

Zlatko Marković¹
Dragan Buđevac²
Jelena Dobrić³
Nenad Fric⁴
Miloš Knežević⁵

SPECIFIČNOSTI PONAŠANJA VEZA SA MEHANIČKIM SPOJNIM SREDSTVIMA KOD ČELIČNIH TANKOZIDNIH ELEMENATA

Rezime: Kod veza tankozidnih elemenata je, zbog male debljine lima, prisutan niz specifičnosti. U ovom radu prikazana su teorijska i eksperimentalna istraživanja ponašanja veza tankozidnih čeličnih elemenata ostvarenih pomoću mehaničkih spojnih sredstava: vijaka i samonarezujućih vijaka. Ispitivani su smičući spojevi i spojevi opterećeni na zatezanje. Rezultati sopstvenih ispitivanja poređeni su sa aktuelnim evropskim i američkim propisima. Određene su i karakteristične nosivosti samonarezujućih vijaka na smicanje i zatezanje.

Ključne reči: tankozidni čelični elementi, veze, vijci, samonarezujući vijci, smicanje, zatezanje

SPECIFIC BEHAVIONUR OF THIN-WALLED MEMBER JOINTS WITH FASTERNERS

Summary: Connections of thin-walled structural members, due to small plate thickness compared to classical steel profiles, are susceptible to series of characteristics. Theoretical and experimental research of behaviour of thin-walled member connections with mechanical fasteners: bolts and screws are shown in this paper. Shear and tension behaviour are analysed separately. Obtained experimental results are compared to curent design European and American codes. Characteristic shear and tension resistances of selftapping screws are also determined.

Key words: thin-walled steel members, joints, bolts, selftapping screws, shear, tension

¹ Dr dipl.građ.inž., vanredni profesor, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

² Dr dipl.građ.inž., redovni profesor, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

³ Mr dipl.građ.inž., asistent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

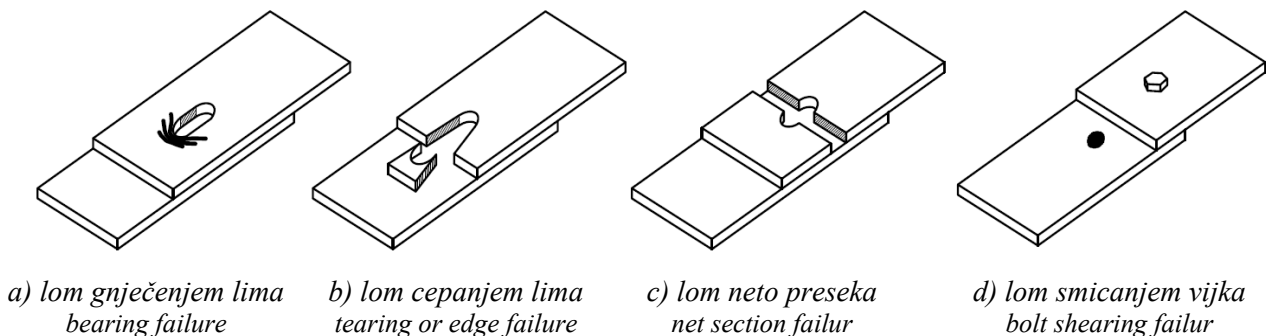
⁴ Dipl.građ.inž., asistent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

⁵ Dr dipl.građ.inž.,vanredni profesor, Građevinski fakultet Univerziteta u Podgorici

1 UVOD

Pri proračunu i konstruisanju veza tankozidnih hladnooblikovanih elemenata ne mogu se primeniti pravila i metode koje važe za veze elemenata od vrućevaljanih ili zavarenih profila. Potencijalni vidovi loma kod smičućih i zatežućih spojeva tankozidnih elemenata se razlikuju u odnosu na klasične čelične konstrukcije. Da bi se dobile optimalne, ekonomski opravdane veze, kod kojih su ujednačene nosivosti mehaničkih spojnih sredstava i osnovnog materijala, mehanička spojna sredstava, kao što su vijci, treba prilagoditi ovom tipu spojeva, a otvara se mogućnost primene i drugih mehaničkih spojnih sredstava. Obzirom da je kod ovakvih veza najčešće merodavan vid loma po osnovnom materijalu, dimenzije spojnih sredstava su manje u odnosu na one koje se obično koriste u zgradarstvu. Uglavnom se koriste: vijci (*bolts*), samonarezujući vijci (*self-tapping screws*), pop-zakivci (*blind rivets*) i ekseri sa eksplozivnim upucavanjem (*cartridge fired pins*). Samonarezujući vijci obrazuju navoj u limu za koji se vezuju urezivanjem ili bušenjem. Nazivni prečnici se kreću od 2,2 do 8 mm, a najčešće se primenjuju samonarezujući vijci prečnika 6,3 mm. Izrađuju se od ugljeničnih ili legiranih čelika za cementaciju. Koriste se u spojevima opterećenim na smicanje i zatezanje. Posebno je važna njihova uloga kod konstrukcija kod kojih se primenjuje *stressed-skin* koncept projektovanja.

U prvim eksperimentalnim ispitivanjima smičućih spojeva, koja su sprovedena neposredno nakon II svetskog rata u SAD, (G. Winter, 1956.) [1], uočeni su osnovni vidovi loma (slika 1). Pokazano je da pojava određenog tipa loma zavisi od prečnika i klase čvrstoće spojnog sredstva, debljine i kvaliteta osnovnog materijala i razmaka spojnih sredstava. Imajući u vidu specifičnosti ponašanja ovakvih veza, proteklih dvadesetak godina intezivirana su eksperimentalna i numerička istraživanja u ovoj oblasti [2-10]. Cilj ovih istraživanja bio je da se prodube i upotpune postojeća saznanja, dorade ili reviduju važeći propisi i proširi njihovo polje primene.

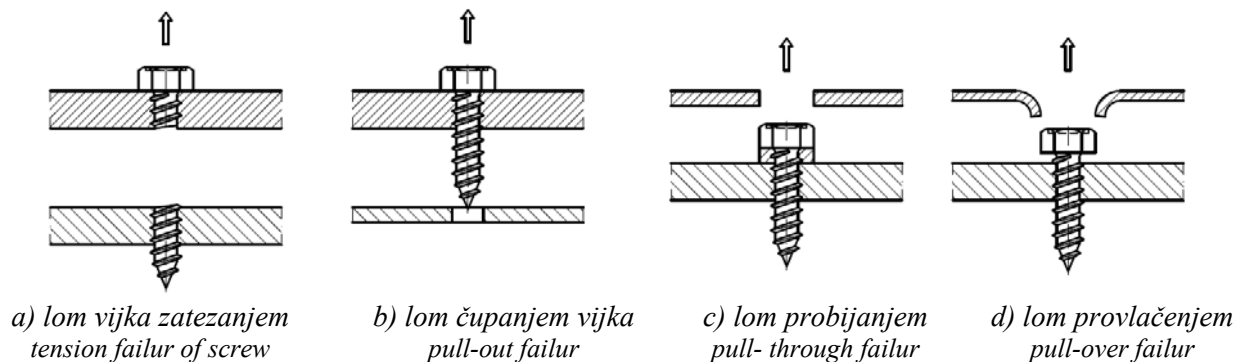


Slika 1 - Karakteristični vidovi loma kod smičućih spojeva sa mehaničkim spojnim sredstvima

Početna ispitivanja su obuhvatila veze sa običnim i samonarezujućim vijcima. Variranjem krajnjeg rastojanja vijaka u pravcu dejstva sile, F. Zadanfarrokh, ER. Bryan [2], potvrđuju da se lom usled cepanja lima očekuje kada je odnos ovog rastojanja i prečnika vijka manji od 2,5, dok se za veće vrednosti ovog odnosa javlja lom gnječenjem lima u okolini rupe. C. Rogers, J. Hanckok [3,4,5,6] su sprovedeli opsežna ispitivanja smičućih spojeva sa limovima male debljine ($t < 1$ mm) i različitim kvalitetom osnovnog materijala. Ova ispitivanja dala su dragocen doprinos u proširenju oblasti primene kod limova malih debljina. Rezultati u pogledu uticaja podloške na mehanizme loma usled gnječenja omotača rupe su kasnije kalibrisani u analizama koje su sprovedeli J.A.Wallace, R.M. Schuster, L.A. LaBoube [7] i inkorporirani u poslednje revidovano izdanje američkih propisa [11]. U Evropi, A.W.Tomà [8] sprovodi ispitivanja veza sa vijcima i pop-zakivcima. Ispitivane su veze na preklop sa jednim spojnim sredstvom, a varirani su sledeći parametri: debljina lima, ivično rastojanje vijka i širina uzorka. Ispitivane su veze sa jednostrukim prevojem lima na kraju, kao i veze sa kontinulanim dvostrukim zakošenim prevojem. Prevažodni cilj ovih istraživanja bio je da se prouči ponašanje veza kod izuzetno tankih limova, kao i u slučajevima malih krajnjih rastojanja vijaka ili pop-zakivaka i da se obuhvati uticaj prevoja. Osnovne specifičnosti u ponašanju smičućih spojeva sa samonarezujućim vijcima definisali su T. Pekoz [9], M.R. Babalola i R.A.LaBoube [10].

Rezultati njihovih istraživanja su činili bazu za formulaciju proračunskih izraza za različite mehanizme loma.

