

Primljen / Received: 28.7.2019.

Ispravljen / Corrected: 16.12.2019.

Prihvaćen / Accepted: 7.1.2020.

Dostupno online / Available online: 10.6.2020.

Eksperimentalno istraživanje spojeva od šupljih profila pri udarnom opterećenju

Autori:

Izv.prof.dr.sc. **R. Tuğrul Erdem**, dipl.ing.građ.tugrul.erdem@cbu.edu.tr

Autor za korespondenciju

Doc.dr.sc. **Erkan Kantar**, dipl.ing.građ.erkan.kantar@cbu.edu.trIzv.prof.dr.sc. **Engin Gucuyen**, dipl.ing.građ.engin.gucuyen@cbu.edu.tr**M. Berker Alicioğlu**, dipl.ing.građ.151291001@ogr.cbu.edu.trSveučilište Manisa Celal Bayar, Turska
Odjel za građevinarstvo

Prethodno priopćenje

R. Tuğrul Erdem, Erkan Kantar, Engin Gücüyen, M. Berker Alicioğlu

Eksperimentalno istraživanje spojeva od šupljih profila pri udarnom opterećenju

U ovom se radu analizira udarna otpornost čeličnih profila s četiri različite vrste priključaka. Za te je potrebe razvijeno ispitivanje uređajem s padajućim teretom. Ispitivanja otpornosti na udarno opterećenje provedena su za dvije razine energije. Izrađeni su i prikazani dijagrami ubrzanja i vremena, pomaka i vremena, udarnog opterećenja u vremenu te odnosa udarnog opterećenja i pomaka. Utvrđeno je da na ponašanje uzoraka utječe vrsta priključka i nanosena udarna energija. Do sloma oštećenjem dolazi ranije kod niže krutosti uzoraka te pri nanošenju više razine udarne energije.

Ključne riječi:

razvoj oštećenja, razina energije, utjecaj udara, vrsta priključka, izvedba pokusa

Research paper

R. Tuğrul Erdem, Erkan Kantar, Engin Gücüyen, M. Berker Alicioğlu

Experimental study on hollow section joints under impact loading

Steel sections with four different joint types, subjected to sudden impact, are investigated in this study. A drop weight test setup was developed for this purpose. Impact tests were performed for two different energy levels. Acceleration-time, displacement-time, impact load-time, and impact load-displacement graphs were developed and presented. It was established that the behaviour of test specimens is affected by joint types and impact energy applied. Failure damage situation occurs earlier when rigidity of specimens decreases and when higher level of impact energy is applied.

Key words:

damage development, energy level, impact effect, joint type, test setup

Vorherige Mitteilung

R. Tuğrul Erdem, Erkan Kantar, Engin Gücüyen, M. Berker Alicioğlu

Experimentelle Untersuchung von Verbindungen aus Hohlprofilen bei Stoßbelastung

In dieser Abhandlung wird die Schlagfestigkeit der Stahlprofile mit vier unterschiedlichen Verbindungsarten analysiert. Zu diesem Zweck wurde ein Dropdown-Gerätetst entwickelt. Der Festigkeitstest auf Schlagbelastung wurde für zwei Energieniveaus durchgeführt. Ausgearbeitet und dargestellt werden Diagramme der Beschleunigung und der Zeit, der Verschiebung und Zeit, der Schlagbelastung in der Zeit sowie das Verhältnis der Schlagbelastung und der Verschiebung. Festgestellt wurde, dass das Verhalten der Proben von der Verbindungsart und der zugefügten Schlagenergie beeinflusst wird. Das Versagen durch Beschädigung tritt bei geringerer Probesteifigkeit früher auf sowie bei höherem Schlagenergieniveau.

Schlüsselwörter:

Entwicklung von Beschädigung, Energieniveau, Schlagauswirkung, Verbindungsart, Durchführung von Experimenten

1. Uvod

Razvoj tehnologije i znanosti o materijalima omogućio je ostvarivanje značajnih postignuća u području građevinarstva. Spoznaje o prednostima i nedostacima građevnih materijala iznimno su značajne za njihovu ispravnu upotrebu. Konstrukcijski se čelik smatra homogenim i izotropnim materijalom. Osim toga, korisna karakteristika čelika je i njegova duktilnost te se stoga može koristiti za plastični proračun. Čelik se odlikuje i nekim drugim značajnim svojstvima kao što su izražena vlačna čvrstoća, trajnost i mala težina. Čelične su konstrukcije dakle lakše od tradicionalnih armiranobetonskih konstrukcija te stoga predstavljaju optimalno rješenje u pogledu seizmičkog opterećenja i slijevanja tla.

Čelični konstrukcijski elementi proizvode se u tvorničkim uvjetima, a montaža se često provodi na gradilištu. Ti elementi nisu podložni negativnim utjecajima vremena, a i brzo se mogu montirati. Osim toga, konstrukcijski se elementi mogu jednostavno pojačati ili zamijeniti. Oni se mogu demontirati i upotrijebiti u nekoj drugoj konstrukciji bez ikakvih gubitaka. Zbog tako povoljnih općih svojstava, može se ustvrditi da konstrukcijski čelik ima određene prednosti u odnosu na ostale materijala kojima se koristimo u građevinarstvu.

Čelični se priključci obično sastoje od vijaka, zavara i pločica, a služe za spajanje elemenata od kojih se sastoji konstrukcija. Ti priključci također omogućuju prijenos opterećenja između pojedinih elemenata. S obzirom na važnu ulogu priključaka u čeličnoj konstrukciji, treba u fazi proizvodnje obratiti posebnu pažnju na kvalitetu njihove izrade.

Čelik se upotrebljava u izradi brojnih konstrukcija kao što su neboderi, industrijske građevine, mostovi, pješački mostovi, tornjevi itd. Dakle, te se konstrukcije koriste u raznovrsnim područjima ljudske aktivnosti. Tijekom predviđenog njihovog trajanja, na te konstrukcije djeluju brojne kombinacije opterećenja. Utjecaj statičkog opterećenja na takve konstrukcije je trajan. S druge strane, dinamička opterećenja javljaju se iznenada i djeluju na konstrukciju u vrlo kratkom vremenu.

