

# Numerička analiza spregnutog sustava hladno oblikovani čelik-beton s demontažnim posmičnim spojem

---

**Rajić, Andrea; Lukačević, Ivan**

*Source / Izvornik:* **Zbornik radova devetog skupa istraživača iz područja građevinarstva i srodnih tehničkih znanosti, 2022, 125 - 130**

**Conference paper / Rad u zborniku**

*Publication status / Verzija rada:* **Published version / Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:237:239507>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,  
University of Zagreb](#)



**Numerička analiza spregnutog sustava hladno oblikovani čelik - beton s demontažnim posmičnim spojem**

**Numerical analysis of composite system cold formed steel - concrete with demountable shear connection**

DOI: 256.26.56.25.545.5.45.4.5

**Andrea Rajić<sup>1</sup>, Ivan Lukačević<sup>2</sup>**

(1) Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet; andrea.rajic@grad.unizg.hr

(2) Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet; ivan.lukacevic@grad.unizg.hr

## Sažetak

Osim povoljnog iskorištenja upotrijebljenih materijala u spregnutim sustavima, spregnuti sustavi čelik-beton poznati su po montažnoj ugradnji i sposobnosti svladavanja velikih raspona. S obzirom na navedene prednosti, mogućnost uporabe ovog tipa sustava je raznolika. Ovaj rad predstavlja numeričku analizu spregnutog nosača izvedenog od hladno oblikovanog čeličnog profila koji je povezan inovativnim demontažnim sredstvima s betonskom pojasnicom. Karakteristike osnovnog materijala, točkastih zavara te sredstava demontažnog posmičnog spoja dobivene su laboratorijskim ispitivanjima provedenim u sklopu LWT-FLOOR projekta na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Istražen je utjecaj broja točkastih zavara u sustavu čeličnog nosača, utjecaj vrste betona te stupnja spreznja posmičnog spoja na nosivost spregnutog nosača.

*Ključne riječi: numerička analiza, spregnuti nosač, hladno oblikovani čelik, demontažni posmični spoj*

## Abstract

Besides the utilisation of used materials in composite systems, cold-formed steel (CFS)–concrete systems are known for prefabricated construction and long-span capability. Considering all mentioned advantages, the usage of this type of system is various. This paper presents a numerical analysis of a composite system formed of a cold-formed steel section connected to the concrete slab by an innovative demountable shear connection. The characteristics of base material, spot welds and demountable shear connectors are given by laboratory research conducted as a part of the LWT-FLOOR project at the Faculty of Civil Engineering at the University of Zagreb. The impacts of spot weld density, type of concrete and the degree of shear connection on the bending resistance of the composite system were analysed.

*Keywords: numerical analysis, composite system, CFS, demountable shear connection*

## 1. Uvod

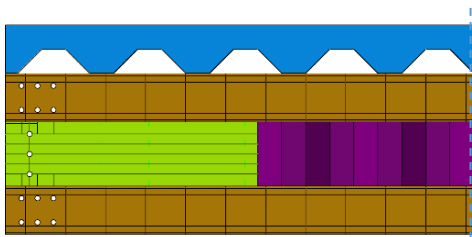
Spregnute konstrukcije čelik-beton pokazale su svoju značajnu učinkovitost u primjeni kod nosivih konstrukcija. Glavne prednosti spregnutog sustava čelik-beton su montažna gradnja, jednostavna ugradnja te svladavanje velikih raspona. U težnji za poboljšanjem spregnutih konstrukcija čelik-beton započeta je primjena hladno oblikovanih čeličnih elemenata koji mogu smanjiti vlastitu težinu cjelokupnog sustava kao i primjena lakoagregatnog betona [1]. S obzirom na korištenje dvaju različitih materijala, u spregnutim sustavima čelik-beton bitno je osigurati spoj između elemenata formiranih od navedenih materijala koji se ostvaruje korištenjem sredstava za sprezanje. Hanaour [2] je istraživao utjecaj stupnja spreznja posmičnog spoja za različite vrste sredstava za sprezanje. Pokazano je kako se pravilnim oblikovanjem sustava može postići izrazito povoljna nosivost. Isti učinak regulira se rasporedom sredstava za sprezanje u sustavu. S obzirom da su sredstva za sprezanje uglavnom zavarena za čelični nosač, stvorila se ideja o demontažnim sredstvima za sprezanje kojim bi se omogućilo rastavljanje konstrukcije na kraju njenog životnog vijeka [3]. Osim načina oblikovanja posmičnog spoja, bitan je i način povezivanja čeličnih dijelova sustava u cjelinu - broj i raspored točkastih zavara [5–7], dok se u svrhu povećanja stabilnosti nosača upotrebljava valoviti hrbat [8–10].