Kod zatežućih spojeva sa samonarezujućim vijcima, u zavisnosti od prečnika vijka, debljine i kvaliteta materijala limova koji se spajaju, mogu se javiti četiri oblika loma (T. Pekoz, 1990.) [9] koji su prikazani na slici 2.



Slika 2 - Vidovi loma veza sa samonarezujućim vijcima u spojevima opterećenim na zatezanje

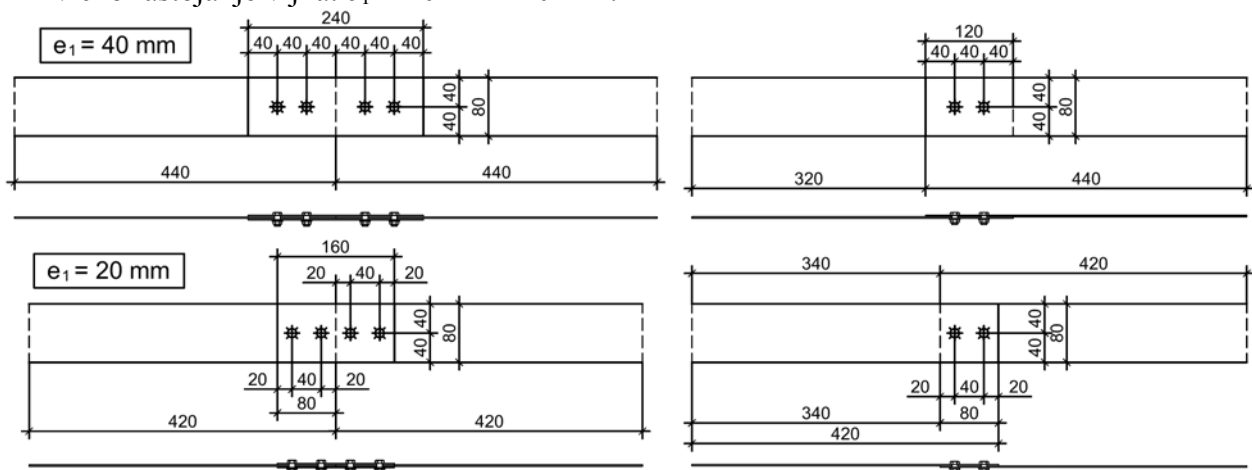
Značajan doprinos u tumačenju ponašanja veza opterećenih na zatezanje su dali R. Francka, R.A. LaBoube [12] koji su analizirali i interaktivno dejstvo smicanja i čupanja kod samonarezujućih vijaka.

Trenutna svetska saznanja u ovoj oblasti sažeta su u evropskom standardu EN 1993-1-3 [13] i propisima Američkog instituta za gvožđe i čelik (AISI) [11]. U njima su data pravila za proračun mehaničkih spojnih sredstava u smičućim spojevima i spojevima opterećenim na zatezanje, i to za savremena mehanička spojna sredstva (vijke, samonarezujuće vijke, pop nitne i eksere) koja se primenjuju kod tankozidnih hladnooblikovanih profila i limova. Međutim, za određene oblike loma nisu dati izrazi za proračun, već se preporučuje eksperimentalno određivanje nosivosti.

2 PRIKAZ EKSPERIMENTALNIH ISPITIVANJA

Eksperimentalnim istraživanjima, koja su sprovedena na Građevinskom fakultetu u Beogradu, dominantno su obuhvaćeni smičući spojevi sa običnim i samonarezujućim vijcima, dok je problem spojeva opterećenih zatezanjem obrađen fenomenološki na manjem broju uzoraka, kako bi se potvrdili potencijalni oblici loma i odredila nosivost samonarezujućih vijaka na zatezanje. Kod smičućih spojeva (slika 3) varirana su četiri parametra koja bitno utiču na njihovu nosivost:

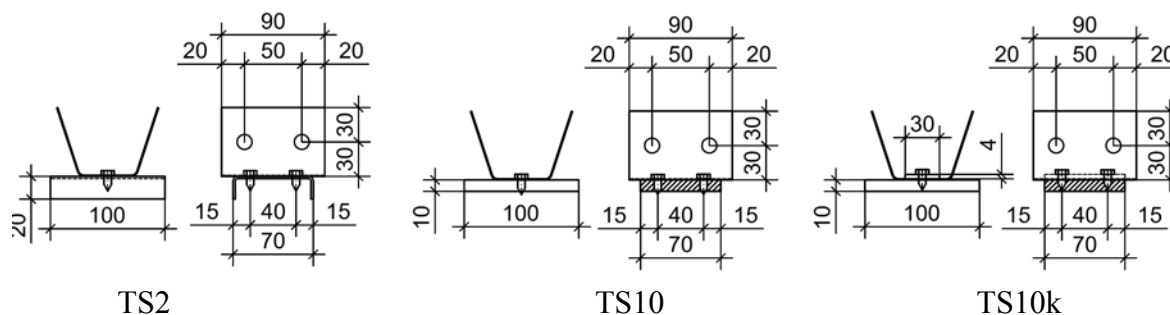
- vrsta spojnog sredstva: obični i samonarezujućij vijci
- tip veze: veze na preklop i veze sa podvezicama
- debljina lima: $t = 2 \text{ mm}$ i 4 mm
- ivično rastojanje vijka: $e_1 = 20 \text{ mm}$ i 40 mm .



Slika 3 - Uzorci ispitivanih veza sa mehaničkim spojnim sredstvima opterećenim na smicanje

Sve veze su izvedene sa po dva vijka. Da bi se pokazala opravdanost primene spojnih sredstava manjih prečnika korišćeni su obični vijci M8, nominalne klase čvrstoće 5.8 i samonarezujući vijci prečnika 6,3 mm (tip A - vrh navoja sa šiljkom).

Ispitivanje veza sa samonarezujućim vijcima opterećenim na zatezanje sprovedeno je na tri serije uzoraka (slika 4). Kod ovih uzoraka varirana je debljina donjeg, nosećeg lima u koji se vijak urezuje (2 i 10 mm), dok su oblik i dimenzije gornjeg profilisanog lima bili isti za sve uzorke (standardni trapezasti lim debljine 0,85 mm). Kod serije TS10k ispod glava samonarezujućih vijaka postavljene su čelične kontra-pločice debljine 4 mm da bi se sprečio lom probijanjem glave vijka i odredila nosivost samonarezujućih vijaka na zatezanje. Za ispitivanje ovih uzoraka konstruisan je poseban alat.



Slika 4 - Uzorci veza sa samonarezujućim vijcima opterećenim na zatezanje

Sva ispitivanja sprovedena su na elektronskim kidalicama *Shenck-Trebel* kapaciteta 100 kN i 400 kN (slika 5). Pri svim ispitivanjima brzina deformacije je iznosila 15 mm/min, u skladu sa preporukama za statička opterećenja.

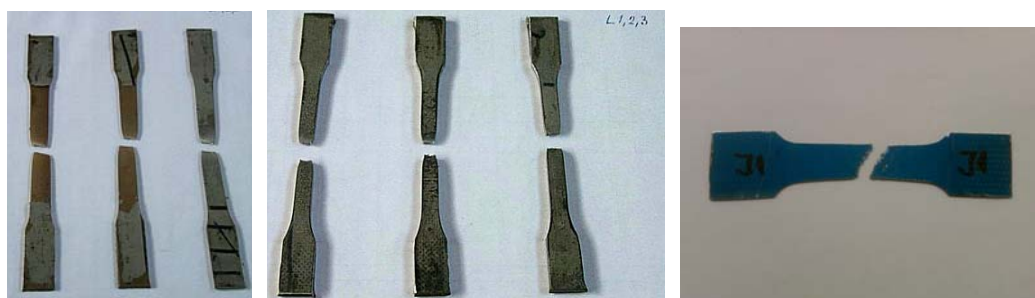


Slika 5 - Elektronska kidalica RM400 kapaciteta 400 kN

Na osnovu dobijenih rezultata ispitivanja statističkom analizom, prema EN 1993-1-3, Ankesu A [13], određene su karakteristične vrednosti nosivosti.

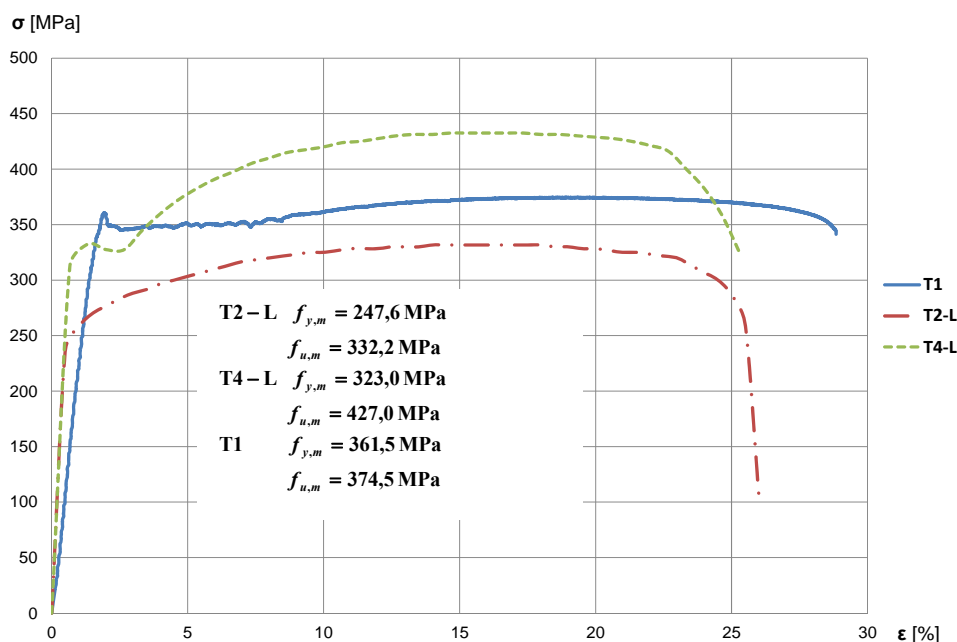
2.1 Mehanička svojstva osnovnog materijala

Mehanička svojstva materijala od kojeg su izrađeni uzorci su određene ispitivanjem. Epruvete standardnih dimenzija su isečene iz tabli limova debljine 2 mm i 4 mm i to za podužni (L) i poprečni (T) pravac valjanja, kao i iz profilisanog trapezastog lima debljine 0,85 mm (slika 6).



