

Primljen / Received: 11.7.2017.  
Ispravljen / Corrected: 17.11.2017.  
Prihvaćen / Accepted: 24.11.2017.

Dostupno online / Available online: 10.1.2018.

# Posmična nosivost različitih sustava pričvršćenja u betonskim elementima

## Autori:



Dr.sc. **Natalija Bede**, dipl.ing.građ.  
Sveučilište u Rijeci  
Građevinski fakultet  
[natalija.bede@uniri.hr](mailto:natalija.bede@uniri.hr)



Dr.sc. **Philipp Grosser**, dipl.ing.građ.  
Tvrtna Hilti, Schaan, Liechtenstein  
[Philipp.Grosser@hilti.com](mailto:Philipp.Grosser@hilti.com)



Prof.dr.sc. **Joško Ožbolt**, dipl.ing.građ.  
Sveučilište u Stuttgartu  
Institut za građevinske materijale  
[ozbolt@iwb.uni-stuttgart.de](mailto:ozbolt@iwb.uni-stuttgart.de)

Prethodno priopćenje

**Natalija Bede, Philipp Grosser, Joško Ožbolt**

## Posmična nosivost različitih sustava pričvršćenja u betonskim elementima

U radu su prikazani i analizirani rezultati ispitivanja u vezi s otkazivanjem nosivosti uslijed sloma betona različitih sustava pričvršćenja ugrađenih paralelno s rubom betonskog elementa i opterećenih na posmik u smjeru ruba betonskog elementa. Prema postojećim preporukama za proračun, otkazivanje nosivosti slomom betona je manje za sidrene profile nego za sidra s glavom u grupi. Ispitana su i zavarena sidra (sidra s glavom zavarena za čeličnu ploču) i kemijska sidra. Na osnovi dobivenih rezultata napravljena je usporedba različitih sustava pričvršćenja u betonskim elementima.

### Ključne riječi:

sustavi pričvršćenja, otkazivanje uslijed sloma betona, posmično opterećenje, eksperimentalna ispitivanja, preporuke za proračun

Preliminary report

**Natalija Bede, Philipp Grosser, Joško Ožbolt**

## Shear breakout capacity of various fastening systems in concrete elements

The results of a test program carried out to investigate the difference in the concrete breakout capacity of various fastening systems installed parallel to the edge of a concrete member, and loaded in shear towards the edge of the concrete member, are presented and analysed. According to the current design recommendations, the calculated concrete breakout capacity of anchor channels yields to a lower failure capacity compared to headed anchors. Welded anchors (headed anchors welded to a steel plate) and bonded anchors are also tested. Based on the test results, various fastening systems in concrete elements are compared.

### Key words:

fastening systems, failure due to concrete fracturing, shear load, experimental testing, design recommendations

Vorherige Mitteilung

**Natalija Bede, Philipp Grosser, Joško Ožbolt**

## Schubkrafttragfähigkeit diverser Befestigungssysteme für Betonelemente

In der Arbeit werden die Prüfergebnisse in Zusammenhang mit dem Versagen der Tragfähigkeit infolge von Betonbruch bei diversen Befestigungssystemen, die parallel mit dem Rand des Betonelements eingebaut und in Richtung seines Rands einer Schubbelastung ausgesetzt sind, dargestellt und analysiert. Laut den bestehenden Berechnungsempfehlungen ist das Versagen der Tragfähigkeit infolge von Betonbruch bei Verankerungsprofilen geringer als bei Ankern mit Köpfen in Gruppen. Untersucht wurden auch verschweißte Anker (Anker, die mit dem Kopf an eine Stahlplatte verschweißte wurden) und chemische Anker. Auf der Grundlage der gewonnenen Ergebnisse wurden diverse Befestigungssysteme für Betonelemente miteinander verglichen.

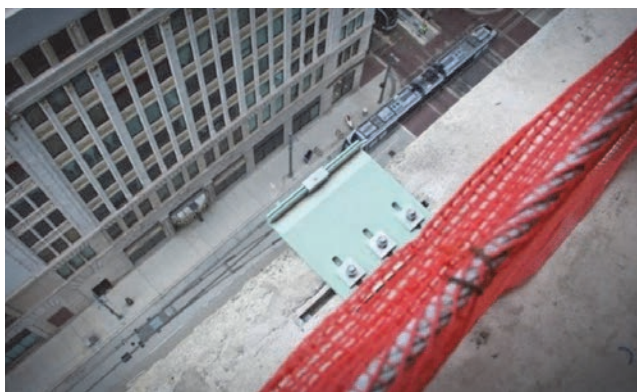
### Schlüsselwörter:

Befestigungssysteme, Versagen infolge von Betonbruch, Schubbelastung, experimentelle Untersuchungen, Berechnungsempfehlungen

## 1. Uvod

U proteklom desetljeću došlo je do značajnog napretka u polju tehnike pričvršćenja u betonskim elementima. Glavna svrha sredstava za pričvršćenje je spojiti razne tipove nosivih i nenosivih elemenata, npr. spoj između betonskog elementa i čelične konstrukcije. Postoje različite vrste sustava pričvršćenja, kao što su sidra s glavom, kemijska i mehanička sidra koja se ugrađuju naknadno u beton te sidreni profili. Sidra se mogu koristiti kao pojedinačno sredstvo za pričvršćenje ili kao grupa sidara. Sidreni profili imaju najmanje dva sidra. Njihova glavna prednost je prilagodljivost prilikom ugrađivanja, npr. konstrukcija se može pričvrstiti na različitim pozicijama. Tipična primjena im je ugradnja blizu ruba betonskog elementa sa svrhom pričvršćenja ovješanih fasada (slika 1.) [1]. Zbog male udaljenosti od ruba betonske konstrukcije, nosivost osnovnog materijala za pričvršćenje ne može se potpuno ostvariti pa je kontrolirajući oblik otkazivanja slom odlamanjem ruba betona. Trenutačno, prema normama za projektiranje (DIN EN 1992-4 [2] i AC232 [3]), za istu rubnu udaljenost i istu debljinu betonskog elementa nosivost je sidrenog profila pri slomu betona manja u odnosu na grupu sidara s glavom. Glavni razlozi smanjene nosivosti sidrenih profila su slijedeći:

