izrade same veze, odnosno, odležavanje uzorka kao jedne celine, nakon formiranja veze. Prema standardu ISO 554, standardna atmosfera za pripremanje uzoraka iznosi 20/65, što podrazumeva temperaturu vazduha od 20° i vlažnost vazduha od 65%. Uz poštovanje ovih pravila, mogu se porediti nosivosti veza pod istim uslovima, odnosno, upoređivati rezultati ispitivanja dobijeni u različitim laboratorijama.

Ispitivanje nosivosti izvedenih veza je izvršeno u Institutu za materijale i konstrukcije, na Građevinskom fakultetu u Beogradu, na hidrauličnoj kidalici tipa Am-sler. Pri nanošenju odgovarajuće sile, deformacije su registrovane pomoću instrumenata za merenje defor-

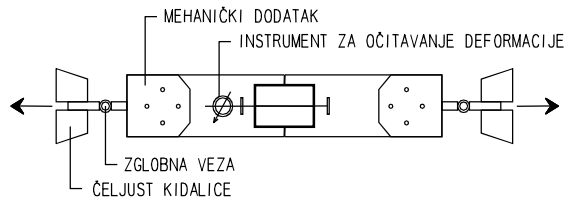
macija, tačnosti 0.01 mm, koji su postavljeni na sektoru veze, kako bi se dobile merodavne vrednosti pomeranja u vezi (slika 3). Na svaki uzorak su postavljena po dva takva instrumenta, kako bi se pratile deformacije veze sa obe strane uzorka.



Slika 3 - Uzorci serije B (LKVC) i serije D (WOLF)

Postupak opterećivanja je sproveden u skladu sa EN 26891 [9]. Opterećenje je naneto u veličini od 40% procenjenog maksimalnog opterećenja ($0.4 \cdot F_{est}$) i zadržano 30 sekundi. Nakon toga je očitana deformacija i opterećenje koje je izazvalo tu deformaciju. Zatim je opterećenje smanjeno na vrednost od $0.1 \cdot F_{est}$ i zadržano 30 sekundi, nakon čega je izvršeno očitavanje. Opterećenje je zatim povećavano do dostizanja graničnog opterećenja ili klizanja. Opterećenja do vrednosti $0.7 \cdot F_{est}$ su približno iznosila $0.2 \cdot F_{est}$ po jednoj minuti, dok je iznad vrednosti $0.7 \cdot F_{est}$ granično opterećenje ili klizanje dostizano za oko 3 do 5 minuta. Ukupno vreme ispitivanja jednog uzorka je iznosilo između 10 i 15 minuta. Nanošenje zatežuće sile je vršeno preko određenih mehaničkih dodataka (slika 4.), sa korakom od 2.0 kN, i usklađeno je sa postupkom opterećivanja, u funkciji procenjenog maksimalnog opterećenja. Do loma je dolazilo na dva načina: usled izvlačenja zubaca

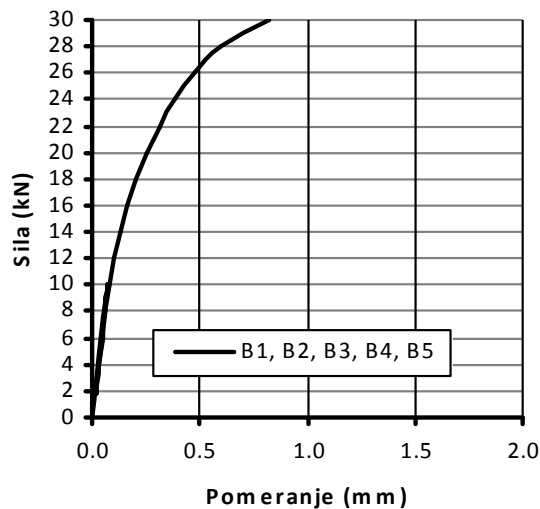
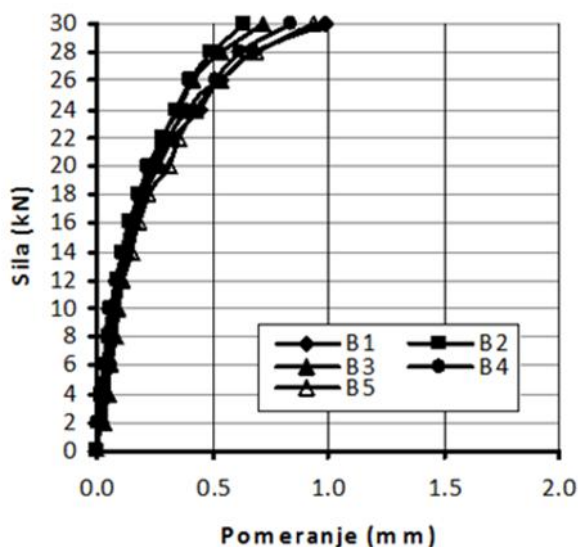
iz drveta, pre dostizanja dozvoljenog pomeranja i usled prekoračenja dozvoljenog pomeranja veze. Ispitivanje uzorka je prekinuto nakon destrukcije veze, kada je vizuelno konstatovan početak izvlačenja zubaca iz drveta, pri pomeranjima veze u vrednosti oko 2.0 mm.



