

PRIMJERI PRORAČUNA SPREGNUTIH KONSTRUKCIJA

# Za sve koje zanimaju konstrukcijski elementi od čelika i betona

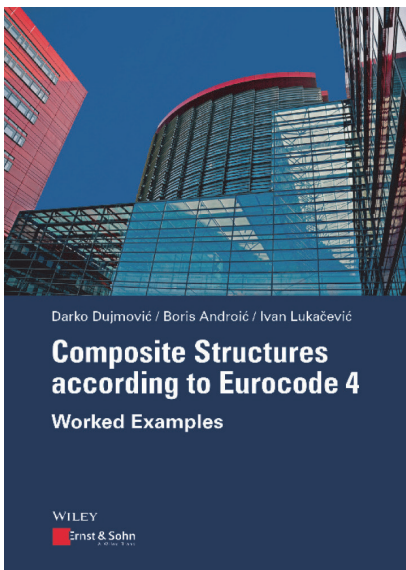
PRIPREMIO:  
Ivan Lukačević

**Postojeća norma ne predstavlja sadašnju razinu znanstvenog stanja te izrade i primjene sustava od čelika i betona jer su sva ispitivanja obavljena krajem prošlog stoljeća**

*Naslov: Composite Structures according to Eurocode 4 – Worked Examples. Autori: prof. dr. sc. Darko Dujmović, prof. dr. sc. Boris Androić, dr. sc. Ivan Lukačević. Nakladnik: Wiley, Ernst & Sohn, Berlin. Korice: Sophie Bleifuß, Berlin. Tisak i uvez: Strauss GmbH, Mörlenbach, Njemačka. Godina izdanja: 2015. Format: B5, tvrdi uvez, ePDF i oBook.*

Knjiga *Composite Structures according to Eurocode 4 – Worked Examples*, čiju su autori prof. dr. sc. Darko Dujmović i dr. sc. Ivan Lukačević s Građevinskog fakulteta u Zagrebu i prof. dr. sc. Boris Androić, direktor projektantskog ureda *I.A. Projektiranje* d.o.o. iz Zagreba, objavljena je u nakladi izdavačke tvrtke *Wiley, Ernst & Sohn*, jedne od najjačih globalnih izdavačkih kuća specijaliziranih za akademsko nakladništvo koja je objavila djela više od 360 nobelovaca. Izvorno je knjiga bila objavljena 2014. pod naslovom *Primjeri proračuna spregnutih konstrukcija prema Eurocode 4*, izdavač je bio *I. A. Projektiranje*, a sada su je autori preveli na engleski jezik.

Namijenjena je svim sudionicima građevnja čiji su predmet zanimanja konstrukcijski elementi od čelika i betona. Osnovne se ideje planiranja takvih elemenata bitno razlikuju u odnosu na one u početku njihova razvoja. Korištenje komercijalnih računalnih programa u proračunima elemenata od čelika i betona gotovo nije moguće bez prethodnog poznavanja "ručno" provedenog postupka. Radi toga, da bi se otklonila ta tradicionalna zapreka, izrađen je niz numeričkih primjera koji su odabrani tako da u redoslijedu posjeduju didaktički i edukacijski karakter.



Naime, svaka norma ima svoje nedoumice pa tako i EN 1994. Autori obrađuju i prikazuju neke nejasnoće tako da ih detaljno analiziraju i komentiraju. Posljedica relativno dugog razdoblja i usvajanja EN-a 1994–2004 bila je ta da njome nisu obuhvaćeni novi oblici uporabe čelika i betona koji su primjenjuju na građevinskome tržištu Europske unije.

Prema tome, norma EN 1994–2004 ne predstavlja *state of the art*, odnosno sadašnju razinu znanstvenog stanja i suvremene izrade i primjene inovativnih sustava od čelika i betona. U prilog toj činjenici ide i podatak da neka ispitivanja koja su korištena u normi datiraju iz osamdesetih i devedesetih godina prošlog stoljeća. Međutim, nove će ideje u normi biti samo njezina dopuna i nadogradnja. Zato je dobro poznavati detalje proračuna sadašnje norme EN 1994–2004. Upravo ta činjenica bila je

motivacija za izradu tih numeričkih primjera. Razvoj nove generacije norme EN 1994–2018, čije je donošenje predviđeno u 2018. godini, temeljit će se dijelom i na odgovorima i komentarima građevinske industrije na postojeću normu. S druge strane, projektanti postavljaju zahtjeve da se neka pravila moraju pojednostaviti za primjenu u praksi, bolje i detaljnije obrazložiti, korigirati i na kraju bolje uskladiti s ostalim europskim normama. Ta se harmonizacija posebno odnosi na EN 1992 i EN 1993 te na smanjivanje broja NA (nacionalnih dodataka).

Primjeri u poglavlju A odnose se na prikaz proračuna vrijednosti vremenskih deformacija betona kao što su pužanje i skupljanje koje su sadržane u normi EN 1992, a koriste se i u normi EN 1994. Konačne vrijednosti koeficijenta pužanja određuju se uz pomoć nomograma iz norme EN 1992, međutim ta norma ne daje nomograme za određivanje konačnih vrijednosti deformacija zbog skupljanja. Zbog toga u tim primjerima nisu korišteni nomogrami koji se mogu naći u literaturi. Vrijednosti vremenskih deformacija betona prikazani su u primjerima na način da ih mogu koristiti projektanti u praksi.