- U preporukama za proračun raspodjele posmičnog opterećenja, kod sidrenih profila pretpostavlja se nejednolika raspodjela opterećenja na sidra, a kod grupe sidara s glavom pretpostavlja se jednolika raspodjela opterećenja na sva sidra.
- Da bi se za otkazivanja uslijed sloma ruba betonskog elementa osigurala potpuna konusna ploha sloma, minimalna udaljenost između sidara ( $s_{cr,v}$ ), minimalna debljina elementa ( $h_{cr,v}$ ) i minimalna udaljenost od ugla ( $c_{cr,v}$ ) kod sidrenog profila je veća nego kod sustava sidra s glavom. Kod proračuna sidara s glavom  $s_{cr,v} = 3c_1$ ,  $h_{cr,v} = 1,5c_1$  i  $c_{cr,v} = 1,5c_1$ , dok je za sidrene profile  $s_{cr,v} = 4c_1 + 2b_{ch}$ ,  $h_{cr,v} = 2c_1 + 2h_{ch}$  i  $c_{cr,v} = 2c_1 + b_{ch}$  ( $c_1$  = udaljenost sidra od ruba elementa,  $h_{ch}$  = visina sidrenog profila,  $b_{ch}$  = širina sidrenog profila).
- Osnovni izraz za proračun nosivosti jednog sidra kod sloma odlamanjem ruba betona različita je za sidreni profil od izraza za grupu sidara s glavom.



Slika 1. Primjena kanala za sidrenje u fasadnim konstrukcijama [1]

Kako bi se bolje razumjela razlika u nosivosti sustava pričvršćenja sastavljenih od različitih vrsta sidara uslijed odlamanja ruba betona, provedeno je eksperimentalno istraživanje u neraspucalom betonu sa sidrima s glavom, zavarenim sidrima i kemijskim sidrima u grupi te sidrenim profilima. Stoga je u svim ispitivanjima udaljenost sidara od ruba  $c$ , broj sidara u grupi  $n$  i osni razmak između sidara u grupi  $s$  bio jednak za svaki od sustava pričvršćenja kao i čvrstoća betona. Za parametre korištene u ispitivanju ( $n = 3$ ,  $c = 100$  mm,  $s = 150$  mm) proračun prema normi DIN EN 1992-4 [2], pokazuje 30 % veću iskoristivost sidrenog profila u odnosu na sidra s glavom za istu vrijednost opterećenja na posmik. Nasuprot tome, prema normi CEN/TS 1992-4 [4], sidra s glavom i sidreni profili imaju istu iskoristivost. Zbog toga je osnovna motivacija za provođenje ispitivanja prikazanih u ovom radu bila poboljšati postojeće propise za proračun. Sveobuhvatni pregled postojećih propisa za proračun je dan u [5]. Važno je napomenuti da direktna usporedba proračunske nosivosti nije moguća jer se kod sidara s glavom proračunava nosivost za cijelu grupu, a kod sidrenog profila proračunava se samo nosivost za najopterećenije sidro. Više pojedinosti može se naći u [6]. Radi usporedbe, ispitana su i zavarena sidra (sidra s glavom zavarena za čeličnu ploču) te kemijska sidra.

## 2. Eksperimentalna ispitivanja

Na Građevinskom fakultetu u Rijeci provedeno je ukupno  $4 \times 5 = 20$  ispitivanja, s četiri ponavljanja na uzorku betonske ploče. Glavni cilj ispitivanja bio je istražiti razliku u otkazivanju posmične nosivosti uslijed sloma betona različitih sustava pričvršćenja ugrađenih blizu rubova betonskog uzorka. Stoga, kako bi rezultati bili usporedivi, sva ispitivanja su provedena u betonskim pločama napravljenim od iste mješavine, starosti i čvrstoće betona. Osim toga, primjenjeni su isti geometrijski parametri poput udaljenosti sidara od ruba betonskog uzorka, broj i razmak sidara u grupi.

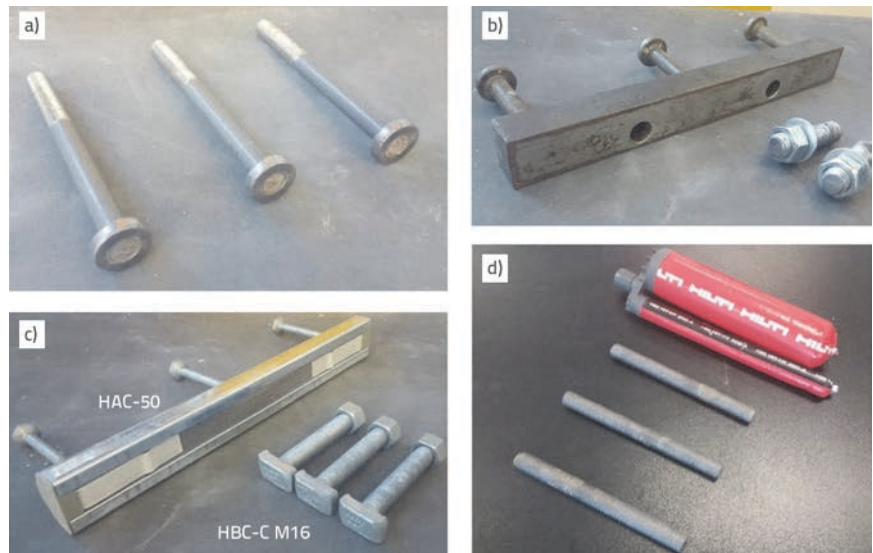
### 2.1. Ispitni uzorci

Ispitana su četiri različita sustava pričvršćenja: sidra s glavom (slika 2.a), zavarena sidra (slika 2.b), sidreni profili (slika 2.c) i kemijska sidra (slika 2.d). Prva tri tipa sustava pričvršćenja (sidra s glavom, zavarena sidra i sidreni profili) postavljena su prije ugradnje betona, dok su kemijska sidra izrezana iz navojne šipke M16 na duljinu od 160 mm i naknadno ugrađena u očvrslu betonsku ploču pomoću injekcijske smjese Hilti HIT-HY 200-A (slika 2.d). Više detalja može se naći u [7].