Udarne opterećenje je naglo dinamičko opterećenje čije djelovanje može biti snažnije od djelovanja do kojeg dolazi pri drugim vrstama opterećenja. Do udarnog djelovanja dolazi u trenutku sudara. Dakle, u tome su trenutku elementi podvrgnuti djelovanju vrlo visokih vrijednosti naprezanja. Tipični primjeri sudara su nagla eksplozija, snažan vjetar, prometni sudar, udar projektila, odron kamenja, pad predmeta s dizalice i sl. Zbog toga se opterećenje udarom treba uzeti u obzir u odgovarajućim okolnostima [1].

Pregledom literature može se uočiti da se udarno ponašanje čeličnih elemenata obrađuje u vrlo malom broju studija [2-7]. Tako su npr. Zeinoddini i dr. proveli numeričku simulaciju udarnih ispitivanja. Bambach i dr. izvjestili su o udarnom ponašanju čeličnih profila pri niskim brzinama. Wang i dr. analizirali su eksperimentalno i numeričko ponašanje čeličnih cijevi ispunjenih betonom (eng. *concrete filled steel tubular* - CFST). Kidd i dr. proveli su numeričku analizu kako bi potvrdili eksperimentalne rezultate

ispitivanja čeličnih priključaka dobivene tijekom ispitivanja udarnim utegom. Fras i dr. ispitivali su složenost uvjeta udara te utjecaj tih uvjeta na slom visokovrijednog čelika. Zhu i dr. razvili su ispitni uređaj kojim su numerički i eksperimentalno analizirali ponašanje CFST stupova i priključaka. Istraživači su suglasni u tome da je ispitivanje udarne izdržljivosti padajućim teretom najbolji način za provođenje udarnih ispitivanja. U skladu s tim razvijena su brojna ispitivanja u svrhu određivanja ponašanja različitih materijala i konstrukcijskih elemenata u slučaju udarnog opterećenja [8-11]. Osim toga, u tu su svrhu korišteni i različiti ispitni uređaji za obavljanje mjerenja, i to upravo na onim mjestima na kojima dolazi do udarnog opterećenja. Ta su ispitivanja dodatno poboljšana nakon izrade norme ASTM E 23 u kojoj su dane informacije o ograničenjima udarnih ispitivanja [12].

Ovo je istraživanje provedeno kako bi se ispitalo ponašanje uzoraka tijekom udarnog opterećenja. Osnovni problem sastojao se u provođenju udarnih ispitivanja na uzorcima s različitim vrstama priključaka. Kako područja priključka profila mogu biti neispravna zbog propusta u proizvodnji (neispravni zavari i pogreške u izradi čelnih ploča), korištene su različiti oblici priključaka.

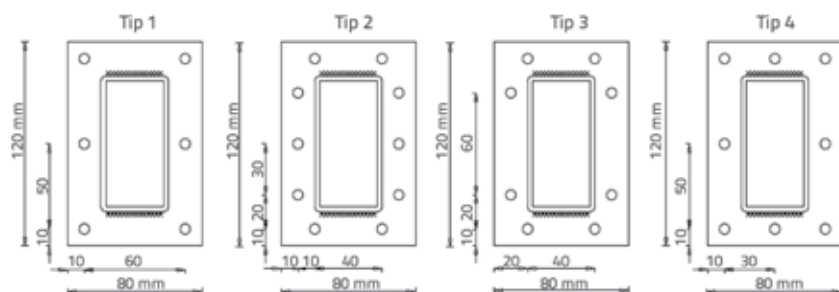
Za eksperimentalno je ispitivanje razvijen odgovarajući raspored pokusa. Osim toga, u eksperimentalnom je ispitivanju korišteno nekoliko uređaja kao što su akcelerometar, LVDT osjetilo, mjerna doza, uređaj za bilježenje podataka i optička fotoosjetila. Sljedeća značajna točka u analizi odnosi se na razliku između ograničenja mjerenja od mjernih uređaja. Masa udarnog utega je konstantna i iznosi 14 kg, a visine pada u udarnim ispitivanjima iznosile su 1000 i 1250 mm. Kako u praksi na konstrukcijske elemente mogu utjecati različiti udari, u ispitivanju su za mjerenje odziva uzoraka primijenjene dvije razine udarne energije. Po završetku eksperimentalne analize, rezultati ispitivanja su uspoređeni uzimajući u obzir vrstu priključka i visinu pada utega, a nakon toga je protumačeno ponašanje uzoraka.

2. Eksperimentalna analiza

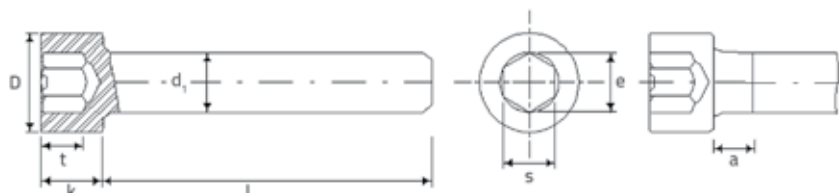
2.1. Uzorci i materijali

Za potrebe eksperimentalnog programa izrađeno je ukupno osam čeličnih uzoraka. U eksperimentalnoj su analizi kao varijable usvojene različite vrste priključaka te dvije razine udarne energije. Uzorci su napravljeni s četiri različita priključka, kako je to prikazano na slici 1.

Dimenzije međusobno spojenih pravokutnih čeličnih profila iznosile su 40 x 80 x 3 mm. U područje priključka čeličnih profila postavljene su dvije čelne ploče dimenzija 80 x 120 x 4 mm. Gornje i donje pojasnice profila zavarene su na čelne ploče tehnikom lučnog zavarivanja pod zaštitom plina sa zavarima debljine 3 mm. Tako je ispitana otpornost na udar uzoraka s neispravnim područjima priključka. Čelne su ploče jedna s drugom spojene vijcima s unutarnjim šesterokutom. Shematski prikaz tih vijaka daje se na slici 2., a njihova su svojstva prikazana u tablici 1. [13].