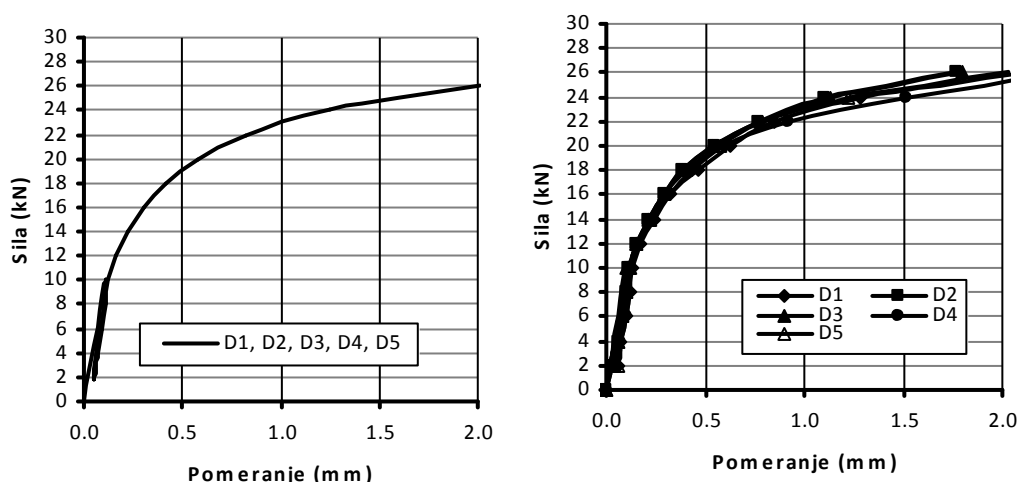
Slika 4 - Uzorci serije B i D (šematski prikaz aksijalnog zatezanja)

5. REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISPITIVANJA

Rezultati eksperimentalnih ispitivanja za oba tipa konektera su prikazani u sklopu dijagrama "sila - pomeranje", na kojima su prikazane pojedinačne vrednosti pomeranja veze i srednja prosečna vrednost (slika 5. i slika 6). U tabeli 2 i tabeli 3 su prikazani karakteristični parametri u skladu sa EN 26891 (F_{est} – procenjeno maksimalno opterećenje, F_{max} - maksimalno opterećenje za usvojeno dozvoljeno pomeranje veze, v_{01} - pomeranje za vrednost od 10% procenjenog maksimalnog opterećenja, v_{04} - pomeranje za vrednost od 40% procenjenog maksimalnog opterećenja i v_{max} - maksimalno pomeranje veze u toku ispitivanja). U datim tabelama su prikazane pojedinačne i prosečne vrednosti navedenih parametara. Opterećenje F_{est} je procenjeno za dozvoljeno pomeranje od 1.5 mm [10]. U okviru diskusije rezultata ispitivanja je analiziran odnos veličine nanetog opterećenja i izmerenih pomeranja veze, odnosno, date su granične nosivosti veze u funkciji definisanog dozvoljenog pomeranja.