Za potrebe ispitivanja, izrađeno je ukupno pet betonskih ploča: četiri betonske ploče dimenzija  $1600$  mm  $\times$   $1600$  mm  $\times$   $300$  mm i jedna betonska ploča  $1600$  mm  $\times$   $1600$  mm  $\times$   $200$  mm. Betonski uzorci su izvedeni u kalupima s drvenim oplatama. Sve ploče su, radi rukovanja, armirane mrežastom armaturom Q 131 u gornjoj i donjoj zoni (slika 3.). Armatura

zbog svog položaja (udaljenost otprilike 200 mm od ruba betonske ploče) nije utjecala na rezultate ispitivanja. Sve ploče su betonirane vodoravno i zbijane vibratorom. Betonske ploče su pohranjene u laboratoriju Građevinskog fakulteta u Rijeci te, u skladu s normom HRN EN 12390-2 [8], umotane u plastične folije 28 dana. Nakon 28 dana plastične folije su uklonjene i betonske ploče su čuvane na sobnoj temperaturi do dana ispitivanja.

Detalji o parametrima ugradnje u betonsku ploču svakog od sustava pričvršćenja prikazani su u tablici 1. Vidljivo je da su sva četiri tipa sustava pričvršćenja ispitana u betonskim pločama debljine 300 mm, a samo su sidreni profili ispitani i u betonskoj ploči debljine 200 mm. Skica ispitnih uzoraka



Slika 2. Ispitni uzorci sustava pričvršćenja: a) sidra s glavom; b) zavarena sidra; c) sidreni profili; d) kemijska sidra



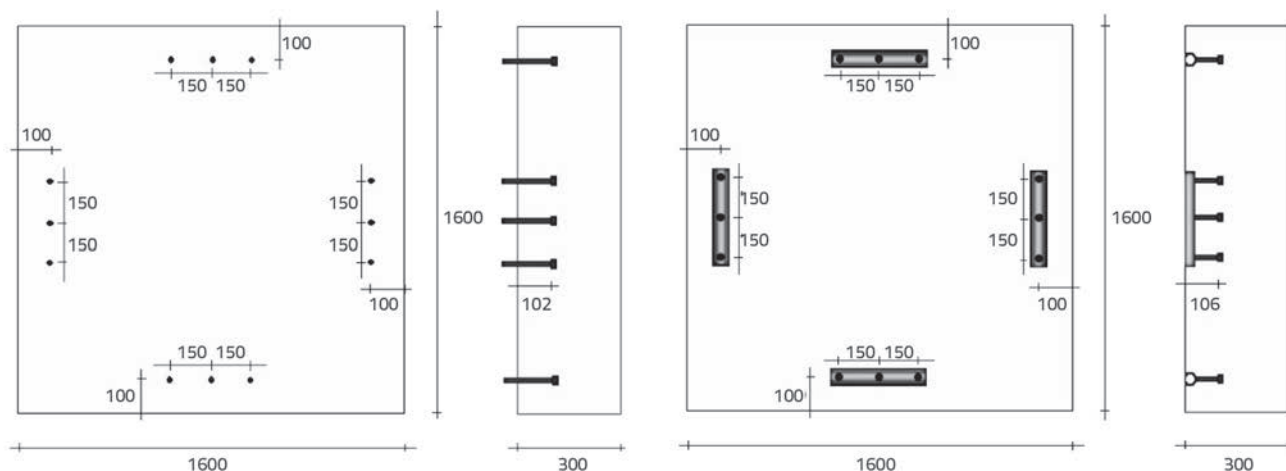
Slika 3. Prikaz armature ispitnog uzorka betonske ploče

prikazana je na slici 4., na primjer, za grupu sidara s glavom i za sidrene profile.

U svim ispitivanjima sustavi pričvršćenja su postavljeni paralelno s rubom betonske ploče i opterećeni na posmik okomito na rub betonske ploče. Svaki tip sustava pričvršćenja se sastojao od tri sidra s horizontalnim razmakom između susjednih sidara od 150 mm. Svi sustavi pričvršćenja su ugrađeni na udaljenosti 100 mm od ruba betonskog uzorka. Dubina sidrenja sidara s glavom, zavarenih i kemijskih sidara iznosila je 102 mm, a dubina sidrenja sidrenog profila iznosila je 106 mm.

Tablica 1. Parametri ugradnje u betonsku ploču

Oznaka betonske ploče	CS1	CS2	CS3	CS4	CS5
Sustav pričvršćenja	Sidra s glavom	Zavarena sidra	Sidreni profili	Sidreni profili	Kemijska sidra
Debljina ploče, $h$ [mm]	300	300	300	200	300
Udaljenost sidra od ruba, $c$ [mm]	100	100	100	100	100
Udaljenost između sidara, $s$ [mm]	150	150	150	150	150
Dubina sidrenja [mm]	102	102	106	106	102
Promjer sidra [mm]	16	16	9	9	16
Visina kanala za sidrenje ili zavarene čelične ploče [mm]	-	30	31	31	-
Širina kanala za sidrenje ili zavarene čelične ploče [mm]	-	40	41.9	41.9	-
Neto rubna udaljenost sidrenog profila ili zavarene čelične ploče [mm]	-	80	79	79	-
Preklapanje ploče za nanošenje opterećenja i sidrenog profila ili zavarene čelične ploče [mm]	-	25	25	25	-