Slika 1. Vrste priključaka



Slika 2. Shematski prikaz vijaka

Tablica 1. Svojstva vijaka s unutarnjim šesterokutom

Svojstvo	Vrijednost
d_1 [mm]	6,00
a_{max} [mm]	3,00
S [m]	5,00
e_{min} [mm]	5,72
K [mm]	6,00
D [mm]	10,00
L [mm]	18,00
t_{min} [mm]	3,00
Granica popuštanja [N/mm ²]	640
Vlačna čvrstoća [N/mm ²]	800

Dužina uzorka je konstantna i iznosi 1000 mm. Izgled uzorka prikazan je na slici 3. Za proizvodnju čeličnih profila i čelnih ploča korišten je čelik kvalitete S235JR. Mehanička svojstva čelika S235JR prikazana su u tablici 2. [14].



Slika 3. Detalj uzorka

Tablica 2. Mehanička svojstva čelika kvalitete S235JR

Karakteristika	Vrijednost
Gustoća [kg/m ³]	7850
Minimalna granica popuštanja [MPa]	235
Vlačna čvrstoća [MPa]	360
Izduženje kod loma [%]	25

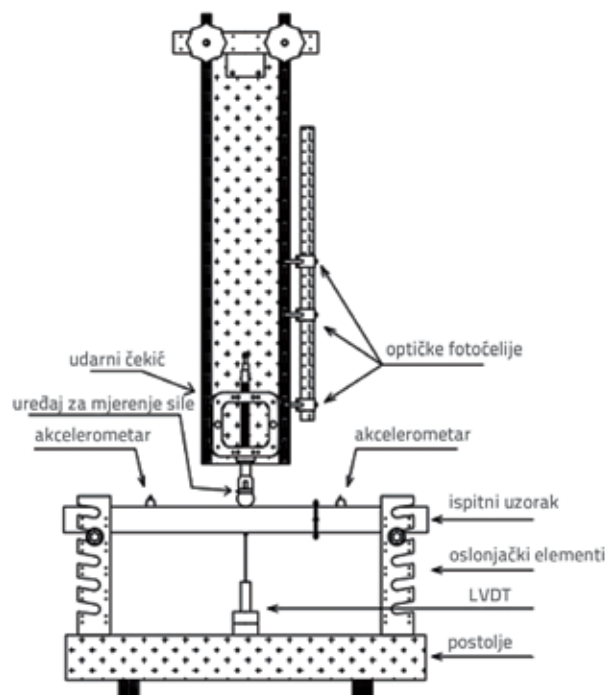
Prije nego što je u okviru eksperimentalnog programa provedeno udarno ispitivanje, svi su uzorci pripremljeni prema vrstama priključaka, kao što je i prikazano na slici 4. U područjima priključka korištene su različite kombinacije broja vijaka. Priključci su označeni žutom bojom kako bi se što bolje uočilo širenje oštećenja.



Slika 4. Uzorci pripremljeni za udarno ispitivanje

2.2. Mjerni uređaji

Udarna ispitivanja provedena su prema posebno projektiranom redosljedju pokusa za takve eksperimente. Mnogi su istraživači imali slične načine za ispitivanje uzorka, kao što se to i navodi u odgovarajućoj literaturi [15-21]. U tom se smislu može uočiti da istraživači najčešće primjenjuju redosljed pokusa s padajućim utegom. U tom ispitivanju uteg odgovarajuće specifične mase ispušta se na uzorak s unaprijed definirane visine. Udarno opterećenje nanosi se na uzorak udarnom pločom koju često nazivamo utegom ili maljem te se nakon ispitivanja mjeri otpornost na udar.

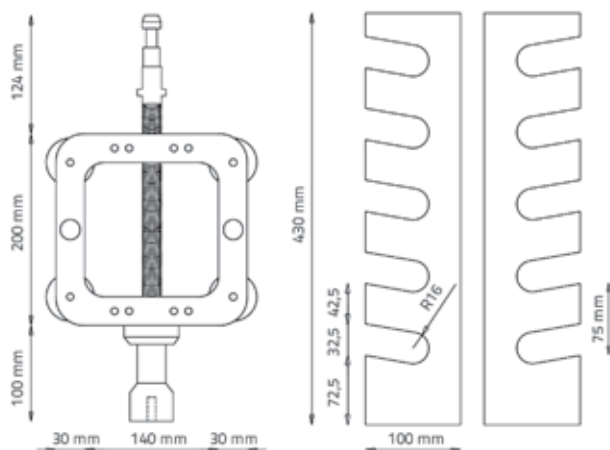


Slika 5. Redosljed izvedbe pokusa

U takvom načinu ispitivanja nosiva se platforma sastoji od čeličnih ploča visoke čvrstoće. Dimenzije nosive platforme u tom ispitivanju iznose 1000 x 1000 x 200 mm. Pritom su upotrijebljeni i određeni mjerni uređaji kao što su akcelerometar, LVDT osjetilo, senzor za mjerenje sile, uređaj za bilježenje podataka te odgovarajuća optička fotoosjetila. Shematski prikaz redoslijeda izvedbe pokusa iskazan je na slici 5.

Prema tom načinu izvedbe pokusa, udarno se opterećenje na uzorak nanosi pomoću čeličnog utega i to s dvije visine. Na taj se način zbog promjene visine ostvaruju različite razine udarne energije. Čelični uteg dimenzija 200 x 200 mm postavljen je između dva klizna elementa. Razmak između ta dva elementa iznosi 200 mm.

Čelični uteg konstantne mase spojen je s uređajem pomoću četiri elementa u obliku kotača koji su izrađeni od kastermida. Uzorke nose čelični nosači dimenzija 100 x 430 mm koji su montirani na obje strane uzorka. Tako je onemogućena rotacija i horizontalno i vertikalno pomicanje u poduprtim zonama uzoraka. Čelični uteg i nosači detaljno su prikazani na slici 6.