Slika 5 - Dijagram "sila-pomeranje" (pojedinačne i srednje vrednosti - LKVC)



Slika 6 - Dijagram “sila - pomeranje” (pojedinačne i srednje vrednosti - WOLF)

Tabela 2. Rezultati ispitivanja (pojedinačne vrednosti)

Serija	Uzorak	Opterećenje		Pomeranje		
		F _{est} (kN)	F _{max} (kN)	V ₀₁ (mm)	V ₀₄ (mm)	V _{max} (mm)
B	B1	26	30	0.020	0.065	0.985
	B2	26	30	0.010	0.070	0.640
	B3	26	30	0.030	0.090	0.715
	B4	26	30	0.020	0.085	0.835
	B5	26	30	0.035	0.095	0.940
D	D1	26	24.51	0.060	0.135	2.140
	D2	26	25.20	0.045	0.120	1.765
	D3	26	25.11	0.045	0.120	1.795
	D4	26	23.93	0.055	0.125	2.320
	D5	26	24.69	0.060	0.115	2.035

Tabela 3. Rezultati ispitivanja (prosečne vrednosti)

Serija		Opterećenje		Pomeranje		
		F _{est} (kN)	F _{max} (kN)	V ₀₁ (mm)	V ₀₄ (mm)	V _{max} (mm)
B	LKVC	26	30	0.023	0.081	0.823
D	WOLF	26	24.69	0.053	0.123	2.011

6. DISKUSIJA REZULTATA ISPITIVANJA

Na osnovu prikazanih rezultata ispitivanja, evidentne su razlike u pomeranjima veza ostvarenih metalnim konekterima oba proizvođača, za iste vrednosti nanetog opterećenja. Za sve uzorke, i kod konektera LKVC i konektera WOLF, mogu se uočiti manje razlike u pomeranjima do granice od 40 % procenjenog maksimalnog opterećenja (oko 10 kN), nakon čega je priraštaj deformacija veći za konekter WOLF, u odnosu na konekter LKVC, za istu vrednost nanetog opterećenja. Pošto je efektivna površina konektera LKVC za samo 3.57 % veća u odnosu na konekter WOLF,

za istu vrednost pomeranja se može konstatovati veća nosivost konektera LKVC po jedinici površine, u odnosu na konekter WOLF, za merodavno opterećenje. Ako se analizira ponašanje veze u odnosu na granično pomeranje od 1.5 mm, mogu se konstatovati razlike u načinu dostizanja granične nosivosti veze, za oba tipa konektera. Kod konektera LKVC nije dostignuto granično pomeranje od 1.5 mm, jer je pri znatno nižoj vrednosti pomeranja došlo do početka izvlačenja zubaca iz drveta, kada je i prekinuto dalje ispitivanje. Početak izvlačenja zubaca iz drveta predstavlja fizičku destrukciju veze, čime se praktično i definiše sila loma, što je u ovom slučaju i konstatovano pri pomeranju od

svega 0.823 mm, uzimajući u obzir prosečnu vrednost za pet ispitanih uzoraka. Kod konektera WOLF je dostignuto granično pomeranje od 1.5 mm, ali pri manjem nanetom opterećenju u odnosu na konekter LKVC, što je na kraju rezultiralo i manjom graničnom nosivošću konektera WOLF, po jedinici površine. Ispitivanje nosivosti veza ostvarenih metalnim konekterima WOLF je prekinuto pri prosečnom pomeranju od oko 2.0 mm, pošto je vizuelno konstatovan početak izvlačenja zubaca konektera iz drveta. S obzirom da je ispitivanje sprovedeno u skladu sa standardom ISO 554, i uz činjenicu da je za sve uzorke upotrebljeno drvo iste klase i iste zapreminske mase, za bezdimenzionalni koeficijent $c(1)$, iz odredbi EN 1075 i EN 28970, se usvaja vrednost $c=0$, čime se u ovom slučaju isključuje uticaj odnosa karakteristične i stvarne zapreminske mase drveta, na nosivost veze. Shodno tome, određene su granične nosivosti bočne veze, za oba tipa konektera, kao i međusobni odnos graničnih nosivosti (tabela 3)

Ako se analizira razmak zubaca u dva ortogonalna pravca, odnosno uzme u obzir broj zubaca po jedinici površine, može se utvrditi koliko nosi jedan zubac. Pripadajuća površina jednog zupca konektera LKVC iznosi 169 mm², a konektera WOLF 215 mm², pa se iz toga dobije da je nosivost jednog zupca konektera WOLF za oko 8.20 % veća u odnosu na nosivost zupca konektera LKVC (tabela 4).