Slika 4. Ispitni uzorak (nacrt i bokocrt): sidra s glavom, ploča CS1 (lijevo), sidreni profili, ploča CS3 (desno), dimenzije u mm

## 2.2. Svojstva materijala

Sve betonske ploče za potrebe ispitivanja izrađene su od običnog betona niske čvrstoće (razred čvrstoće C20/25). Beton je proizveden prema zahtjevima norme HRN EN 2016-1:2006 i HRN 1128:2007. Za sve betonske ploče korištena je jedna mješavina betona. Konzistencija svježeg betona je svrstana u razred S2 i upotrijebljeno je maksimalno zrno agregata od 16 mm. Tlačna čvrstoća betona određena je u skladu s HRN EN 12504-1:2009 [9] i HRN EN 12390-3:2009 [10]. Tijekom betoniranja svake ploče napravljene su i po tri kocke duljine brida 150 mm. Betonske kocke su negovane u spremniku s vodom 28 dana u skladu s normom HRN EN 12390-2 [8], a nakon toga su do dana ispitivanja negovane na zraku. Ispitana tlačna čvrstoća varirala

je između 31,22 MPa i 44,78 MPa (srednja vrijednost 38,33 MPa). Međutim, kako bi se dobila najtipičnija vrijednost čvrstoće betona, uzorci za ispitivanje čvrstoće moraju se negovati u identičnim uvjetima u kojima se njeguju i betonske ploče. Prema tome, iz svake betonske ploče nakon što je ispitana izvađena su po tri uzorka valjkastog oblika promjera 100 mm i visine 100 mm. Tlačna čvrstoća dobivena na izvađenim betonskim uzorcima preračunana je u čvrstoću kocke prema izrazu 2.1e iz ETAG 001, Dodatak A [11]. Izračunana srednja vrijednost čvrstoće kocke iznosila je 33,61 MPa (čvrstoća kocke varirala je između 31,28 MPa i 36,97 MPa). Srednja vrijednost čvrstoće kocke preračunana je u čvrstoću valjka prema izrazu u ETAG 001, Dodatak A, izraz 2.1a [11]. Ukupno je ispitano 15 uzoraka. Svi rezultati su prikazani u tablici 2.

Tablica 2. Tlačna čvrstoća ispitana na izvađenim betonskim uzorcima na dan ispitivanja

Oznaka betonske ploče	Oznaka izvađenog uzorka	Gustoća [kg/m <sup>3</sup> ]	Tlačna čvrstoća izvađenog uzorka [MPa]	Tlačna čvrstoća kocke [MPa]	Srednja vrijednost tlačne čvrstoće kocke [MPa]	Srednja vrijednost tlačne čvrstoće valjka [MPa]
CS1	1	2287,1	31,58	33,24	33,15	26,52
	2	2297,3	30,18	31,77		
	3	2275,9	32,72	34,44		
CS2	1	2260,0	33,46	35,22	35,78	28,62
	2	2278,0	35,12	36,97		
	3	2293,5	33,38	35,14		
CS3	1	2268,9	31,94	33,62	32,50	26,00
	2	2278,0	30,39	31,99		
	3	2260,0	30,30	31,89		
CS4	1	2206,8	30,32	31,92	32,52	26,02
	2	2243,4	31,36	33,01		
	3	2221,5	31,01	32,64		
CS5	1	2249,2	32,89	34,62	34,10	27,28
	2	2270,7	29,72	31,28		
	3	2307,8	34,57	36,39		

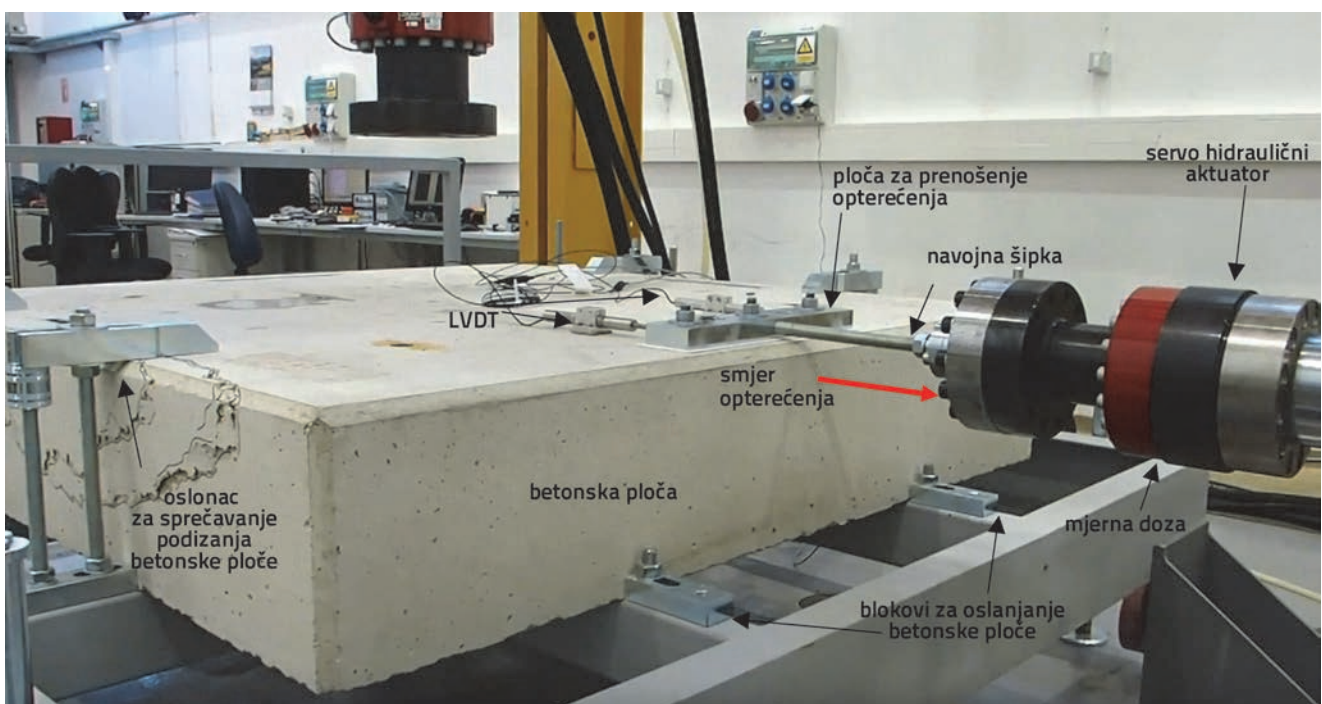
### 2.3. Način ispitivanja i uređaji za ispitivanje