Slika 6. Detaljni prikaz utega i nosača (mm)

Kako se zbog ograničenog mjernog područja mjerenje akcelerometrima ne može obaviti kada se oni nalaze u blizini točke udara, dva su akcelerometra simetrično postavljena 250 mm od točke udara. U ispitivanju su za mjerenje ubrzanja korišteni piezoelektrični ICP akcelerometri. Ti su akcelerometri spojeni na uzorke pomoću posebnih mjedenih uređaja kako bi se postigli pouzdani rezultati bez ikakvih gubitaka. Akcelerometrima se mogu mjeriti bilo kakve vibracije bez pada kvalitete signala. Raspon mjerenja, osjetljivost i frekvencije akcelerometara redom iznose $\pm 98000 \text{ m/s}^2$, $0,05 \text{ mV}/(\text{m/s}^2)$ i 0.2-25000 Hz.

Za mjerenje pomaka pri svakom ispuštanju utega u ovom je ispitivanju korišten linearno promjenjivi (varijabilni) diferencijalni transformator (LVDT osjetilo). Kako do maksimalnih pomaka dolazi oko područja udara, LVDT osjetilo postavljeno je ispod srednjeg dijela uzorka. Raspon mjerenja LVDT osjetila iznosi 50 mm pri temperaturama od -18 do $+66^\circ \text{C}$.

ICP doza za mjerenje dinamičkog opterećenja postavljena je na rubnom dijelu čeličnog utega radi mjerenja udarnog opterećenja. Ovaj se senzor koristi za precizno mjerenje iznenadnih djelovanja. ICP dozom mogu se izmjeriti opterećenja u rasponu do 88.96 kN pri temperaturama od -54 do $+121^\circ \text{C}$.

Podaci se prikupljaju u uređaju za bilježenje podataka čiji kapacitet uzorkovanja iznosi 200 kHz. Podaci se zatim proslijeđuju do računala gdje se analiziraju pomoću posebnog računalnog programa Dewesoft X3. Taj program omogućuje pohranjivanje i digitalizaciju izmjerenih podataka. Na kraju se određuje vremenski slijed ubrzanja, pomaka i udarnog opterećenja.

Broj postupaka ispuštanja utega i trajanje tih postupaka bilježi se pomoću optičkih fotoosjetila u okviru eksperimentalne analize. Te se vrijednosti iskazuju na ekranu koji je dio ovog pokusa. Uzorak i mjerni uređaji prikazani su na slici 7.



Slika 7. Prikaz uzorka i postava pokusa

3. Rezultati ispitivanja

Uzorci su najprije podijeljeni u četiri grupe prema vrsti priključka. Druga varijabla u eksperimentu bila je visina pada utega. Svojstva uzoraka prikazana su u tablici 3.

Tablica 3. Svojstva uzoraka

Oznaka uzorka	Vrsta priključka	Masa utega [kg]	Visina pada [mm]
S1-A	1	14	1000
S2-A	2	14	1000
S3-A	3	14	1000
S4-A	4	14	1000
S1-B	1	14	1250
S2-B	2	14	1250
S3-B	3	14	1250
S4-B	4	14	1250



Slika 8. Situacije oštećenja pri slomu uzorka

Udarne ispitivanja provode se do oštećenja pri slomu. Tada dolazi do maksimalnog pomaka i uzorci ne mogu izdržati udarno opterećenje kod takvog oštećenja pri slomu. Zato se ne mogu provesti pouzdana mjerenja nakon oštećenja pri slomu. Slom uzoraka pri padu utega s visine od 1250 mm prikazan je na slici 8.

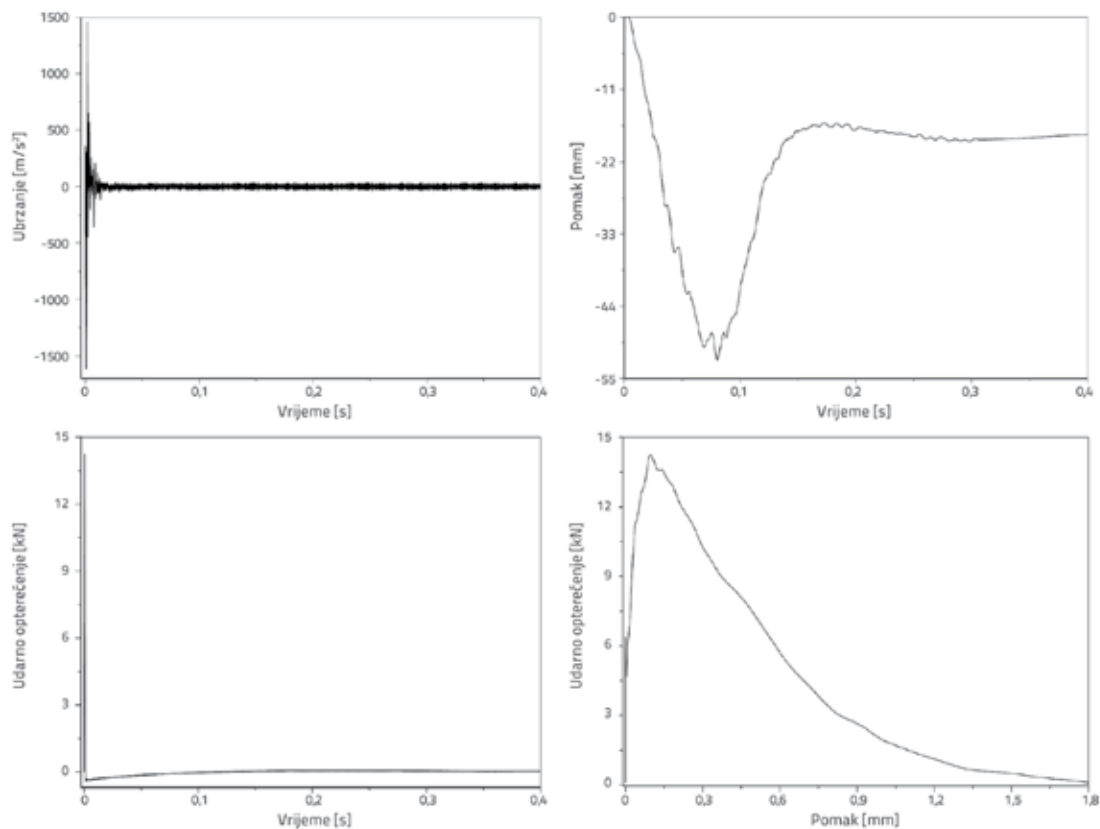
Broj ispuštanja utega i trajanje pada za svaki su uzorak određeni optičkim fotosjetilima, a to se istovremeno može vidjeti na ekranu koji je dio toga pokusa. Udarno ispitivanje završava kada dođe do sloma uzorka. Ukupan broj ispuštanja utega i trajanje pada u milisekundama prikazani su u tablici 4. za sve uzorke. Može se uočiti da vrsta priključka utječe na broj ispuštanja utega s iste visine.