Slika 6 - Ispitane epruvete od limova debljine 2 mm (T2-L), 4 mm (T4-L) i 0,85 mm (T1)

Na slici 7 su prikazani σ - ε dijagrami, kao i prosečne vrednosti mehaničkih svojstava dobijene na osnovu ispitivanja po tri uzorka.

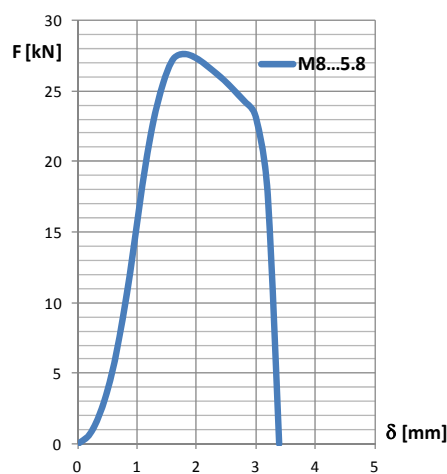
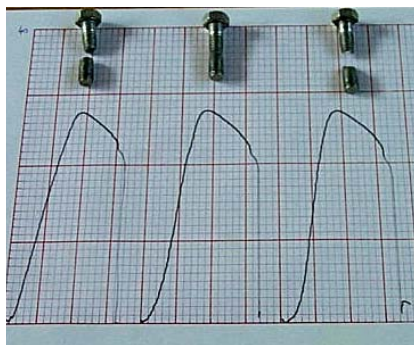


Slika 7 - σ - ε dijagrami i mehanička svojstva ispitivanih čeličnih limova

2.2 Ispitivanje nosivosti vijaka na zatezanje

Da bi se utvrdila nosivost primenjenih vijaka sa metričkim navojem na zatezanje i njihova mehanička svojstva izvršeno je njihovo ispitivanje na zatezanje (slika 8). Nosivost samonarezujućih vijaka na zatezanje je određena na osnovu ispitivanja uzoraka u zatežućim spojevima TS10k.

Pri ispitivanju vijaka uočena su izuzetno mala odstupanja rezultata. Na slici 8 prikazani su karakteristični dijagrami sila-deformacija F - δ za vijke M8...5.8 kao i srednje vrednosti rezultata ispitivanja: granična nosivost na zatezanje F_u , čvrstoća na zatezanje f_u i deformacija pri graničnoj sili loma δ_u . Dobijene vrednosti čvrstoće na zatezanje su značajno veće od nominalne vrednosti (49,5%), što ukazuje na važnost eksperimentalnog određivanja stvarnih mehaničkih karakteristika zbog kasnijeg tumačenja rezultata ispitivanja.



$$F_u = 27,36 \text{ kN} \quad f_u = 747,3 \text{ MPa} \quad \delta_u = 1,80$$

Slika 8 - Ispitivanje nosivosti običnih vijaka i F - δ dijagrami

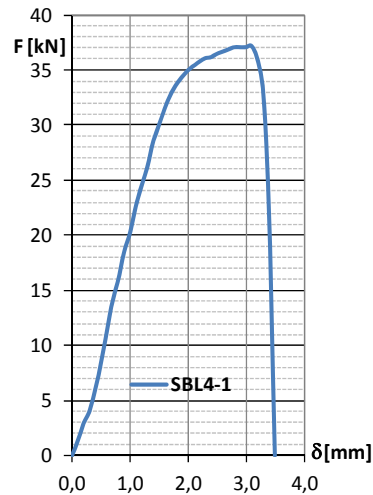
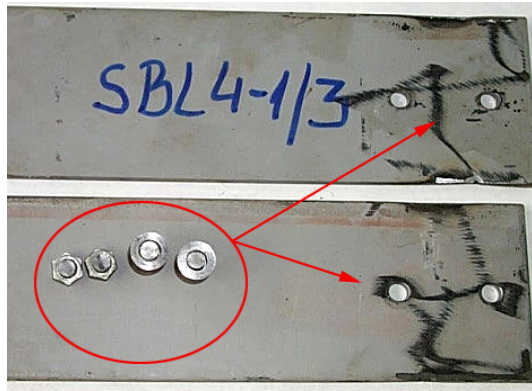
2.3 Smičući spojevi sa vijcima - SB

Rezultati ispitivanja prikazani su u tabeli 1. Pored granične vrednosti sile F_u za svaki uzorak, date su i srednja vrednost F_m , standardna devijacija s , varijansa V i karakteristična vrednost sile F_k . Takođe su naznačeni i vidovi loma.

Tabela 1 - Rezultati ispitivanja veza sa vijcima

Serija	Tip veze	t	e_1	Tip loma	F_u	F_m	s	V	F_k
		mm	mm		kN	kN	kN	%	kN
SBS2-1	Podvezice	2	20	Cepanje lima	27,40	27,85	0,42	1,51	26,74
					27,60				
					28,30				
					28,10				
SBS2-2	Podvezice	2	40	Neto presek	43,20	41,92	1,33	3,17	38,42
					42,80				
					40,30				
					41,40				
SBL2-1	Preklop	2	20	Krivljenje lima i probijanje glave vijka	23,50	24,03	0,36	1,50	23,08
					24,20				
					24,10				
					24,30				
SBL2-2	Preklop	2	40	Krivljenje lima i probijanje glave vijka	24,10	24,65	1,00	4,05	22,02
					23,90				
					26,10				
					24,50				
SBS4-1	Podvezice	4	20	Smicanje tela vijka	63,10	63,77	2,16	3,38	59,06
					63,10				
					60,30				
					63,80				
SBS4-2	Podvezice	4	40	Smicanje tela vijka	65,20	63,77	2,16	3,38	59,06
					64,30				
					66,60				
					63,70				
SBL4-1	Preklop	4	20	Smicanje tela vijka	37,30	37,28	0,64	1,71	35,89
					36,30				
					37,20				
					37,30				
SBL4-2	Preklop	4	40	Smicanje tela vijka	37,30	37,28	0,64	1,71	35,89
					37,20				
					38,30				
					37,40				

Kod limova debljine 4 mm do loma dolazi smicanjem vijaka, nezavisno od tipa veze i vrednosti krajnjeg rastojanja (slika 9). Površ loma je ravna i glatka, a deformacije su male i kreću se oko 3 mm, kod veza na preklop, odnosno oko 7 mm kod veza sa podvezicama.



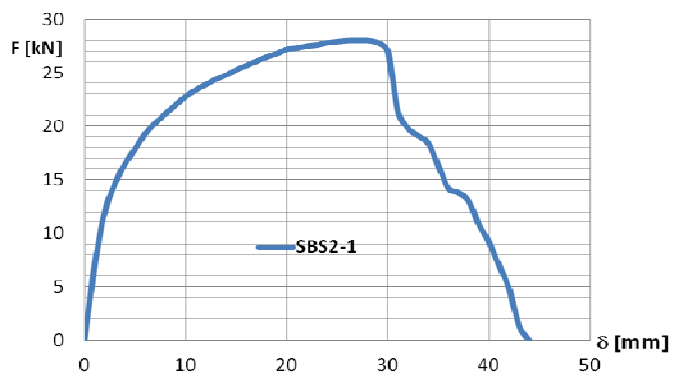
Slika 9 - Lom smicanjem vijaka kod veza na preklop i dijagram sila-deformacija $F-\delta$

Kod veza na preklop nema uočljivih deformacija u osnovnom materijalu, oblik rupa za vijke i nakon loma ostaje nepromenjen - kružan. Kako su kod veza sa podvezicama vijci dvosečni, naprezanje u osnovnom materijalu pri lomu je znatno veće, što dovodi do deformacije u zonama oko rupa za spojna sredstva, pa je ukupna deformabilnost veze veća. Zbog toga treba razmotriti i sile pri deformacijama od 3 mm (tabela 2). Osim toga, treba napomenuti da kod dvosečnih vijaka jedna ravan smicanja prolazi kroz deo tela vijka bez navoja, a druga kroz deo sa navojem, pa stoga nosivost dvosečnog vijka nije dvostruko veća od nosivosti jednosečnog, kod koga se smicanje vrši na delu tela bez navoja.