Primjeri u poglavlju B odnose se na nosače sastavljene od čeličnih profila i betonskih pojasnica. Iako su ti konstrukcijski elementi u normi EN 1994 detaljno obrađeni, još uvijek postoje dvojbe o proračunu graničnog stanja uporabljivosti. One se mogu uočiti u primjerima, a na kraju su zadatka i komentirane. Može se očekivati da će biti riješene ili bolje obrazložene u sljedećim izdanjima eurokodova. Nosači izvedeni od čelika i betona povišene čvrstoće primjenjuju se sve češće, ali još uvijek nisu odgovarajuće zastupljeni u sadašnjoj normi. Isto tako, iako su često u primjeni, prednapeti elementi nisu pokriveni pravilima u normi

EN 1994. Primjeri u poglavlju B detaljno pokazuju problematiku proračuna nosivosti moždanika čija se otpornost određuje *push out* testom.

Primjeri u poglavlju C odnose se na proračun stupova sastavljenih od čelika i betona. Preporuka norme EN 1994-1-1 jest da se proračun provede prema pojednostavljenoj metodi. Međutim, kod stupova s nejednolikim ili asimetričnim poprečnim presjecima dokazivanje može biti provedeno samo uz pomoć opće metode. Ta metoda nije prikladna u praksi, a u normi ne postoje detaljnije smjernice za njezinu primjenu. Ako se i koristi računalna (sofverska) podrška, potrebno je prethodno dobro poznavati pravila za pojednostavljenu metodu. Zbog toga su u primjerima u poglavlju C detaljno obrazloženi članci koji vrijede za pojednostavljenu metodu. Za stupove izložene samo uzdužnome tlaku dokaz je isti za čelične i spregnute stupove, pa se može koristiti postupak. Međutim, kod stupova izloženi istodobno uzdužnome tlaku i savijanju dokazivanje se provodi prema teoriji drugog reda, uvođenjem zamjenske imperfekcije. Imperfekcija se dodaje samo u ravnini za koju se smatra da će se uključiti otkazivanje. Ako nije očito koja je to ravnina, dokazivanje se mora provesti za obje ravnine. Na primjer, ako je stup opterećen uzdužnim tlakom i jednoosnim savijanjem, dokazivanje se često provodi za "uzdužnu silu i dvoosno savijanje".

Izmjena će nove norme EN 1994-2018 obuhvatiti dopunu ili korekciju nekih informativnih dodataka jer ih neke zemlje nisu prihvatile. To se posebno odnosi na otpornost stupova od cijevi ispunjenih betonom koji su obuhvaćeni Dodatkom H, EN 1994-1-1 na požar.

U numeričkim primjerima u poglavlju D obrađene su ploče sastavljene od čeličnih profiliranih limova i betona, u kojima se može uočiti sva složenost problema njihova proračuna, ali i neke dvojbe koje vjerojatno treba riješiti u budućnosti. Poseban interes u izradi nove generacije norme EN 1994-2018 jest uvođenje smjernica za neke nove tipove spregnutih ploča u norme. Ti se novi tipovi drže principa da je unutar poprečnog presjeka ploče potrebno imati "više praznog prostora", što znači manje betona, manju masu ploče, ali uz djelotvornu krutost na savijanje.

Problemi umora prikazani su primjerima u poglavlju E. Cjeloviti dokaz umaranja elemenata sastavljenih od čelika i betona norma EN 1994 daje samo za moždanike s glavom. Dokaz umaranja provodi se za konstrukcijski čelik (EN 1993), beton (EN 1992) i armaturu (EN 1992), iz čega se može zaključiti da je taj dokaz vrlo složen problem.

U posljednjem su poglavlju, označenom slovom F, prikazana konstrukcijska rješenja priključaka koja se najčešće primjenjuju u praksi.

U proteklome razdoblju kompozitni konstrukcijski elementi sastavljeni od čelika i betona nisu iz različitih razloga dobili priliku za veću primjenu, barem ne u onoj mjeri u kojoj to sasvim sigurno zaslužuju. Međutim, imajući u vidu sve prethodno iznesene činjenice, pa čak i neke nejasnoće oko daljnjeg razvoja nove generacije eurokodova, može se reći da se sada pruža nova prilika za primjenu kompozitnih elemenata.

Posebno treba spomenuti složenu problematiku, detaljno obrađenu u knjizi, koja se odnosi na distorzijsko i torzijsko izvijanje nosača, djelomičnu posmičnu vezu, učinke skupljanja kao i primjenu uzdužne armature u rebrima profiliranih limova, koju je posebno istaknuo profesor emeritus Roger P. Johnson sa Sveučilišta u Warwicku u prikazu knjige objavljenom u časopisu *The Structural Engineer* u izdanju The Institution of Structural Engineers (Institucije građevinskih konstruktora) iz Londona.

Knjiga je izazvala veliko zanimanje konstruktora u svakodnevnoj inženjerskoj praksi, ali i nastavnika koji se svakodnevno bave obrazovanjem studenata, pa je našla svoje mjesto u bibliotekama prestižnih sveučilišta kao što su Massachusetts Institute of Technology (MIT), Stanford University, Imperial College London i sveučilišta Cambridge i Oxford te ETH Zürich – Švicarskoga saveznoga tehnološkog instituta u Zürichu.