Tabela 4. Granične nosivosti bočne veze

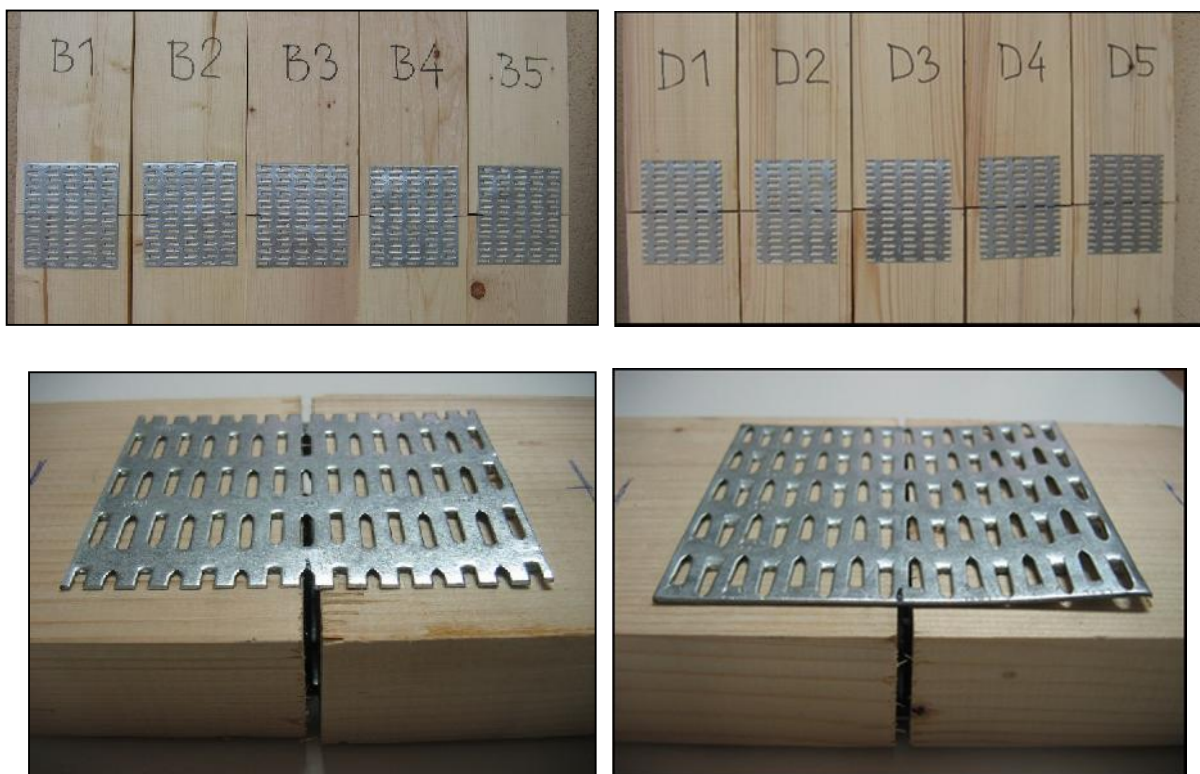
Konekter	Nosivost bočne veze fa,90,0
LKVC	2.67 N/mm ²
WOLF	2.27 N/mm ²
LKVC / WOLF	17.62 %

Ovaj podatak nema značaja za nosivost bočne veze, sa aspekta dimenzionisanja veza, jer se nosivost bočne veze izražava po jedinici površine, ne po nosivosti jednog zupca, ali kao podatak može biti od značaja pri koncipiranju geometrije konektera i geometrije samog zupca, kako bi se uticalo na povećanje nosivosti konektera.

Tabela 5. Granične nosivosti jednog zupca

Konekter	Nosivost jednog zupca
LKVC	451 N
WOLF	488 N
WOLF / LKVC	8.20 %

Na slici 7. su prikazani uzorci serije B i serije D u fazi ispitivanja, kao i položaj konektera u odnosu na drvo, u trenutku kada je prekinuto ispitivanje.



Slika 7 - Uzorci serije B (Lkvc) i D (Wolf)

7. ZAKLJUČAK

Eksperimentalna ispitivanja nosivosti bočne veze ostvarene metalnim konekterima su sprovedena na uzorcima drvenih štapova koji su nastavljeni metalnim konekterima tipa LKVC i WOLF 15N. Uzorci su podvrgnuti aksijalnom zatezanju, u skladu sa EN 1075, sa ciljem da se utvrdi ponašanje ova dva tipa konektera u vezama drvenih štapova, pri čemu je analizirano ponašanje veze u linearnom i u nelinearnom delu dijagrama pomerljivosti. Dobijeni rezultati su dali sliku o međusobnom odnosu nosivosti ova dva tipa konektera, sa aspekta njihove geometrije, za različite nivoe opterećenja veze drvenih elemenata, za vrednost uglova $\alpha=90^\circ$ i $\beta=0^\circ$.