Kod limova debljine 2 mm do loma dolazi po osnovnom materijalu. U slučaju veza sa podvezicama javlja se lom cepanjem lima (slika 10) ili lom neto preseka (slika 11), dok se kod veza na preklop usled ekscentriciteta javlja lom krivljenjem i probijanjem glave vijka (slika 12). Svi pomenuti tipovi loma praćeni su izrazito velikim deformacijama, koje se kreću od 20 do skoro 70 mm. Stoga, kada je u pitanju lom po osnovnom materijalu posebno je važan podatak vrednost sile pri deformaciji od 3 mm.

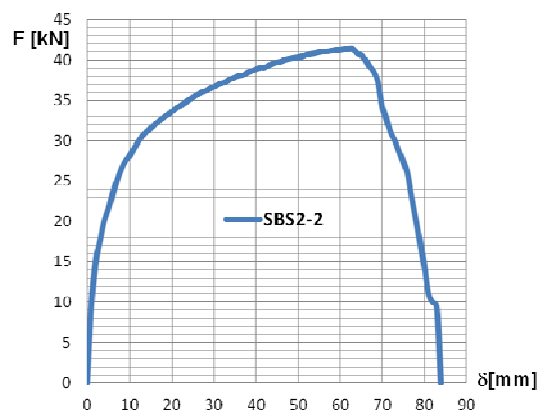
Tabela 2 - Srednje ($F_{ser,3,m}$) i karakteristične (F_k) vrednosti nosivosti vijaka na smicanje pri deformacijama od 3 mm

Serija	$F_{ser,3}$	δ_u	$F_{ser,3,m}$	s	V	F_k
	kN	mm				
SBS4-1 SBS4-2	50,00	9,7	48,30	3,26	6,76	41,18
	51,00	9,4				
	52,20	7,4				
	44,30	6,5				
	45,00	6,9				
	47,30	6,7				



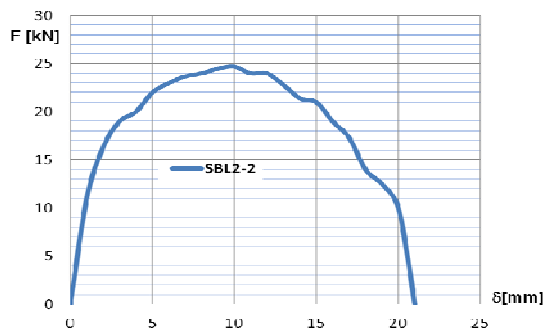
Slika 10 – Lom cepanjem lima

Do loma po neto poprečnom preseku je došlo kod uzoraka serije SBS2-2 kod koje je ivično rastojanje $e_1=40$ mm. Uočene su velike deformacije od 65 mm pri lomu, zbog plastifikacije čeličnog materijala (slika 11).



Slika 11 - Lom neto preseka

Kod svih ispitivanih uzoraka veza na preklop izrađenih od tankih limova ($t = 2$ mm), usled ekscentričnog naprezanja dolazi do krivljenja lima, rotacije vijaka, koji se okreću približno u pravcu delovanja sile zatezanja i konačno, posle značajnih deformacija do probijanja glave vijka kroz lim osnovnog materijala.



Slika 12 - Lom krivljenjem lima kod veza na preklop

Kada je ivično rastojanje prvog vijka dovoljno veliko onda se omogućava formiranje kompletne, približno kružne slike plastičnog proboja ispod glava vijaka (slika 13a). U slučaju malog ivičnog rastojanja, slika proboja se deformiše, jer nakon proboja dolazi do odvajanja (kidanja) dela osnovnog materijala između prve rupe i slobodne ivice elementa (slika 13b).



a) veliko krajnje rastojanje

b) malo krajnje rastojanje

Slika 13 – Probijanje glave vijka

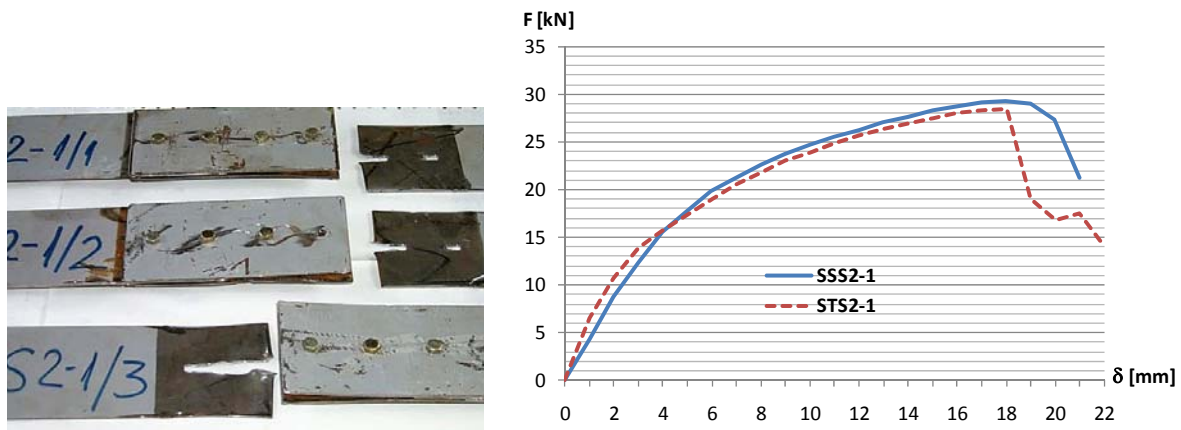
2.4 Smičući spojevi sa samonarezujućim vijcima - SS i ST

Ispitivanjem su obuhvaćeni samonarezujućiji vijci prečnika 6,3 mm koji se najčešće primenjuju. Broj ispitivanih uzoraka je dvostruko veći nego kod veza sa običnim vijcima. Ispitivane su dve grupe samonarezujućih vijaka (tip S i tip T) različitih proizvođača. Na ovaj način je povećan broj uzoraka i analizirana njihova nosivost. Ispostavilo se da je nosivost samonarezujućih vijaka oba ispitivana tipa veoma slična i da nema značajnih odstupanja u pogledu kvaliteta. Stoga su rezultati obe

ispitivane grupe samonarezujućih vijaka objedinjeni prilikom statističke analize podataka. U tabeli 3 su date granične vrednosti sila F_u za svaki uzorak, srednja vrednost F_m , standardna devijacija s , varijansa V i karakteristična vrednost F_k .

Tabela 3 - Rezultati ispitivanja veza sa samonarezujućim vijcima

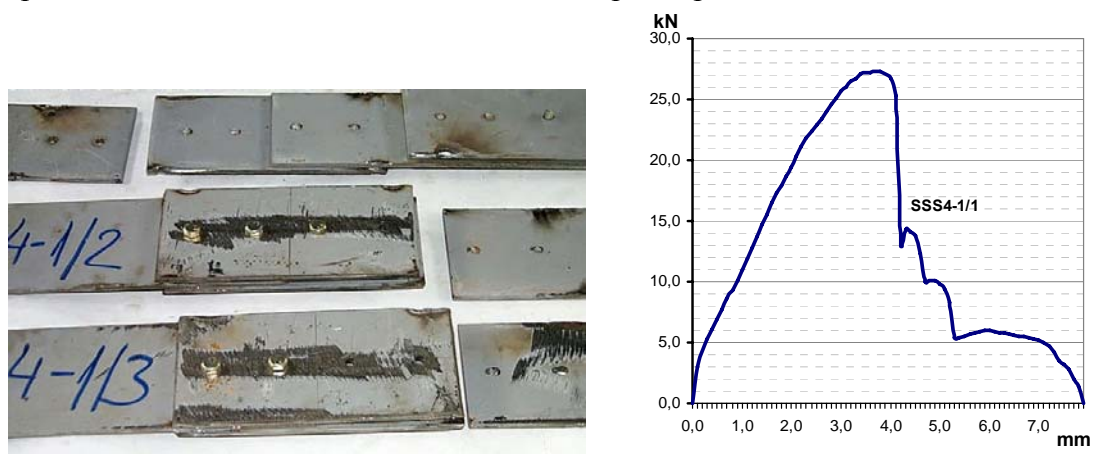
Serija	Tip veze	t	e_1	Tip loma	F_u	F_m	s	V	F_k				
		mm	mm		kN	kN	kN	%	kN				
SSS2-1	Podvezice	2	20	Cepanje lima	28,8	28,18	0,92	3,3	26,17				
					28,1								
					29,2								
STS2-1					26,5								
					28,2								
					28,3								
SSL2-1	Preklop	2	20	Smicanje tela vijka	13,6	12,97	0,78	6	11,68				
					13,3								
					12,5								
SSL2-2			40		14,3								
					13,1								
					15,3								
SSS4-1	Podvezice	4	20		27,40/2=13,70					12,97	0,78	6	11,68
STS4-1					26,10/2=23,05								
					27,20/2=13,60								
					24,70/2=12,35								
					24,40/2=12,20								
					22,00/2=11,00								
SSS4-2	Podvezice	4	40	29,10/2=14,55	12,97	0,78	6	11,68					
STS4-2				26,30/2=13,15									
				26,60/2=13,30									
				24,70/2=12,35									
				23,80/2=11,90									
				23,40/2=11,70									
SSL4-1	Preklop	4	20	11,8					12,97	0,78	6	11,68	
STL4-1				12,6									
				12,9									
				13,2									
				13,3									
				14,1									
SSL4-2	Preklop	4	40	13,5	12,97	0,78	6	11,68					
STL4-2				12,3									
				12									
				12,7									
				12,6									
				12,7									



Slika 14 – Lom cepanjem lima i poređenje F - δ dijagrama serija SSS2-1 i STS2-1

Kod serija uzoraka sa podvezicama i malim ivičnim rastojanjem koje su izrađene od limova debljine 2 mm (serije SSS2-1 i STS2-1) do loma dolazi cepanjem lima u ivičnoj zoni. Vrednosti graničnih sila su kod oba tipa vijaka vrlo slične. Na slici 14 prikazano je poređenje karakterističnih F - δ dijagrama serija SSS2-1 i STS2-1.