S obzirom na navedene prednosti i mogućnosti unaprjeđenja spregnutog sustava formiranog od hladno oblikovanog čelika i betona, predmet istraživanja u ovome radu je utjecaj stupnja spreznja posmičnog spoja u slučaju demontažnog posmičnog spoja koji je ostvaren između betona (lakoagregatni i normalnoteški) i sastavljenih hladno oblikovanih čeličnih profila s valovitim hrptom. Istražen je i utjecaj različitog broja i rasporeda točkastih zavara između čeličnih profila. Predmet istraživanja je dio LWT-FLOOR projekta koji se povodi na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Dobiveni rezultati koristit će se kao osnova za planiranje ispitivanja koja će se provesti u budućnosti.

## 2. Numerička analiza

Numerička analiza provedena je u računalnom programu ABAQUS/CAE [11]. S obzirom na visoki stupanj nelinearnosti provedena je eksplicitna analiza. Formirano je 18 modela jednostavno oslonjenih nosača koji se sastoje od četiri hladno oblikovana C120 profila koji su točkastim zavarima preko dvije (02) ili tri (03) točke povezani s drugim čeličnim

elementima. Opterećenje je definirano pomakom od 100 mm koji se unosi na četiri pozicije na nosaču. Karakteristike ponašanja točkastih zavara su dobivene obradom rezultata provedenih laboratorijskih ispitivanja. Osim povezivanja čeličnih elemenata preko točkastih zavara, razmatrana je opcija kada su elementi spojeni na području cijele dodirne površine (oznaka: tie).



**Slika 1.** Razmatrani spregnuti nosač

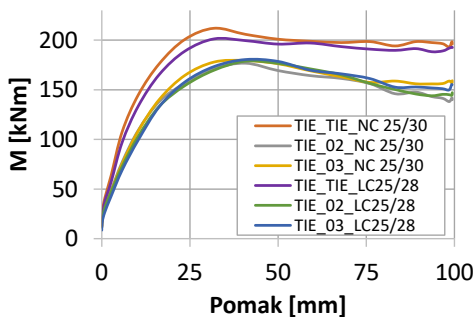
Zajedničko djelovanje čeličnih profila i betonske ploče ostvarena je posmičnim spojem koji osiguravaju demontažni moždanici, tj. vijci M12, k.v. 8.8 modelirani B31 konačnim elementima (linearni gredni element definiran s dva čvora) s definiranim karakteristikama vijaka također dobivenim laboratorijskim ispitivanjima materijala vijaka. Vijci su postavljeni u svako rebro valovitog lima u paru (SC12C) ili u naizmjeničnom rasporedu (SC12N) dok im je visina određena prema odredbama iz europske norme [12]. Razmatran je i slučaj kad je ostvaren puni stupanj spreznjanja posmičnog spoja (oznaka: tie). Betonska ploča u koju su ugrađeni vijci definirana je za lakoagregatni LC25/28 te normalnoteški NC25/30 beton čije su karakteristike određene modelom plastičnog oštećivanja prema [13]. Približna veličina mreže konačnih elemenata za sve čelične elemente iznosi 20 mm, betonsku ploču 30 mm, dok za vijke iznosi 7 mm.

### 3. Rezultati i diskusija

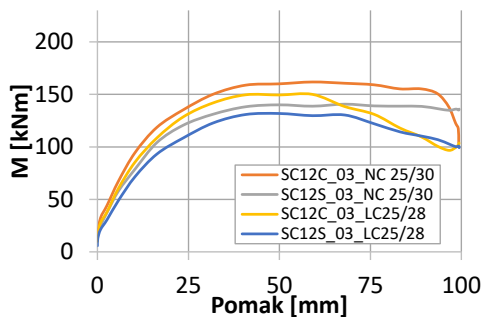
Slike 2-5 prikazuju utjecaj broja točkastih zavara u sustavu čeličnog nosača, utjecaj razreda betona te stupnja spreznjanja posmičnog spoja na nosivost spregnutog nosača. Prema priloženim rezultatima numeričkih analiza, na slikama 2-5, utjecaj broja točkastih zavara je značajno manji od utjecaja stupnja spreznjanja i razreda betona na otpornost sustava na savijanje (M). Prema slici 3, može se vidjeti kako normalnoteški beton daje otprilike za 10 kNm veću otpornost na savijanje u odnosu na lakoagregatni.