Tablica 4. Ukupan broj ispuštanja utega

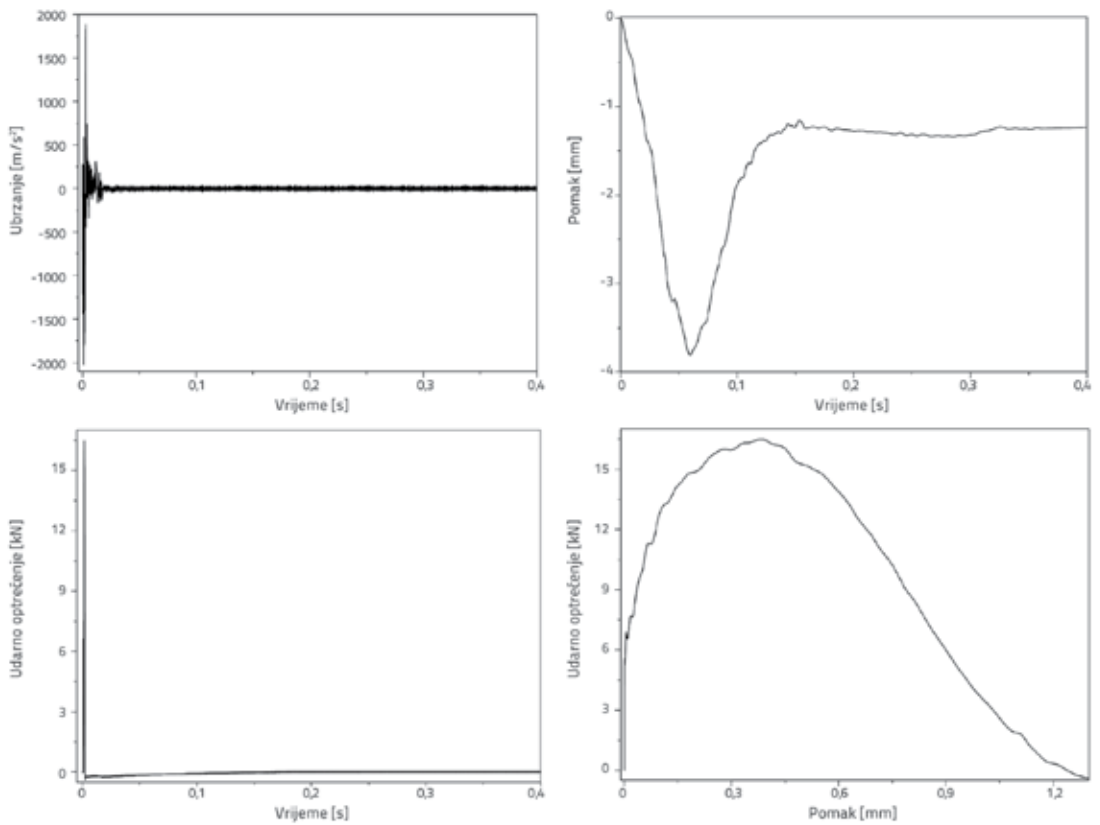
Oznaka uzorka	Ukupan broj ispuštanja	Vrijeme pada [msec]
S1-A	16	495
S2-A	19	490
S3-A	17	492
S4-A	17	489
S1-B	12	561
S2-B	15	557
S3-B	12	554
S4-B	14	559