Ispitivanja su provedena u laboratoriju Građevinskog fakulteta u Rijeci na podu s rasterom otvora za pričvršćivanje (engl. *strong floor*) opremljenim hidrauličnim aktuatorom ZWICK ROELL, tip LH 0250-100, mjerne doze kapaciteta 250 kN. Postavke ispitivanja i mjerni uređaji prikazani su na slici 5. Kako bi se osiguralo da betonska ploča tijekom ispitivanja bude nepomična, projektiran je i proizveden poseban čelični okvir. Čelični okvir je postavljen ispred hidrauličnog aktuatora, a da bi se tijekom ispitivanja spriječio pomak, pričvršćen je pomoću čeličnih šipki (M20, 8,8 CS) za pod s otvorima te oslonjen na prednjoj strani. Zatim je betonska ploča postavljena na čelični okvir i pričvršćena kako je prikazano na slici 5., radi sprečavanja podizanja ploče tijekom ispitivanja. Posmično opterećenje nanošeno je servohidrauličnim aktuatorom pomoću 30 mm debele ploče za opterećenje koja je za aktuator bila pričvršćena navojnom šipkom M20. Ovisno o sustavu pričvršćenja koji se ispitivao, ploča za nanošenje opterećenja je spojena direktno na sidra (slika 6.a) ili specijalnim vijcima koji su sastavni

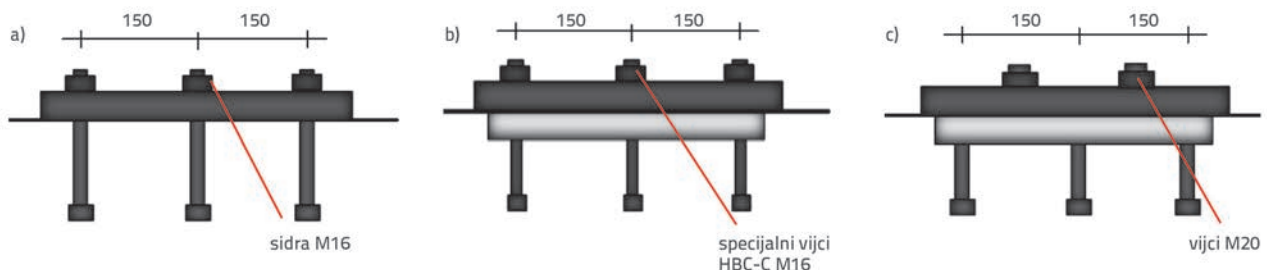
dio sidrenog profila (slika 6.b), a u slučaju zavarenih sidara dodatnim vijcima M20 (slika 6.c). Na svako sidro sustava pričvršćenja nanosen je zakretni moment od 60 Nm. Između betona i čelične ploče za nanošenje opterećenja stavljen je teflon debljine 2 mm radi smanjenja trenja.

Horizontalni pomak u smjeru nanosenog posmičnog opterećenja mjereno je pretvornikom pomaka (LVDT), tip LD 320-50 OMEGA. Dva pretvornika pomaka su zalijepljena na površinu betona iza dva rubna sidra (slika 5.). Pomak sidara je dobiven kao srednja vrijednost mjerenja dvaju pretvornika pomaka. Posmična sila je mjerena pomoću mjerne doze, tipa BPS-TL0250.10.00 (maksimalnog kapaciteta 250 kN, slika 5.).

Ispitivanja su provedena pri sobnoj temperaturi. Starost betona za vrijeme ispitivanja bila je otprilike dva mjeseca. Kod svih ispitnih uzoraka razmak je između blokova za oslanjanje betonske ploče bio takav da se pri otkazivanju betona omogućujući formiranje potpune konusne plohe. Svaka serija ispitivanja ponavljena je četiri puta. Posmično opterećenje nanošeno je kontrolom pomaka hidrauličnog aktuatora konstantnom brzinom od 0,02 mm/s tako da se maksimalna



Slika 5. Način ispitivanja



Slika 6. Spoj sustava pričvršćenja i ploče za nanošenje opterećenja za: a) sidra s glavom; b) sidreni profil; c) zavarena sidra, dimenzije u mm

Tablica 3. Rezultati ispitivanja

Oznaka betonske ploče	CS1 ( $h = 300$ mm)	CS2 ( $h = 300$ mm)	CS3 ( $h = 300$ mm)	CS4 ( $h = 200$ mm)	CS5 ( $h = 300$ mm)	
Sustav pričvršćenja	Sidra s glavom	Zavarena sidra	Sidreni profili	Sidreni profili	Kemijska sidra	
Maksimalna sila [kN]						
Serija ispitivanja	1	45,82	49,54	44,58	37,21	57,95
	2	48,15	53,77	41,83	38,13	51,33
	3	46,45	54,48	45,62	37,28	50,24
	4	46,97	45,44	44,72	37,18	48,50
Srednja vrijednost	46,85	50,81	44,19	37,45	52,00	