Kod limova debljine 4 mm nije došlo do loma cepanjem lima ni pri malim ivičnim rastojanjima (20 mm), već smicanjem samonarezujućih vijaka (slika 15). Kod veza sa podvezicama, vrednosti sile loma su približno dvostruko veće u odnosu na veze sa preklopom.

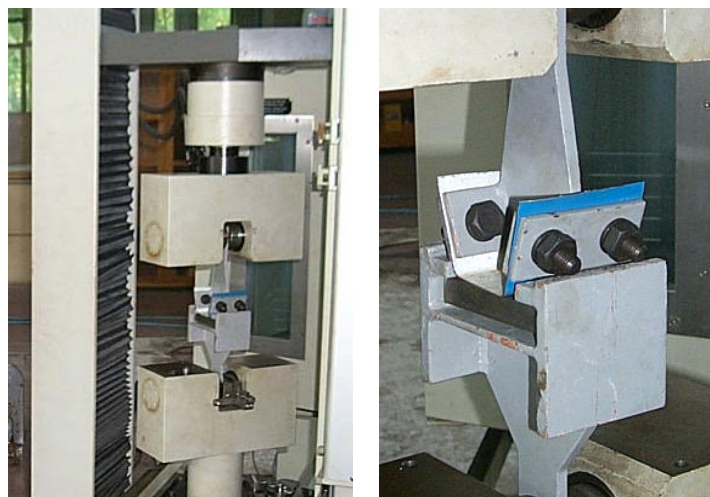


Slika 15 - Lom smicanjem samonarezujućih vijaka serije SSS4-1

Interesantno je ponašanje veza sa podvezicama koje su izrađene od lima debljine 2 mm, a kod kojih je ivično rastojanje 40 mm. Kod uzoraka ovih serija do loma dolazi smicanjem samonarezujućih vijaka uz značajne deformacije u zoni rupa za spojna sredstva.

2.5 Zatežuci spojevi sa samonarezujućim vijcima - TS

Da bi se upotpunila slika o ponašanju samonarezujućih vijaka u vezama tankozidnih čeličnih elemenata, izvršena su ispitivanja veza opterećenih na zatezanje. Imajući u vidu potencijalne vidove loma kod spojeva tankozidnih elemenata opterećenih na zatezanje, uzorci su osmišljeni tako da se mogu uočiti sva tri različita oblika loma. Ispitivanje je sprovedeno pomoću posebno konstruisanog alata (slika 16). Rezultati ispitivanja su prikazani u tabeli 4.

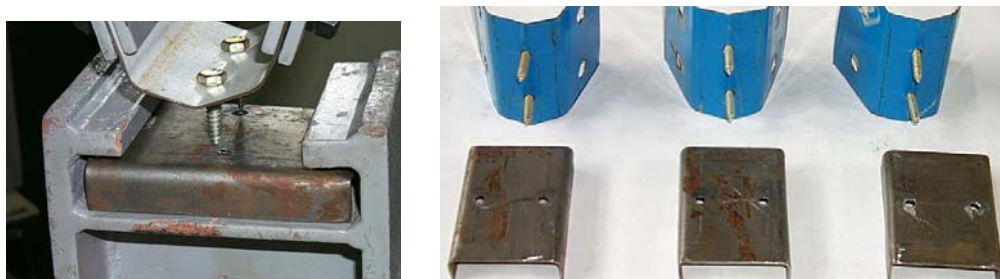


Slika 16 - Ispitivanje uzoraka u spojevima opterećenim na zatezanje

Tabela 4 - Rezultati ispitivanja veza opterećenih na zatezanje

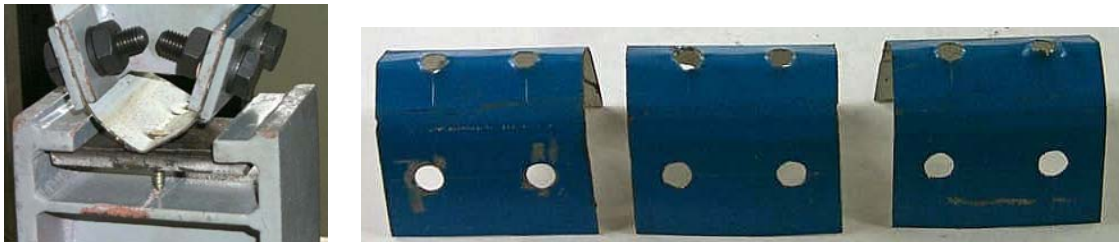
Serija	Tip loma	F_u	F_m	s	V
		kN	kN	kN	%
TS2	Čupanje vijka iz donjeg lima	3,9	4,83	0,83	17,23
		5,5			
		5,1			
TS10	Probijanje glave vijka kroz gornji lim	10,0	10,9	0,82	7,51
		11,6			
		11,1			
TS10k	Zatezanje vijka	23,5	23,6	0,66	2,78
		23,0			
		24,3			

Kod uzoraka serije TS2 zbog male debljine donjeg lima ($t_{sup} = 2$ mm) do loma dolazi čupanjem, odnosno izvlačenjem samonarezujućih vijaka iz donjeg, nosećeg lima (slika 17). Deformacije nastale pri ovakvom tipa loma većim delom su posledica fleksibilnosti gornjeg profilisanog lima.



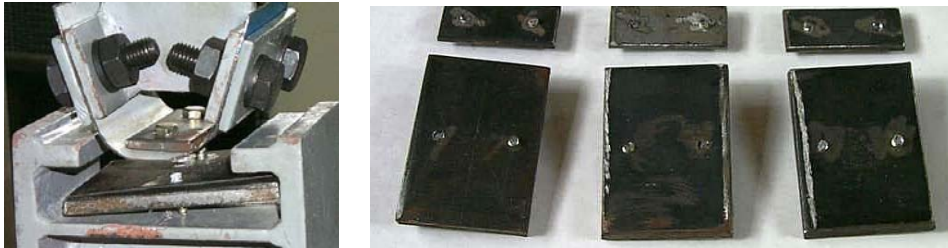
Slika 17 - Lom čupanjem samonarezujućih vijaka iz donjeg lima ($t=2$ mm)

Kada je donji, noseći lim velike debljine kao što je to kod uzoraka serije TS10 do loma dolazi probijanjem glave vijka (slika 18). Treba napomenuti da su ispitivanja izvršena bez podložnih pločica, pa je oblik loma približno jednak obliku glave vijka (šestougaoni).



Slika 18 - Lom probijanjem glave samonarezujućeg vijka kroz profilisani lim

Uzorci serije TS10k su koncipirani tako da do loma dođe upravo iscrpljenjem nosivosti vijaka na zatezanje (slika 19). Oni su dobijeni modifikacijom serije TS10 tako što je ispod glave vijka postavljena kontra pločica koja sprečava lom probijanjem ili provlačenjem.



Slika 19 - Lom samonarezujućih vijaka zatezanjem

3 ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA

3.1 Smičući spojevi sa vijcima

U tabeli 5 je prikazano poređenje karakterističnih vrednosti sila dobijenih eksperimentalnim putem sa karakterističnim vrednostima nosivosti veza određenim prema referentnim standardima [13] i [11], za svaki od potencijalnih vidova loma, uzimajući u obzir stvarne, merene karakteristike materijala.

Tabela 5 – Nosivost smičućih spojeva sa vijcima

Serija	Tip loma	F_k	$F_{k,EC3}$	$F_{k,AISI}$	$F_k/F_{k,EC3}$	$F_k/F_{k,AISI}$
		kN	kN	kN	-	-
SBS2-1	Cepanje lima	26,74	22,15	26,59	1,21	1,01
SBS2-2	Neto presek	38,42	41,88	47,19	0,92	0,81
SBL2-1	Krivljenje lima i probijanje glave vijka	23,08	22,15	20,16	1,04	1,14
SBL2-2		22,02	26,58	20,16	0,83	1,06
SBS4-1	Smicanje tela vijka	59,06	64,92	57,51	0,91	1,03
SBS4-2						
SBL4-1		35,89	37,57	33,24	0,95	1,08
SBL4-1						
EN 1993-1-3			AISI			
Nosivost na smicanje $F_{k,EC3} = 0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_s$ (1)			Nosivost na smicanje $F_{k,AISI} = A_b \cdot F_n$ (4)			
Nosivost na pritisak po omotaču rupe $F_{k,EC3} = 2,5 \cdot \alpha_b \cdot k_r \cdot f_u \cdot d \cdot t$ (2)			Nosivost na gnječenje lima $F_{k,AISI} = C \cdot m_f \cdot d \cdot t \cdot f_u$ (5)			
Nosivost neto preseka $F_{k,EC3} = (1 + 3 \cdot r \cdot (d_0 / u - 0,3)) \cdot A_{net} \cdot f_u$ (3)			Nosivost na cepanje lima $F_{k,AISI} = t \cdot e \cdot f_u$ (6)			
			Nosivost neto preseka $F_{k,AISI} = A_n \cdot f_u$ (7)			

Kod svih uzoraka sa limovima debljine 4 mm do loma dolazi smicanjem tela vijaka. Prema EN 1993-1-3 [13], proračunska nosivost vijka na smicanje se određuje na isti način kao i u slučaju klasičnih čeličnih konstrukcija prema izrazu (1) datom u tabeli 5, gde je A_s površina ispitnog preseka, a f_{ub} zatezna čvrstoća materijala vijka. Obzirom da se radi o dobro poznatom fenomenu i da su vijci visoko standardizovani, odstupanja rezultata ispitivanja u odnosu na karakteristične vrednosti dobijene proračunom su relativno mala i kreću se u granicama od 3-9%.