Tablica 5. Eksperimentalni rezultati

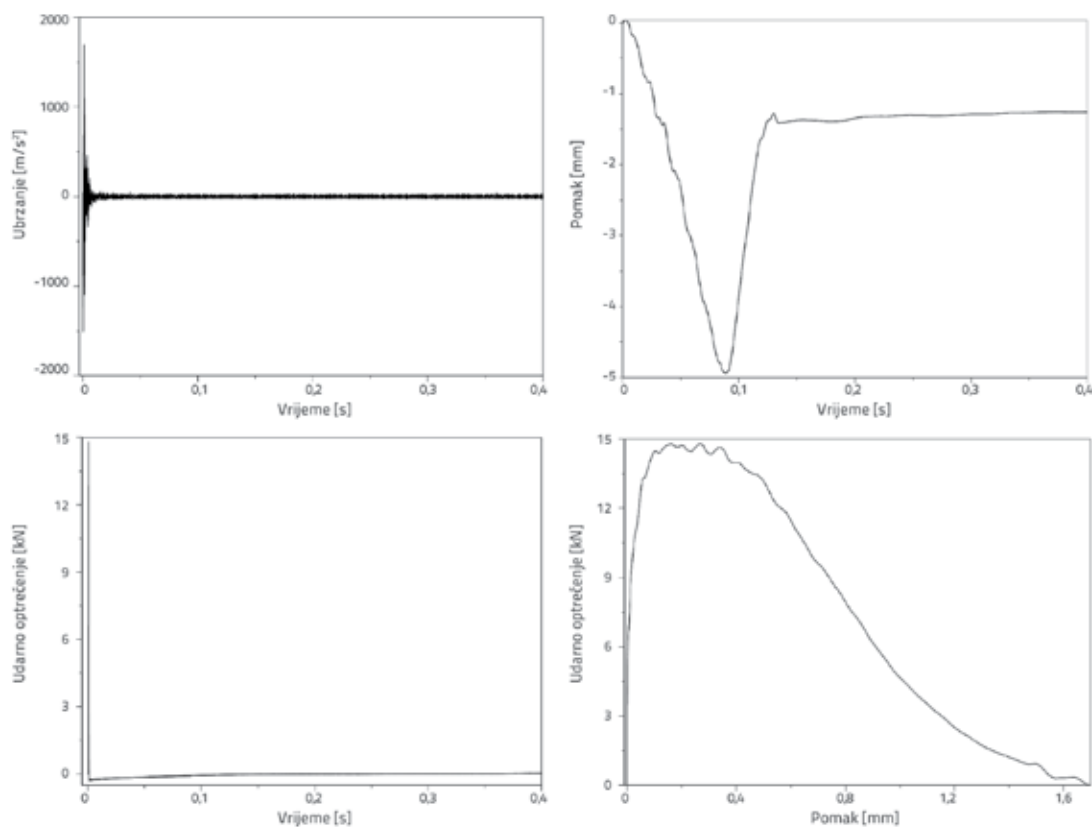
Oznaka uzorka	Ubrzanje [m/s ²]				Pomak [mm]		Udarno opterećenje [kN]	
	Prvo ispuštanje utega		Ispuštanje kod sloma		Prvo ispuštanje	Ispuštanje kod sloma	Prvo ispuštanje	Ispuštanje kod sloma
S1-A	-1271,34	1361,82	-826,54	991,29	3,88	10,83	11,68	7,74
S2-A	-1568,49	1792,17	-1175,73	1018,94	2,61	8,05	13,51	8,63
S3-A	-1507,61	1317,94	-1028,25	920,83	3,57	10,34	12,07	8,03
S4-A	-1618,23	1447,38	-918,37	1157,61	3,05	8,93	12,85	8,19
S1-B	-1617,61	1457,33	-1124,26	981,49	4,93	14,19	14,26	8,68
S2-B	-2024,36	1886,55	-1259,38	1324,27	3,51	11,94	16,49	9,51
S3-B	-1511,83	1694,27	-994,85	1231,53	4,64	11,88	14,81	8,71
S4-B	-1894,67	1604,92	-1355,73	1087,82	3,91	13,31	16,09	9,24



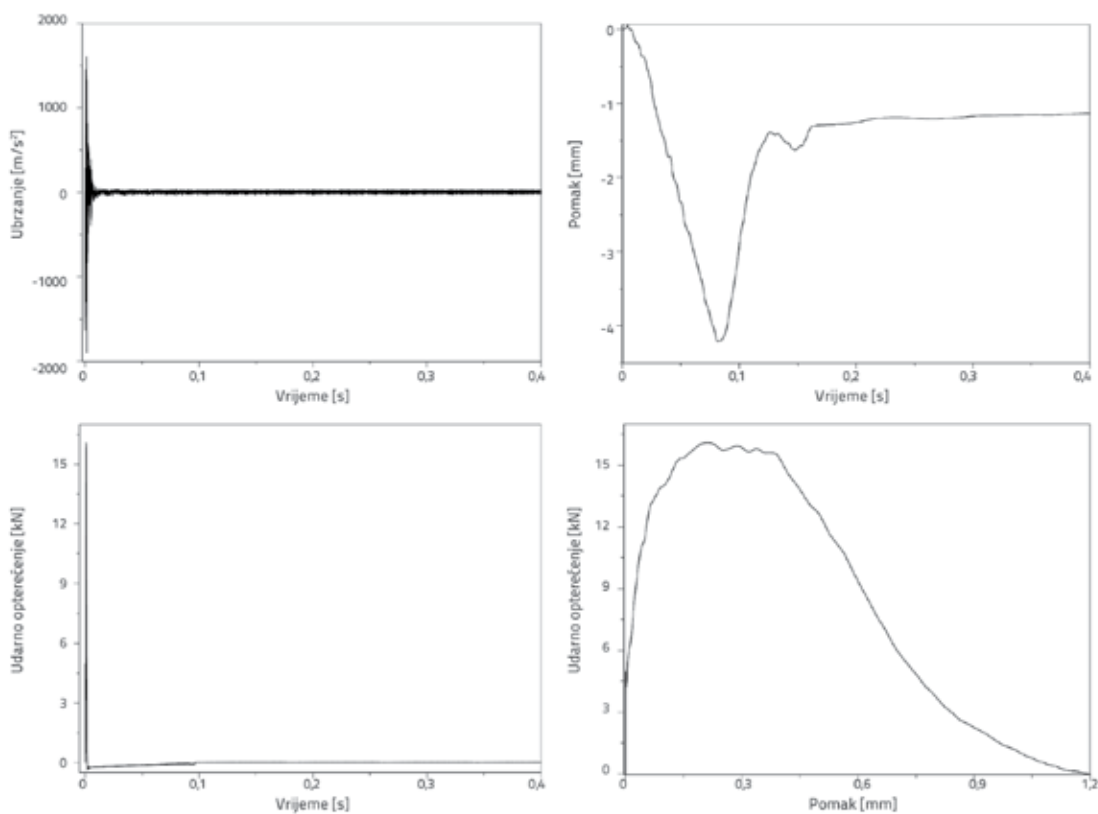
Slika 9. Rezultati ispitivanja za uzorak S1-B



Slika 10. Rezultati ispitivanja za uzorak S2-B



Slika 11. Rezultati ispitivanja za uzorak S3-B



Slika 12. Rezultati ispitivanja za uzorak S4-B

Mjernim se uređajima određuje ubrzanje, pomak i udarno opterećenje, i to od prvog do zadnjeg ispuštanja utega. Kako se ubrzanje mjeri s dvije simetrične točke na uzorcima, u obzir se uzima veća od tih vrijednosti. Vrijednosti dobivene nakon prvog udara i udara koji uzrokuje slom prikazane su u tablici 5. kako bi se iskazalo ponašanje uzorka pri slomu i u neoštećenom stanju. Vremenski sljedovi ubrzanja, pomaka i udarnog opterećenja korišteni su za određivanje ponašanja uzoraka podvrgnutih udarnom opterećenju. Osim toga, dijagrami udarnog opterećenja i pomaka iskazani su za isto razdoblje kako bi se ocijenio energetska kapacitet uzoraka. U dijagramima prikazanim na slikama od 9. do 12. iskazane su vrijednosti prvog ispuštanja utega mase 14 kg s visine od 1250 mm na uzorke S1-B, S2-B, S3-B i S4-B.