<sup>1</sup>Srednja vrijednost je prosjek 4 ispitivanja u istoj seriji uzoraka

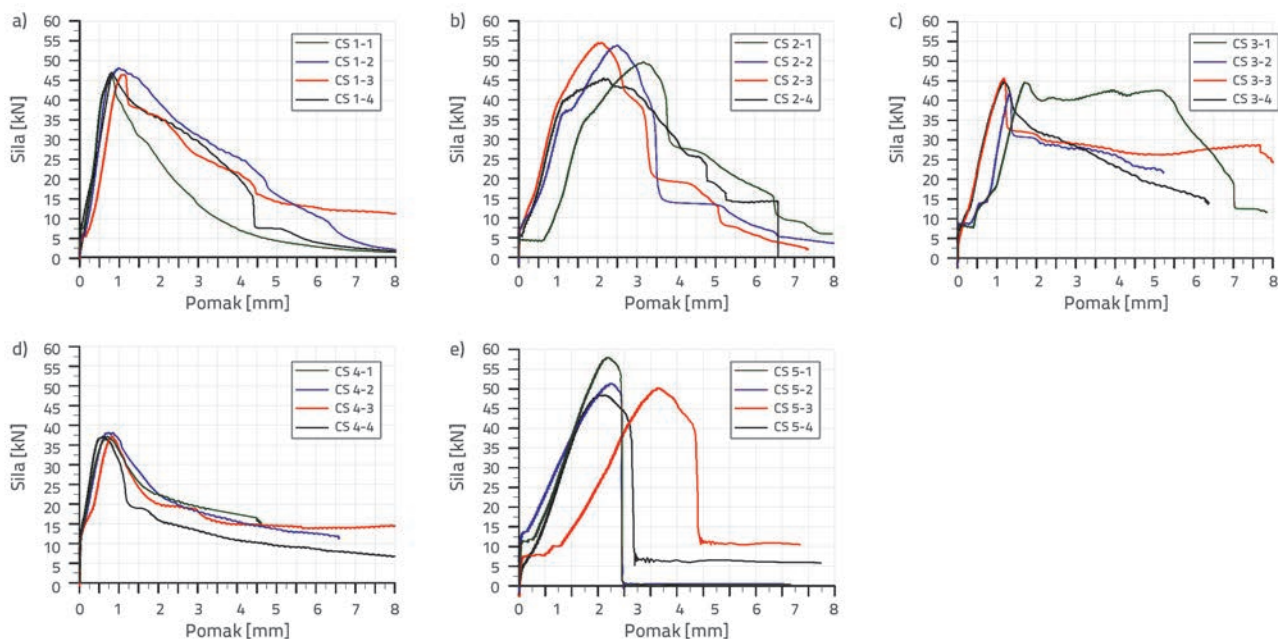
sila postigne u vremenu od 3 do 5 minuta (kvazistatički test). Tijekom ispitivanja podaci su mjerenja sile i pomaka bilježeni brzinom od 100 podataka u sekundi i spremljeni pomoću sustava za prikupljanje podataka.

### 3. Rezultati ispitivanja

#### 3.1. Dijagrami sila-pomak

U tablici 3. su dani rezultati izmjerenih maksimalnih sila svih ispitanih uzoraka, a na slici 7. su prikazani dobiveni dijagrami sila-pomak. Kod ovakvog tipa ispitivanja može doći do proklizavanja, što je i vidljivo u izmjerenim dijagramima sila-pomak. To dovodi do različitih vrijednosti pomaka pri maksimalnoj sili i do različitih izgleda krivulja sila-pomak (vidjeti CS3-1 i CS5-3 na slici 7.). Razlozi tome mogu biti različiti, kao primjerice zbog proklizavanja ploče za nanošenje

opterećenja, nesimetričnog djelovanja sidara i sidrenog profila uslijed opterećenja, lokalnog oštećenja i drobljenja betona ili utjecaja trenja. Na osnovu rezultata ispitivanja betonske ploče debljine 300 mm vidljivo je da je nosivost grupe sidara s glavom i sidrenih profila otprilike jednaka. U odnosu na grupu sidara s glavom (CS1) i sidrenog profila (CS3), zavarena sidra (CS2) pokazuju 10 % veću nosivost. Nadalje, zanimljivo je primijetiti da je izmjerena nosivost kemijskih sidara (CS5) također 10 % veća od nosivosti grupe sidara s glavom (CS1). Općenito govoreći, otkazivanje nosivosti nastupa krtnim lomom betona uslijed vlaka. Što se tiče duktilnosti, opaženo je da grupa sidara s glavom (CS1) i kemijska sidra (CS5) pokazuju relativno krto djelovanje, a zavarena sidra (CS2) te posebice sidreni profili (CS3, CS4) djeluju duktilnije. Potrebno je napomenuti da s gledišta mehanike loma otkazivanje nosivosti odlamanjem betona sredstva za pričvršćivanje pripada kategoriji tzv. negativne geometrije (povećanjem pukotine



Slika 7. Dijagrami sila-pomak ispitanih sustava pričvršćenja: a) sidra s glavom u CS1 ( $h = 300$  mm); b) zavarena sidra u CS2 ( $h = 300$  mm); c) sidreni profili u CS3 ( $h = 300$  mm); d) sidreni profili u CS4 ( $h = 200$  mm); e) kemijska sidra u CS5 ( $h = 300$  mm)