**Tablica 1.** Geometrijske karakteristike [mm]

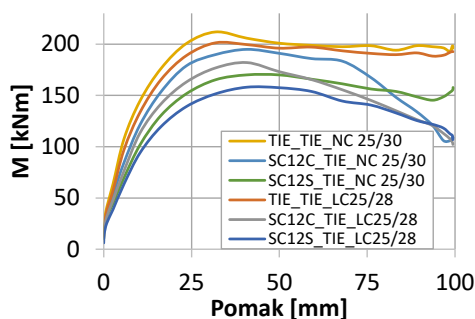
Visina betonske ploče	120
Debljina valovitog hrpta	0.8
Debljina posmičnih ploča	1.0
Debljina valovitog lima	1.0
Visina vijka	84



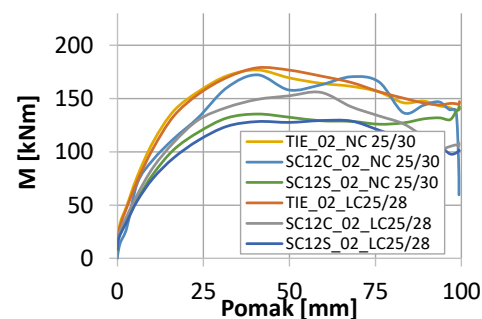
Slika 2. Utjecaj broja točkastih zavara



Slika 3. Utjecaj razreda betona



Slika 4. Utjecaj stupnja spreznja - čelični elementi – tie spoj



Slika 5. Utjecaj stupnja spreznja – čelični elementi - 02

Najveći utjecaj pokazao je stupanj spreznja kod kojeg se otpornost na savijanje povećava za 45 kNm od djelomičnog (SC12S) do punog stupnja spreznja (tie).

## 4. Zaključak

Rezultati numeričkih analiza pokazali su da najveći utjecaj na otpornost na savijanje od razmatranih utjecaja u sustavu ima stupanj spreznja posmičnog spoja dobiven različitim rasporedom sredstava za spreznjanje. Utjecaj broja točkastih zavara iznimno je malen, ali prisutan dok modeli s lakoagregatnim betonom uslijed ranijeg drobljenja betona imaju manju otpornost na savijanje u usporedbi s modelima s normalnoteškim betonom.

## Financiranje

Ovaj rad je sufinancirala Hrvatska zaklada za znanost projektom UIP-2020-02-2964 (LWT-FLOOR).

**Literatura**

- [1] Dujmović, D., Androić, B., Lukačević, I.: Composite Structures According to Eurocode 4: Worked Examples, 2015., <https://doi.org/10.1002/9783433604908>.
- [2] Hanaor, A.: Tests of composite beams with cold-formed sections, *Journal of Constr. Steel Res.* 2000;54:245–64. [https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(99\)00046-2](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(99)00046-2).
- [3] Jung, D.S., Park, S.H., Kim, T.H., Han, J.W., Kim, C.Y.: Demountable Bolted Shear Connector for Easy Deconstruction and Reconstruction of Concrete Slabs in Steel–Concrete Bridges, *App. Sci.* 2022;12. <https://doi.org/10.3390/app12031508>.
- [5] Landolfo, R., Mammana, O., Portioli, F., Di Lorenzo, G., Guerrieri, M.R.: Laser welded built-up cold-formed steel beams: Experimental investigations, *Thin-Walled Struct* 2008;46:781–91. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2008.03.009>.
- [6] Briskham, P., Blundell, N., Han, L., Hewitt, R., Young, K., Self-Pierce Riveting BDC. Resistance Spot Welding and Spot Friction Joining for Aluminium Automotive Sheet, *Proc. SAE 2006 World Congr. Exhib., Detroit, MI, USA*: 15
- [7] Guenfoud, N., Tremblay, R., Rogers, C.A.: Arc-Spot Welds for Multi-Overlap Roof Deck Panels. *Proc. Twent. Int. Spec. Conf. Cold-Formed Steel Struct. St. Louis, MO, USA*: 535-549
- [8] Dubina, D., Ungureanu, V., Gîlia, L.: Cold-formed steel beams with corrugated web and discrete web-to-flange fasteners, *Steel Construction* 2013;6:74–81. <https://doi.org/10.1002/stco.201310019>.
- [9] Dubina, D., Ungureanu, V., Dogariu, A.: Lightweight Footbridges of Cold Formed Steel Corrugated Web Beams: Technical Solution And Evaluation, *8th Int. Symp. Steel Bridg. Innov. New Challenges 2015, Istanbul*: 2015.
- [10] Ungureanu, V., Dubina, D.: Influence of Corrugation Depth on Lateral Stability of Cold-Formed Steel Beams of Corrugated Webs. *Acta Mech Autom* 2016;10:104–11. <https://doi.org/10.1515/ama-2016-0017>.
- [11] Corp DSS. Dassault Systèmes Simulia Corp. ABAQUS, User's Manual 2016.
- [12] European Committee for Standardization CEN. EN 1994-1-1: Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. 2004.
- [13] Lukačević, I., Ćurković, I., Rajić, A., Bartolac, M. Lightweight Composite Floor System—Cold-Formed Steel and Concrete—LWT-FLOOR Project. *Buildings*,12 <https://doi.org/10.3390/buildings12020209>.