Nakon određivanja udarnog opterećenja i pomaka, izračunani su energetska kapaciteti u zoni koju pokrivaju krivulje udarnog opterećenja i pomaka. Rezultati su za svaki uzorak prikazani u tablici 6.

Tablica 6. Maksimalni energetska kapacitet uzoraka

Oznaka uzorka	Energetska kapacitet [J]
S1-A	11,53
S2-A	14,96
S3-A	12,78
S4-A	14,65
S1-B	16,27
S2-B	19,58
S3-B	16,76
S4-B	18,92



Slika 13. Uzorci nakon udarnog ispitivanja

Smatra se da je eksperimentalni program izvršen kada su svi uzorci dosegli oštećenje pri slomu. Uzorci su prikazani zajedno kako bi se prikazalo oštećenje pri slomu prema vrsti priključka tj.

prema visini ispuštanja (slika 13.). Vijci su odvojeni od područja priključka na uzorcima. Stoga uzorci nisu mogli izdržati udarno opterećenje kod oštećenja pri slomu.

4. Zaključak

Udarno opterećenje, obično definirano kao vrsta impulzivnog dinamičkog opterećenja, često se ignorira u projektiranju konstrukcijskih elemenata. Kako se udarno opterećenje smatra posebnim oblikom opterećenja, te kako su za analizu utjecaja udara na konstrukcijski element potrebne složene planske i analitičke radnje, može se reći da su istraživači tek u novije vrijeme razvili odgovarajuće načine za provedbu ovakvih ispitivanja. Operativni mehanizam tih ispitivanja uključuje ispuštanje odgovarajuće mase s određene visine, nakon čega slijedi mjerenje pomoću odgovarajućih mjernih instrumenata.

U ovom je radu eksperimentalnim putem istraženo ponašanje čeličnih uzoraka s različitim vrstama priključaka. U tu je svrhu projektiran poseban redoslijed ispitivanja i odgovarajući mjerni uređaji kao što su akcelerometri, doza za mjerenje opterećenja, LVDT osjetilo, optička fotoosjetila i uređaj za bilježenje podataka. U okviru eksperimentalnog programa, na uzorke su nanesene dvije razine energije i to definiranjem dviju visina s kojih je ispuštan uteg. Osim toga, tijekom udarnih ispitivanja praćen je i razvoj oštećenja uzoraka. Slijede osnovni zaključci definirani nakon provođenja ispitivanja.

- Vrijednosti ubrzanja izmjerene su akcelerometrima koji su postavljeni na uzorke u dvije simetrične točke. Uočeno je da na vrijednosti ubrzanja utječe promjena vrste priključka te razine primijenjene energije. Veće vrijednosti ubrzanja dobivene su na uzorcima s priključcima tipa 2 koji imaju 10 vijaka. Također je uočeno da su se vrijednosti ubrzanja na svim uzorcima smanjivale u vremenu od prvoga do zadnjega ispuštanja utega. Najveće razlike između prvog i zadnjeg ispuštanja zabilježene su pri maksimalnim ubrzanjima na uzorku S2-A.
- Vrijednosti pomaka izmjerene su pomoću LVDT osjetila koje je postavljeno ispod srednjeg dijela ispitnog uzorka. Na svim su uzorcima izmjereni maksimalni pomaci nakon ispuštanja koje je dovelo do sloma. Na vrijednosti pomaka utjecala je promjena energije udara, tj. promjena visine odakle je ispuštan uteg. Na vrijednosti pomaka utjecala je i vrsta priključka. Uočeno je da se izmjerene vrijednosti smanjuju s povećanjem krutosti uzoraka u zoni priključka. Na uzorcima sa priključkom tipa 1 zabilježeni su maksimalni pomaci, a minimalne vrijednosti zabilježene su na uzorcima s priključkom tipa 2. Prema rezultatima pomaka, odnos pomaka pri prvom ispuštanju i pomaka pri prekidanom ispuštanju varirao je od 29,38 do 39,06 %.
- Vrijednosti udarnog opterećenja izmjerene su pri svakom udaru čeličnog utega pomoću doze za mjerenje dinamičkog opterećenja. Maksimalna udarna opterećenja zabilježena su za prvi pad utega. Vrijednosti su se smanjivale usporedno s napredovanjem ispitivanja. Osim toga, veće vrijednosti

udarnog opterećenja zabilježene su nakon povećanja udarne energije. Maksimalno udarno opterećenje zabilježeno je na uzorku S2-B s priključkom tipa 2 pri ispuštanju utega s visine od 1250 mm.

- Krivulje opterećenja i pomaka izrađene su kombiniranjem vrijednosti udarnog opterećenja i pomaka u istom vremenskom intervalu. Tako su analizirani energetski kapaciteti uzorka uzimajući u obzir vrstu priključka. Razlika između energetskog kapaciteta uzoraka ispitanih ispuštanjem s visine od 100 mm iznosila je 29 % dok je vrijednosti od 20 % zabilježena kod ispuštanja s visine od 1250 mm. To znači da se utjecaj vrste priključka smanjivao s povećanjem udarne energije.
- Vrijednosti trajanja pada i ukupnog broja ispuštanja određene su za svako ispuštanje čeličnog utega pomoću optičkih fotoosjetila. Pri istoj razini energije nisu zabilježene bitne promjene u trajanju pada. Trajanje pada povećalo se

s povećanjem nanese energije, što se moglo i očekivati. Ukupan broj ispuštanja određen je nakon oštećenja pri slomu uzoraka. Uzorci su dosegli otkazivanje kada je visina ispuštanja povećana na 1250 mm.