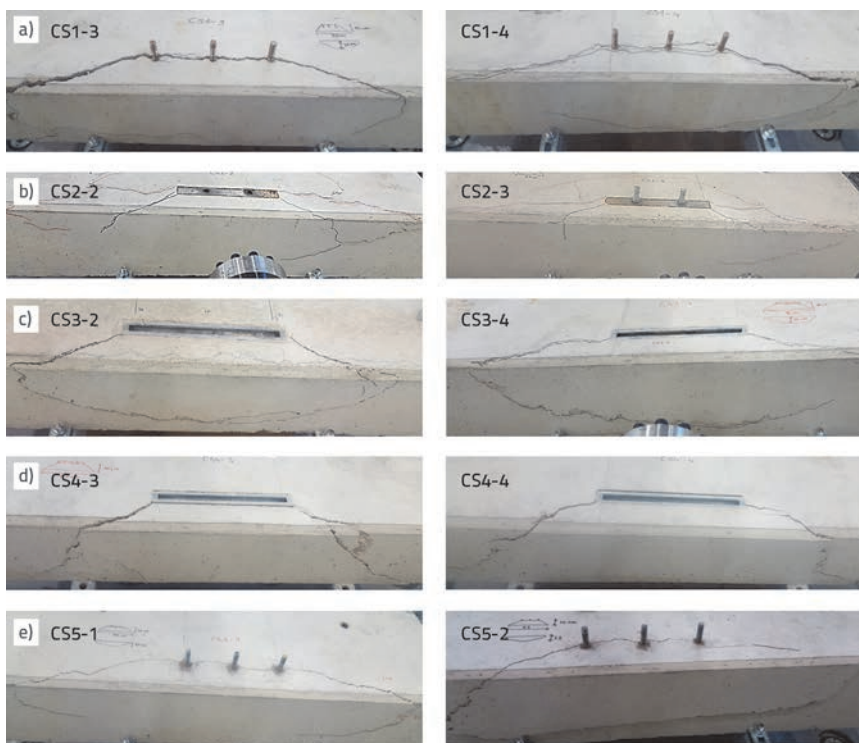
faktor intenziteta naprezanja se smanjuje) gdje je za nosivost značajnija energija sloma betona nego vlačna čvrstoća. U usporedbi s pozitivnom geometrijom (npr. savijanje u tri točke), djelovanje sustava pričvršćenja je duktilnije. Međutim, uspoređujući sa slomom armiranog betona, sredstva za pričvršćivanje su manje duktilna.

### 3.2. Oblik sloma

Za sve ispitane uzorke slom je prouzročilo odlamanje ruba betona. Tipičan primjer sloma za svaki tip pričvršćenja prikazan je na slici 8. Prema očekivanju, način širenja pukotina je sličan za sva ispitivanja. Međutim, za slučaj zavarenih sidara (CS2) i sidrenih profila (CS3, CS4) uočeno je da se pukotina inicira od čelične ploče ili kanala, što vodi nastanku manje plohe sloma zbog manje neto udaljenosti od ruba betona ( $c' = c - b_{ch}/2$ ). Tijekom ispitivanja je opaženo da se za slučaj zavarenih sidara odmah nakon pojavljivanja pukotina, koje označavaju plohu sloma betona (crne linije na slici 8.b, pojavljuju dodatne pukotine pri krajnjem stražnjem rubu čelične ploče (crvene linije na slici 8.b. Za sve sustave pričvršćenja ispitane u betonskim pločama debljine 300 mm nastaje potpuna konusna ploha sloma. U slučaju ispitivanja sidrenih profila u ploči debljine 200 mm, ploha sloma betona je u obliku krnjeg stošca, što objašnjava smanjenu nosivost dobivenu ispitivanjem serije uzoraka CS4.

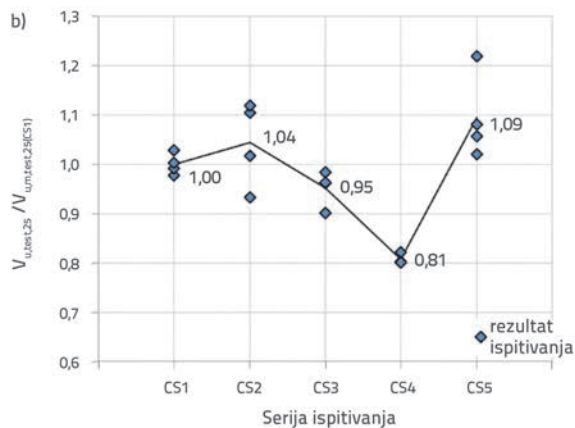
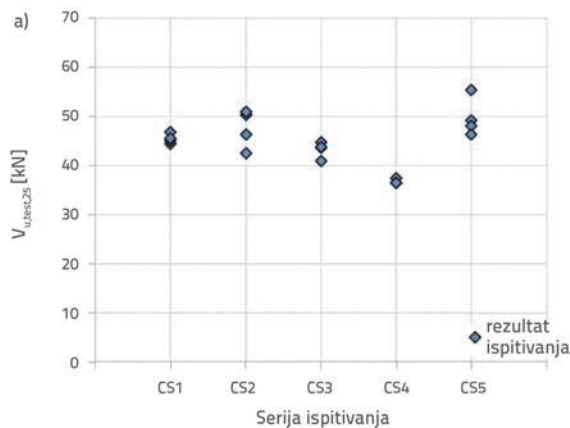
### 4. Usporedba rezultata ispitivanja

Da bi se omogućila direktna usporedba ispitanih sustava pričvršćenja, svi rezultati ispitivanja su normirani na tlačnu



Slika 8. Tipični oblici sloma ispitanih sustava pričvršćenja: a) sidra s glavom ( $h = 300$  mm); b) zavarena sidra ( $h = 300$  mm); c) sidreni profili ( $h = 300$  mm); d) sidreni profili ( $h = 200$  mm); e) kemijska sidra ( $h = 300$  mm)

čvrstoću betona na valjku  $f_c = 25$  MPa (slika 9.a). Prema tome, kako bi se u obzir mogle uzeti različite čvrstoće betona, maksimalne sile su skalirane faktorom  $(25/f_{cm})^{0.5}$ , gdje je  $f_{cm}$  srednja vrijednost čvrstoće betonskih valjaka iz tablice 2. Ta vrijednost faktora skaliranja proizlazi iz toga što je otkazivanje nosivosti u proračunu funkcija drugog korijena tlačne čvrstoće betona. Pripadajuće sile sloma (omjer izmjerene nosivosti  $V_{u, test, 25}$  i srednje vrijednosti nosivosti izračunane za seriju uzorka CS1  $V_{u, m, test, 25 (CS1)}$ ) prikazane su na slici 9.b. Sidreni profili ispitani u betonskoj ploči debljine 300 mm (CS3) pokazuju nešto manju nosivost u usporedbi s grupom sidara s glavom (CS1). Razlog tome je manji promjer sidara kod sidrenih profila.