Kod limova debljine 2 mm do loma dolazi po osnovnom materijalu. Kod veza sa podvezicama i malim krajnjim rastojanjem - e_1 (SBS2-1) javlja se lom usled cepanja lima (slika 10). Ovaj tip loma nastaje cepanjem osnovnog materijala po dve bliske, približno paralelne ravni koje se formiraju u pravcu delovanja sile u elementu. Cepanje počinje u krajnjim zonama prve rupe i propagira sve do slobodne ivice elementa. Početak ravni smicanja nalazi se negde između sredine rupe i njene spoljašnje ivice. Do gnječenja omotača rupe dolazi usled koncentracije napona na mestu kontakta između tela vijka i osnovnog materijala. U ovoj relativno uskoj zoni usled poremećaja ravnomernog toka sila dolazi do koncentracije napona. Daljim povećanjem opterećenja ove zone se plastifikuju i deformišu - cepaju.

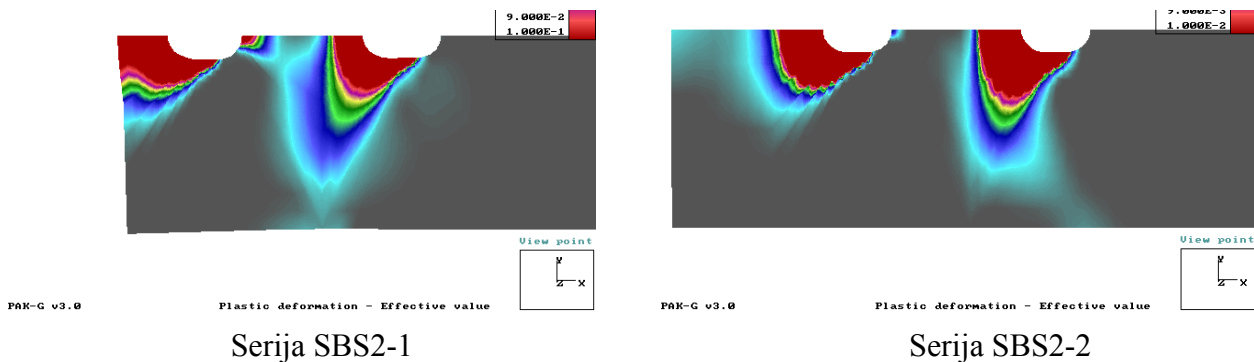
Ispitivanja kod limova izrazito male debljine [4] pokazala su da do loma dolazi gužvanjem lima ispred vijka. Moguća je i pojava prslina na ivicama zgužvanog lima koje propagiraju do slobodne ivice lima dijagonalno, ili u pravcu upravnom na pravac sile (slika 20).



Slika 20 – Lom gnječenjem lima u zoni rupe

Nosivost lima na cepanje u zoni krajnjih vijaka zavisi od ivičnog rastojanja, debljine lima i kvaliteta osnovnog materijala, dok je nosivost na gnječenje omotača rupe, koje se manifestuje gužvanjem lima u zoni ispred vijka, u funkciji prečnika vijka, debljine lima i njegove čvrstoće na zatezanje. Uočava se da u oba slučaja figurišu debljina lima i čvrstoća na zatezanje kao zajednički parametri od značaja za određivanje nosivosti. Treba primetiti i da nosivost na cepanje lima ne zavisi bitno od prečnika vijka, kao i da nosivost na gnječenje omotača rupe ne zavisi od vrednosti krajnjeg rastojanja. Odnos ove dve veličine treba da se odredi tako da nosivosti na cepanje i gnječenje omotača rupe budu približno jednake.

U EC3 [13] lom cepanjem lima i lom gnječenjem omotača rupe integrisani su u zajednički tip loma koji se naziva lom pritiskom po omotaču rupe. Gnječenje omotača rupe zapravo nije pravi lom već samo početna faza u kojoj dolazi do lokalne plastifikacije osnovnog materijala u zonama kontakta sa vijkom praćenog značajnim izduženjem rupe, ali do pravog, formalnog loma dolazi, ili cepanjem lima u krajnjoj zoni, ili krivljenjem lima i probijanjem glave vijka. Prema EN 1993-1-3 [13] proračunska nosivost vijka na pritisak po omotaču rupe određuje se na osnovu izraza (2) datog u tabeli 5, gde koeficijent α_b zavisi od odnosa krajnjeg rastojanja i prečnika vijka ($\alpha_b = \min(1; e_1/3d)$), a koeficijent k_t obuhvata pomenute specifičnosti izuzetno tankih limova, i za limove deblje od 1,25 mm je jednak jedinici. AISI [11], razdvaja ova dva fenomena. Posebno daje izraz za lom usled gnječenja omotača rupe, u funkciji debljine lima, prečnika vijka i primene podloške ispod glave i navrtke, a posebno za lom usled cepanja lima, u funkciji ivičnog rastojanja vijka i debljine lima. Takođe pruža mogućnost obuhvatanja uticaja podloške na nosivost spoja. Pretpostavlja se da je zbog toga dobijeno bolje poklapanje eksperimentalnih rezultata sa karakterističnim vrednostima nosivosti dobijenim prema AISI (razlika samo 1%), nego prema EC3 koji daje znatno konzervativniju vrednost (razlika je 21%).



Slika 21 - Dijagrami plastičnih deformacija kod veza sa limovima debljine 2 mm

Nelinearna numerička analiza sa stvarnim karakteristikama osnovnog materijala sprovedena je kako bi se potvrdili eksperimentalni rezultati i analizirao uticaj krajnjeg rastojanja e_1 na vrstu loma. Modelirane su serije SBS2-1 i SBS2-2 sa krajnjim rastojanjima od 20 mm i 40 mm, respektivno. Na slici 21 prikazani su dijagrami plastičnih deformacija sa kojih se može uočiti da u slučaju malog krajnjeg rastojanja ($e_1=20$ mm) do loma dolazi cepanjem lima, dok se kod modela sa većim ivičnim rastojanjem očekuje lom gnječanjem omotača rupe ili lom neto preseka.

Bez obzira na veličinu ivičnog rastojanja, kod veza na preklop izrađenih od čeličnih limova debljine 2 mm usled ekscentričnog naprezanja dolazi do loma krivljenjem lima (*inclination failure*) praćenog probijanjem glave vijka kroz osnovni materijal. Do probijanja vijka dolazi po pravilu ispod šestouglaone glave i to postepeno, tako što jedno po jedno teme glave vijka probija, relativno tanak lim. Deformacije se progresivno šire, a pri samom lomu vijci su okrenuti za skoro 90° u odnosu na prvobitni položaj. Slični oblici loma uočeni su i kod drugih autora [8] pri ispitivanju veza na preklop sa limovima male debljine.

Može se zaključiti da kod tankih limova i mali ekscentriciteti imaju bitan uticaj na ponašanje spojeva sa preklopom. To je posledica male fleksione krutosti ovih limova. Mehanizmi loma su komplikovani i teški za numeričko modeliranje, pa uporište u proračunu treba potražiti u postojećim propisima. Poređenjem eksperimentalnih rezultata sa karakterističnim vrednostima nosivosti dobijenim na osnovu postojećih standarda (tabela 5) uočavaju se odstupanja od 4 do 17%, koja se, imajući u vidu složenost fenomena, mogu smatrati prihvatljivim.

Do loma neto preseka dolazi kada su ivična rastojanja vijaka dovoljno velika tako da se ne može ostvariti lom cepanjem osnovnog materijala i kada je širina lima relativno mala. Lom neto preseka je po pravilu praćen kontrakcijom preseka. Karakterističan je za veze sa malom debljinom i nižim kvalitetom čelika osnovnog materijala. U slučaju limova malih debljina često je praćen deformacijama gnječanja i gužvanja lima u zoni rupa [3], dok se u slučaju veza na preklop može uočiti i krivljenje usled ekscentriciteta [8].

Karakteristična nosivost neto preseka kod tankozidnih elemenata (prema EN 1993-1-3) se razlikuje u odnosu na klasične čelične konstrukcije (EN 1993-1-1) i zavisi od broja vijaka u preseku i ukupnog broja vijaka, od širine lima i vrednosti krajnjeg rastojanja i određuje se na osnovu izraza (3) iz tabele 5, gde je r odnos broja vijaka u jednom redu i ukupnog broja vijaka u vezi, a $u = 2e_2$ ali ne veće od p_2 . Poređenjem rezultata ispitivanja sa vrednošću dobijenom prema EC3, izrazu (3), uočava se razlika od 8%, dok su odstupanja u odnosu na AISI čak 19%.