- Autori predlažu provođenje numeričke analize radi ispitivanja ponašanja uzoraka pri naglom udarnom opterećenju jer bi se tako smanjilo sudjelovanje laboratorija. Međutim, u programskom se paketu trebaju odrediti točni modeli materijala i eksperimentalni uvjeti. Osim toga, predlaže se i ispitivanje uzoraka s različitim vrstama priključaka i s različitim karakteristikama materijala i to za različite razine energije.

Zahvala

Za uzorke i uređaje u ovom ispitivanju dobivena je financijska potpora Službe za koordinaciju znanstvenoistraživačkih projekata Sveučilišta Manisa Celai Bayar.

LITERATURA

- [1] EN 1991 - Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-7: General actions - Accidental actions, European Committee for Standardization.
- [2] Zeinoddini, M., Harding, J.E., Parke, G.A.R.: Axially pre-loaded steel tubes subjected to lateral impacts (a numerical simulation), *International Journal of Impact Engineering*, 35 (2008) 11, pp. 1267-1279.
- [3] Bambach, M.R., Jama, H., Zhao, X.L., Grzebieta, R.H.: Hollow and concrete filled steel hollow sections under transverse impact loads, *Engineering Structures*, 30 (2008) 10, pp. 2859-2870.
- [4] Wang, R., Han, L.H., Hou, C.C.: Behavior of concrete filled steel tubular (CFST) members under lateral impact: Experiment and FEA model, *Journal of Constructional Steel Research*, 80 (2013), pp. 188-201.
- [5] Kidd, M., Judge, R., Jones, S.W.: Numerical based performance of UK industry standard simple and/or semi-rigid steel connections subjected to rapid rotations, *Procedia Engineering*, 173 (2016), pp. 375-382.
- [6] Zhu, H., Stephens, M.T., Roeder, C.W.: Inelastic response prediction of CFST columns and connections subjected to lateral loading, *Journal of Constructional Steel Research*, 132 (2017), pp. 130-140.
- [7] Fras, T., Roth, C.C., Mohr, D.: Fracture of high-strength armor steel under impact loading, *International Journal of Impact Engineering*, 111 (2018), pp. 147-164.
- [8] Han, L.H., Hou, C.C., Zhao, X.L., Rasmussen, K.J.R.: Behaviour of high-strength concrete filled steel tubes under transverse impact loading, *Journal of Constructional Steel Research*, 92 (2014), pp. 25-39.
- [9] Yousuf, M., Uy, B., Tao, Z., Remennikov, A., Liew, J.Y.R.: Transverse impact resistance of hollow and concrete filled stainless steel columns, *Journal of Constructional Steel Research*, 82, (2013), pp. 177-189.
- [10] Gücüyen, E., Erdem, R.T., Kantar, E.: Experimental study on pipe sections against impact loading, *TEM Journal*, 7 (2018) 1, pp. 97-104.
- [11] Liu, K., Liu, B., Villavicencio, R., Wang, Z., Soares, C.G.: Assessment of material strain rate effects on square steel plates under lateral dynamic impact loads, 13 (2018) 2, pp. 217-225.
- [12] ASTM E23-00, Standard test methods for notched bar impact testing of metallic materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2002).
- [13] Kantar, E., Erdem, R.T., Gücüyen, E., Alicioğlu, M.B.: Investigation of imperfect steel connections under impact effect, *Scientific Research Project, Manisa Celal Bayar University*, (2019).
- [14] TS EN 10025-2, Hot rolled products of structural steels - Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels, (2006), Ankara.
- [15] Nataraja, M.C., Nagaraj, T.S., Basavaraja, S.B.: Reproportioning of steel fiber reinforced concrete mixes and their impact resistance, *Cement and Concrete Research*, 35 (2005) 12, pp. 2350-2359.
- [16] Yılmaz, T., Kırac, N., Anil, Ö., Erdem, R.T., Sezer, C.: Low velocity impact behaviour of two way rc slab strengthening with cfrp strips, *Construction and Building Materials*, 186 (2018), pp. 1046-1063.
- [17] Sadraie, H., Khaloo, A., Soltani, H.: Investigation of lateral impact behavior of rc columns, *Engineering Structures*, 191 (2019) 1, pp. 62-81.
- [18] Erdem, R.T., Gücüyen, E., Kantar, E., Bağcı, M.: Impact behavior of concrete beams, *Građevinar*, 66 (2014) 11, pp. 981-986, <https://doi.org/10.14256/JCE.1126.2014>.
- [19] Nataraja, M.C., Dhang, N., Gupta, A.B.: Statistical variations in impact resistance of steel fiber-reinforced concrete subjected to drop weight test, *Cement and Concrete Research*, 29 (1999) 7, pp. 989-995.

- [20] Guades, E., Aravinthan, T., Manalo, A., Islam, M.: Experimental investigation on the behaviour of square frp composite tubes under repeated axial impact, *Composite Structures*, 97, (2013), pp. 211-221
- [21] Pichler, B., Hellmich, C., Mang, H.A., Eberhardsteiner, J.: Loading of a gravel-buried steel pipe subjected to rockfall, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132 (2006) 11, pp. 1465-1473.

2,99



POSEBNA KREDITNA LINIJA
za obnovu zajedničkih dijelova
stambenih zgrada oštećenih
potresom

fiksna kamatna stopa 2,99 % (EKS 3,03 %)*
rok otplate kredita od 13 mjeseci do 10 godina
bez naknade za obradu kredita

*izračunato za iznos 500.000 HRK po redovnoj kamatnoj stopi 2,99 % (EKS 3,03 %), na rok otplate 10 godina, bez naknade za obradu kreditnog zahtjeva, uz pretpostavku isplate kredita 01. 01. i plaćanje interkalarnih kamata 01. 02., mjesečni anuitet iznosi 4.825,73 HRK, a ukupan iznos koji klijent treba platiti je 580.333,38 HRK.

Odnosi se na ugovore o kreditu zaključene sukladno Uvjetima za odobravanje dugoročnih kredita za sve vrste radova na zajedničkim dijelovima stambene zgrade oštećene potresom koji se primjenjuju od 01. 06. 2020.



Moja banka.

☎ 0800 472 472 🌐 WWW.HPB.HR 📘 MOJHPB