Slika 9. a) Sile sloma normirane na  $f_c = 25$  MPa; b) Omjer između sila sloma i srednje vrijednosti sile sloma serije uzorka CS1

U slučaju sidara s glavom i zavarenih sidara korištena su sidra promjera 16 mm, a kod sidrenih profila promjer sidara iznosi samo 9 mm. Prema normi DIN EN 1992-4 [2], za slučaj kada je udaljenost od ruba jednaka 100 mm, nosivost sidra uslijed odlamanja betona je za sidro promjera 9 mm otprilike 10 % manja nego za sidro promjera 16 mm. Rezultati ispitivanja pokazuju otprilike 5 % veću nosivost sa zavarenim sidrima (CS2) nego sa sidrima s glavom (CS1). Čelična ploča kod zavarenih sidara ima iste dimenzije (širina, visina i duljina) kao i kanal kod sidrenih profila (tablica 1.). Prema tome, zavarena sidra se mogu protumačiti kao sidreni profili s krutom vezom između sidara i kanala.

Postojeće norme za proračun (DIN EN 1992-4 [2] i AC232 [3]) u slučaju sidrenih profila uzimaju u obzir utjecaj debljine elementa pomoću sigurnosnog faktora  $\psi_{ch,h,V}$ . Sidreni profili ispitivani u betonskoj ploči debljine 200 mm i udaljeni 100 mm od ruba ploče, prema izrazu (1), imaju 15 % manju nosivost pri otkazivanju uslijed odlamanja ruba. Prema normi DIN EN 1992-4 [2], ne bi trebalo biti razlike u nosivosti između sidara s glavom i kemijskih sidara. Međutim, ispitivanja za slučaj kemijskih sidara pokazuju 10 % veću posmičnu nosivost nego sidra s glavom.

$$\psi_{ch,h,V} = \left( \frac{h}{h_{cr,V}} \right)^{0.5} \leq 1.0 \text{ gdje je } h_{cr,V} = 2c_1 + 2h_{ch} \quad (1)$$

## LITERATURA

- [1] Anchor channel, [www.hilti.com/anchor-systems/cast-in-anchors/r4809](http://www.hilti.com/anchor-systems/cast-in-anchors/r4809), 05.07.2017.
- [2] DIN EN 1992-4: Eurocode 2 – Design of concrete structures – Part 4: Design of fastenings for use in concrete. Final draft, 2017.
- [3] AC232: Acceptance Criteria for anchor channels in concrete elements. ICC-ES, previously approved October 2016, proposed April 2017.
- [4] CEN/TS 1992-4:2009 or DIN SPEC 1021-4:2009-08: Design of fastenings for use in concrete. Part 4-1: General, Part 4-2: Headed fasteners, Part 4-3: Anchor channels, Part 4-4: Post-installed fasteners - Mechanical systems, Part 4-5: Post-installed fasteners - Chemical systems, 2009.
- [5] Eligehausen, R., Mallée, R., Silva, J.F.: Anchorage in Concrete Construction, Ernst & Sohn, Berlin, 2006.
- [6] Grosser, P., Basche, H.: Design of anchor channels subjected to shear loads close to edges of a concrete member, Heft 615, Erläuterungen zu DIN EN 1992-4 - Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton, Deutsche Ausschuss für Stahlbeton (DAFStb).
- [7] Bede, N.: Report on laboratory testing of headed anchors, welded embeds, bonded anchors and anchor channels close to edges of a concrete slab, Faculty of Civil Engineering, University of Rijeka, Croatia, 2017.
- [8] HRN EN 12390-2: Testing hardened concrete – Part 2: Making and curing specimens for strength test, Croatian Standards Institute, Zagreb, 2009.
- [9] HRN EN 12504-1: Testing concrete in structures. Cored specimens. Taking, examining and testing in compression, Croatian Standards Institute, Zagreb, 2009.
- [10] HRN EN 12390-3: Testing hardened concrete – Part 3: Compressive strength of test specimens, Croatian Standards Institute, Zagreb, 2009.
- [11] EOTA 2012: ETAG 001. Guideline for European technical approval of metal anchors for use in concrete, 2012.

## 5. Zaključak

Osnovni je cilj ispitivanja prikazanog u radu istražiti razliku u otkazivanju nosivosti uslijed sloma betona sidrenih profila i sidara s glavom raspoređenih u grupu u neraspucalom betonu. Za parametre u ispitivanju kod sloma odlamanjem betona, proračun prema normi DIN EN 1992-4 [2] daje 30 % veću iskoristivost za sidrene profile nego za sidra s glavom, a prema normi CEN/TS 1992-4 [4] sidra s glavom i sidreni profili imaju istu iskoristivost. Rezultati ispitivanja pokazuju da je za iste parametre nosivost sidrenog profila usporediva s nosivosti sidara s glavom. Time su inženjeri suočeni s izazovom kako uvesti efektivna rješenja za sidrene profile u proračune prema normama DIN EN 1992-4 [2] i AC232 [3]. Razilka između sidra s glavom i sidrenih profila u postojećim propisima za proračun mora se ispraviti. Međutim, potrebna su daljnja numerička i eksperimentalna istraživanja

## Zahvala

Autori zahvaljuju Građevinskom fakultetu u Rijeci na osiguravanju opreme za ispitivanje, a tvrtki Hilti AG na financijskoj i tehničkoj potpori. Oprema za ispitivanje na Građevinskom fakultetu u Rijeci je nabavljena u okviru projekta Razvoj istraživačke infrastrukture na kampusu Sveučilišta u Rijeci (RC.2.2.06-0001) koji je sufinanciran iz Europskog fonda za regionalni razvoj (EFRR) i Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta RH.