3.2 Smičući spojevi sa samonarezujućim vijcima

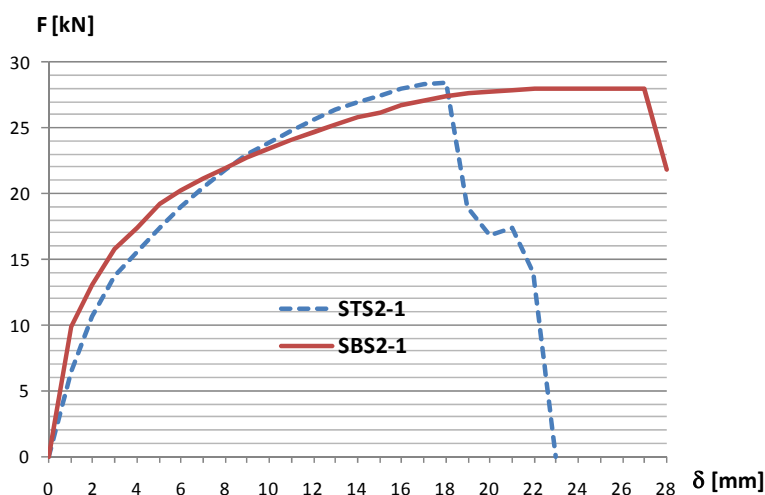
Kod smičućih spojeva sa samonarezujućim vijcima uočena su dva tipa loma: cepanje lima i smicanje samonarezujućih vijaka. Treba istaći da je lom smicanjem vijaka prisutan u većem broju uzoraka, što je omogućilo znatno veći broj podataka za statističku obradu, čime se povećava pouzdanost dobijenih rezultata. U tabeli 6 je prikazano poređenje karakterističnih vrednosti sila koje su dobijene eksperimentalnim putem sa karakterističnim vrednostima nosivosti određenim prema [13] i [11] za lom cepanjem lima.

Dobijene vrednosti granične nosivosti lima na cepanje kod spojeva sa samonarezujućim vijcima su približno jednake vrednostima dobijenim kod ekvivalentnih spojeva sa običnim vijcima (slika 22). Naime, karakteristična vrednost granične sile cepanja lima kod veza sa vijcima iznosi 26,74 kN (tabela 5), dok je kod samonarezujućih vijaka ona neznatno manja i iznosi 26,17 kN (tabela 6). Dakle, razlika je samo 0,57 kN odnosno oko 2%.

Tabela 6 – Nosivosti smičućih spojeva sa samonarezujućim vijcima

Serija	Tip loma	F_k kN	$F_{k,EC3}$	$F_{k,AISI}$	$F_k/F_{k,EC3}$	$F_k/F_{k,AISI}$
			kN	kN		
SSS2-1 STS2-1	Cepanje lima	26,17	30,20	39,63	1,15	1,51
EN 1993-1-3			AISI			
Nosivost na pritisak po omotaču rupe $F_{k,EC3} = \alpha \cdot d \cdot t \cdot f_u$ (8)			Nosivost na pritisak po omotaču rupe $F_{k,AISI} = 4,2 \cdot \sqrt{t_2^3} \cdot d \cdot f_{u2}$ (9)			

To ukazuje na bitnu činjenicu da nosivost lima na cepanje praktično ne zavisi od veličine i tipa spojnog sredstva. Takođe se može konstatovati da je granična deformacija približno jednaka veličini ivičnog rastojanja e_l , kao što je bio slučaj i kod spojeva sa običnim vijcima.



Slika 22 - Poređenje F-δ dijagrama serija SBS2-1 i STS2-1

Rezultati ispitivanja su za oko 15% veći od karakteristične nosivosti prema EC3, dok je razlika u odnosu na AISI čak 51% što ukazuje da su izrazi dati u ovom standardu prilično konzervativni (tabela 6).

Ni evropski ni američki propisi ne daju preporuke za određivanje nosivosti samonarezujućih vijaka na smicanje, već preporučuju eksperimentalno određivanje. Karakteristična vrednost nosivosti samonarezujućeg vijka na smicanje kod ispitivanih uzoraka jednaka je polovini karakteristične vrednosti nosivosti spoja, s obzirom da su spojevi ostvareni sa po dva samonarezujuća vijka i da se je njihov udeo u nosivosti veze podjednak. Prema tome, karakteristična vrednost nosivosti na smicanje ispitivanih samonarezujućih vijaka prečnika 6,3 mm po jednoj smičućoj ravni je: $11,68/2=5,84$ kN.

3.3 Zatežuci spojevi sa samonarezujućim vijcima

Poređenje nosivosti samonarezujućih vijaka u zatežućim spojevima sa karakterističnim nosivostima određenim na osnovu propisa [13] i [11] prikazano je u tabeli 7, za lom čupanjem (izvlačenjem)

vijka iz donjeg lima (serija TS2) i lom probijanjem glave vijka (serija TS10), za koje postoje preporuke.

Tabela 7 – Nosivosti veza sa samonarezujućim vijcima u zatežućim spojevima

Serija	Tip loma	F_m	$F_{m,EC3}$	$F_{m,AISI}$	$F_m/F_{m,EC3}$	$F_m/F_{m,AISI}$
		kN	kN	kN		
TS2	Čupanje vijka iz donjeg lima	4,83	5,44	7,12	0,89	0,68
TS10	Probijanje glave vijka kroz gornji lim	10,9	8,25	12,38	1,32	0,88
EN 1993-1-3			AISI			
Nosivost na čupanje lima $F_{m,EC3} = 0,65 \cdot d \cdot t_{sup} \cdot f_{u,sup}$ (10)			Nosivost na čupanje lima $F_{m,AISI} = 0,85 \cdot d \cdot t_c \cdot f_{u2}$ (12)			
Nosivost na probijanje glave vijka $F_{m,EC3} = 0,65 \cdot d \cdot t_{sup} \cdot f_{u,sup}$ (11)			Nosivost na probijanje glave vijka $F_{m,AISI} = 1,5 \cdot d_w \cdot t_1 \cdot f_{u1}$ (13)			

Kod uzoraka serije TS2 zbog male debljine donjeg lima ($t_{sup} = 2$ mm) do loma dolazi čupanjem, odnosno izvlačenjem samonarezujućih vijaka iz donjeg lima. Deformacije nastale pri ovakvom tipu loma posledica su pre svega fleksibilnosti gornjeg profilisanog lima. Nasuprot gornjem limu, donji lim u koji su urezani samonarezujućiji vijci ima male, jedva uočljive deformacije u vidu ispupčenja. Do loma, dakle dolazi, razaranjem navoja urezanog u donji, noseći lim. Pri lomu su jasno uočeni metalni opiljci koji su "iščupani" iz donjeg lima debljine 2 mm. S obzirom na tvrdoću površinskih slojeva materijala od koga su izrađeni samonarezujućiji vijci, njihovi navoji su ostali neoštećeni.

Nosivost zavisi od prečnika vijka d , debljine donjeg, nosećeg lima t_{sup} i čvrstoće na zatezanje materijala od koga je izrađen $f_{u,sup}$. Takođe treba pomenuti da je propisana minimalna debljina donjeg lima kod veza sa samonarezujućim vijcima opterećenim na zatezanje koja je data u EC3 [13] veoma mala ($t_1 > 0,9$ mm), te da je treba uzeti sa rezervom. Prema mišljenju autora, minimalna debljina donjeg lima u koji se urezuje vijak t_{sup} trebalo bi da bude u funkciji prečnika samonarezujućeg vijka, odnosno hoda navoja. Dobijene karakteristične vrednosti nosivosti za ovaj tip loma su manje u odnosu na preporuke EC3 za 11%, što je najverovatnije posledica nepovoljnog odnosa debljine donjeg, nosećeg lima i hoda navoja samonarezujućeg vijka. Pravilnim konstruisanjem spoja treba izbeći da lom čupanjem vijka bude merodavan pri dimenzionisanju na zatezanje, što se postiže nešto većom debljinom donjeg lima. Međutim, debljina gornjeg lima je po pravilu mala, jer se samonarezujućiji vijci uglavnom primenjuju za pričvršćivanje krovne i fasadne obloge čija je debljina uvek mala ($t \leq 1$ mm), pa je probijanje ili provlačenje najčešće merodavan vid loma. Nosivost na probijanje odnosno provlačenje glave kod veza sa samonarezujućim vijcima zavisi od debljine gornjeg lima i njegovih mehaničkih karakteristika, kao i od veličine glave vijka, odnosno prečnika podloške d_w , ukoliko je ima. Da li će doći do probijanja glave vijka ili do njenog provlačenja kroz gornji lim zavisi od odnosa prečnika podloške i prečnika vijka d_w/d . Kada je ovaj odnos veći dolazi do provlačenja, a u suprotnom, što je češći slučaj, dolazi do probijanja glave vijka kroz gornji lim.

Treba napomenuti da su ispitivanja izvršena bez podložnih pločica, pa je oblik loma približno jednak obliku glave vijka.