Granična nosivost bočne veze je određena za usvojeno dozvoljeno pomeranje veze od 1.5 mm, što se pokazalo kao merodavan kriterijum za veze ostvarene konekterima WOLF, za razliku od veza ostvarenih konekterima LKVC, gde se lom veze desio pre dostizanja graničnog pomeranja od 1.5 mm. Za oba konektera su evidentne male razlike u nosivosti veze u oblasti elastičnosti, za vrednosti pomeranja do oko 0.1 mm, dok je u oblasti plastičnih deformacija konekter LKVC pokazao bolje kvalitete, što je konstatovano odnosom nosivosti bočne veze ova dva tipa konektera, koja iznosi oko 18% u korist konektera LKVC.

Veća nosivost jednog zupca konektera WOLF, za oko 8% u odnosu na zubac konektera LKVC, se može delimično opravdati većom dužinom zupca konektera WOLF za 2.0 mm u odnosu na zubac konektera LKVC, ali nije jedini parametar od koga zavisi nosivost bočne veze. Broj zubaca po jedinici površine konektera se pokazao kao bitan parametar u funkciji kapaciteta bočne veze. Pripadajuća površina jednog zupca konektera WOLF je za 27% veća u odnosu na istu kod konektera LKVC, što je došlo do izražaja pri utvrđivanju odnosa graničnih nosivosti po jedinici površine, u korist konektera LKVC, bez obzira na veću nosivost jednog zupca konektera WOLF.

Za konačnu uporednu ocenu kvaliteta ova dva tipa konektera, po pitanju nosivosti bočne veze, neophodni su podaci o nosivosti bočne veze za neke druge kombinacije uglova α i β . Takođe, rastojanje najudaljenijeg reda zubaca konektera u odnosu na liniju spoja

dva štapa, može da bude od značaja za graničnu nosivost veze, odnosno za početak izvlačenja zubaca iz drveta. Dakle, novim eksperimentalnim ispitivanjima nosivosti bočne veze ostvarene metalnim konekterima, treba analizirati i uticaj dimenzija konektera, na graničnu nosivost bočne veze.

LITERATURA

- [1] Tekić, Ž, Savremeni koncepti primene metalnih konektera u sistemima drvenih struktura, Doktorska disertacija, Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2005.
- [2] Karakteristike konektera LKVC, www.lkvcenar.com
- [3] Karakteristike konektera WOLF, www.wolfsystem.at
- [4] EN 10147:2000, Specification for continuously hot-dip zinc coated structural steel sheet and strip - Technical delivery conditions.
- [5] Eurocode 5, Design of timber structures. EN 1995-1-1, Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, 2004, Brussels: European committee for standardization.
- [6] EN 1075:1999, Timber structures - Test methods. Testing of joints made with punched metal plate fasteners.
- [7] EN 28970:1991, Timber structures. Testing of joints made with mechanical fasteners; requirements for wood density (ISO 8970:1989).
- [8] EN 14545, Timber structures - Connectors - Requirements.
- [9] EN 26891:1991, Timber structures. Joints made with mechanical fasteners. General principles for the determination of strength and deformation characteristics.
- [10] SRPS U.C9.200, Projektovanje i izvođenje drvenih konstrukcija - Konstrukcije od monolitnog drveta i ploča.

SUMMARY

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF LOAD BEARING CAPACITY OF CONNECTIONS REALIZED BY PUNCHED METAL PLATE FASTENER

This paper demonstrates the results of experimental determination of load bearing capacity of structural timber member connections realized by WOLF and LKVC metal connector plates. Considering the complexity of the connections realized by these modern mechanical fasteners, this paper deals only with plate anchorage capacity (stress in the metal-wood contact). The aim of the conducted experimental study was to determine the metal connector plate anchorage capacity in accordance with the provisions of Eurocode 5 and also to analyze the ratio of the load bearing capacities of these two types of connectors in terms of their geometry. Experimental testing was conducted by loading of multiple samples up to the limit plate anchorage capacity. Discussion of the test results included the analysis of the connection deformation for different levels of load, as well as the mode of reaching the limit plate anchorage capacity. Review of the determined limit plate anchorage capacities, for the determined displacements of connection, was given in the conclusion, together with the comment on test results.

Key words: metal connector plate, tooth, joint, limit bearing capacity, displacement