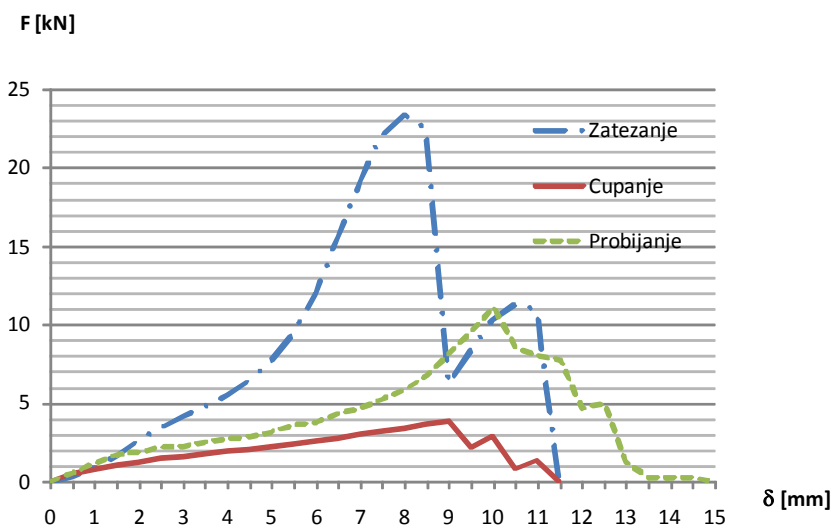
Nosivost samonarezujućih vijaka na zatezanje nije obuhvaćena standardima, a određena je ispitivanjem uzoraka serije TS10k kod kojih su sprečeni ostali vidovi loma. Pored ukupne, maksimalne nosivosti spoja na zatezanje, sa F - δ dijagrama se može očitati i nosivost jednog vijka. Naime, pri dostizanju maksimalne vrednosti sile dolazi do loma jednog samonarezujućeg vijka koji je usled neizbežne, male asimetrije više opterećen. Nakon toga, posle naglog pada sile, ona ponovo

počinje da raste i dostiže nivo pri kome se iscrpljuje nosivost na zatezanje i drugog vijka (slika 23). Na osnovu toga se može odrediti nosivost svakog pojedinačnog samonarezujućeg vijka u spoju (tabela 8). Na ovaj način se na osnovu tri ispitana uzorka dobijaju podaci o nosivosti šest samonarezujućih vijaka. Statističkom obradom rezultata ispitivanja (tabela 8) dobijaju se srednja i karakteristična vrednost nosivosti samonarezujućih vijaka na zatezanje. Poređenjem karakterističnih vrednosti nosivosti samonarezujućih vijaka na smicanje (5,84 kN) i na zatezanje (10,53 kN) može se utvrditi odnos između čvrstoće na zatezanje i čvrstoće na smicanje ($10,53/5,84=0,541$).

Tabela 8 - Karakteristične vrednosti F_k nosivosti samonarezujućih vijaka na zatezanje

Serija	F_u	F_m	s	V	F_k
	kN				
TS10k	11,30	11,80	0,58	4,94	10,53
	$23,50-11,30=12,20$				
	12,80				
	$24,30-12,80=11,50$				
	11,40				
	$23,00-11,40=11,60$				

Uporedna analiza različitih tipova loma kod ispitivanih uzoraka (slika 23) ukazuje na velike razlike u pogledu nosivosti spojeva. Izborom pravilne debljine donjeg lima u funkciji prečnika vijka može se postići da nosivost na čupanje bude veća od nosivosti na probijanje. Dakle, realno je očekivati da kod ovakvih tipova veza nosivost na probijanje glave vijka bude merodavna. Ona se dodatno može povećati postavljenjem podloški.



Slika 23 - Poređenje F-δ dijagrama za različite tipove loma

4 ZAKLJUČAK

Istraživanja smičućih i zatežućih spojeva prezentovana u ovom radu potvrđuju vidove loma koji se očekuju kod tankozidnih čeličnih elemenata. Može se konstatovati da se kod spojeva sa običnim i samonarezujućim vijcima javljaju slični vidovi loma. Kao važan zaključak može se navesti da je nosivost na cepanje lima kod smičućih spojeva približno ista u slučaju običnih i samonarezujućih vijaka i da dominantno zavisi od vrednosti krajnjeg rastojanja e_1 . Takođe se može reći da je ispitivanjima opravdana primena vijaka manjih prečnika kod tankozidnih čeličnih elemenata. Iako su ispitivanja sprovedena sa vijcima M8 koji su manji od konvencionalno minimalnih za klasične čelične konstrukcije u zgradarstvu (M12), kod limova debljine 2 mm svi lomovi su nastali po osnovnom materijalu, što znači da vijak nije iskorišćen. Dakle, primena vijaka manjeg prečnika kod

tankozidnih čeličnih elemenata kao što su rožnjače, fasadne rigle i drugi sekundarni elementi ima potpunu ekonomsku opravdanost. Spojewe na preklop treba izbegavati jer usled malog ekscentriciteta dolazi do značajnih deformacija krivljenja koje dovode do specifičnog vida loma krivljenjem lima i probijanjem glave vijaka, što za posledicu ima smanjenje nosivosti i nelinearno ponašanje spoja. Smičući spojevi sa samonarezujućim vijcima, generalno imaju manju nosivost u odnosu na spojeve sa vijcima. Savremeni propisi za proračun EN 1993-1-3 i ANSI 2001 ne daju preporuke za proračun nosivosti samonarezujućih vijaka na smicanje i zatezanje, već upućuju na eksperimentalna ispitivanja. U okviru ispitivanja prezentovanih u ovom radu određene su karakteristične vrednosti nosivosti samonarezujućih vijaka nazivnog prečnika 6,3 mm na smicanje i zatezanje. Ovako određene nosivosti se pri projektovanju mogu koristiti samo kao indikativne. Za veću primenu samonarezujućih vijaka neophodno je da proizvođači, na osnovu većih serija ispitivanja, deklarišu karakteristične ili proračunske nosivosti samonarezujućih vijaka na smicanje i zatezanje. Na ovaj način će se otvoriti vrata za širu primenu samonarezujućih vijaka i to ne samo za spojeve krovnih pokrivača i fasadnih obloga već i za veze elemenata sekundarnih delova čeličnih konstrukcija. Rezultati ispitivanja se, u većoj ili manjoj meri, a u zavisnosti od tipa loma, poklapaju sa rezultatima dobijenim proračunom prema EN1993-1-3, odnosno AISI 2001, što je detaljno elaborirano u radu. Odstupanja su veća u slučajevima složenijih i manje ispitanih mehanizama loma, što ukazuje na pravac budućih istraživanja.

5 LITERATURA

- [1] Winter, G., *Tests on Bolted Connections in Light Gage Steel*, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 82 (1956) No. ST2, pp. 920-1 - 920-25.
- [2] Zadanfarrokh, F., Bryan, ER.: *Testing and design of bolted connections in cold formed steel sections*, Proceedings of Eleventh International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures (1992), St. Louis, Missouri.
- [3] Rogers, C.A., Hancock, G.J.: *Failure modes of Bolted Sheet Steel Connections Loaded in Shear*, Research Report No. R772 (1998), Centre for Advanced Structural Engineering, University of Sydney, Sydney, NSW, Australia.
- [4] Rogers, C.A., Hancock, G.J.: *Bolted Connection Tests of Thin G550 and G300 Sheet Steels*, Research Report No. R749 (1997), Centre for Advanced Structural Engineering, University of Sydney, Sydney, NSW, Australia.
- [5] Rogers, C.A., Hancock, G.J.: *New Bolted Connection Design Formulae for G550 and G300 Sheet Steels Less Than 1.0 mm Thick*, Research Report No. R769 (1998), Centre for Advanced Structural Engineering, University of Sydney, Sydney, NSW, Australia.
- [6] Rogers, C.A., Hancock, G.J.: *Screwed Connection Tests of Thin G550 and G300 Sheet Steels*, Research Report No. R761 (1997), Centre for Advanced Structural Engineering, University of Sydney, Sydney, NSW, Australia.
- [7] Wallace, J.A., Schuster, R.M, LaBoube, R.A.: *Calibrations of bolted coldformed steel connections in bearing (with and without washers)*, Final report (2001a), Washington, DC: American Iron and Steel Institute.
- [8] Toma A.W., Nicolaas T.: *Design Tools and New Applications of Cold-Formed Steel in Buildings*, Final report of WP 2.2 New connection methods (2000), TNO.
- [9] Pekoz T.: *Design of Cold-Formed Steel Screw Connections*, Tenth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures (1990), St. Louis: Wei-Wen Yu Center for Cold-Formed Steel Structures, pp. 575-587
- [10] Babalola, M.R., LaBoube, R.A.: *Strength of screw connections subject to shear forece*, Final Report (2004), Wei-Wen Yu Center for Cold-Formed Steel Structures. Rolla, MO.
- [11] American Iron and Steel Institute: *North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*, (2001), NASPEC 2001, Washington D.C.: AISI.
- [12] Francka R.M., LaBoube R.A.: *Screw connections subject to tension pull-out and shear*, Final Report (2009), Wei-Wen Yu Center for Cold-Formed Steel Structures. Rolla, MO.
- [13] EN 1993-1-3:2005: *Design of steel structures – Part 1.1: Supplementary rules for cold formed thin gauge members and sheeting*, European Committee for Standardization, October, 2006.