

MILAN SPREMIĆ

**PRORAČUN
SPREGNUTIH
KONSTRUKCIJA OD
ČELIKA I BETONA**

ZBIRKA ZADATAKA

BEOGRAD, 2021

Autor:

Dr Milan Spremić, dipl.građ.inž.
docent Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet

Naslov:

PRORAČUN SPREGNUTIH KONSTRUKCIJA OD ČELIKA I BETONA
ZBIRKA ZADATAKA

Izdavač]:

Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet
Akademska misao, Beograd

Recenzenti:

Dr Dragan Buđevac, dipl.građ.inž.
profesor emeritus Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet
Dr Zlatko Marković, dipl. građ. inž.
redovni profesor Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet

Naslovna stranU`

Ana Spremić

Lektura i korektura:

Mirjana Tomić, profesor književnosti i jezika

Štampa:

Akademska misao

.

ISBN 978-86-7466-855-9

Tiraž: 250

CIP – Katalogizacija u publikaciji

Narodna biblioteka Srbije, Beograd

REČ UNAPRED

Zbirka zadataka iz oblasti spregnutih konstrukcija od čelika i betona namenjena je studentima i inženjerima. Studentima zbirka treba da pomogne da uspešno ovladaju problemima spregnutih konstrukcija, kroz teme koje se obrađuju na predmetima: Projektovanje spregnutih konstrukcija od čelika i betona, Spregnute konstrukcije od čelika i betona i Spregnute konstrukcije. Istovremeno, želja autora je i da se inženjerima u praksi približe proračuni spregnutih konstrukcija i konstruktivna rešenja, bez kojih nije moguće uspešno graditi savremene višespratne zgrade. Zbirka se sastoji od primera proračuna konstruktivnih spregnutih elemenata i kratkih zadataka koji pojašnjavaju određene teme spregnutih konstrukcija. Prikazani postupak proračuna spregnutih elemenata je u skladu sa odredbama standarda Evrokod 4. U zadacima su prikazani proračuni: spregnutih ploča na profilisanom limu, spregnutih greda i spregnutih stubova.

Spregnute konstrukcije zauzimaju važno mesto u savremenom građevinarstvu. U našoj graditeljskoj praksi, spregnute konstrukcije se sve više projektuju i izvode, te tako napreduju ka poziciji, koja im po njihovim osobinama pripada - kako u mostogradnji, tako i u zgradarstvu. Duži niz godina kroz nastavu i struku, autor popularizuje oblast spregnutih konstrukcija. Želja autora je da i ovaj tekst doprinese da se u budućnosti inženjeri smelije i češće odlučuju za izvođenje objekata sa spregnutim konstruktivnim elementima od čelika i betona.

Autor veliku zahvalnost duguje recenzentima, profesorima Draganu Buđevcu i Zlatku Markoviću, koji su svojim vrednim sugestijama i komentarima doprineli da se rukopis popravi. Autor je zahvalan profesorima i na višegodišnjoj podršci koju su mu pružili u njegovom naučnom i nastavnom radu u oblasti spregnutih konstrukcija od čelika i betona. Saradnica na Fakultetu tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, Tanja Nožica, uložila je veliki trud i vreme za kontrolu numeričkog dela teksta, na čemu joj je autor zahvalan.

Milan Spremić
Beograd, Septembar 2020

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
2.	ANALIZA NAPONA I DEFORMACIJA SPREGNUTIH KONSTRUKCIJA OD ČELIKA I BETONA.....	2
2.1	Ekvivalentni - Idealizovani poprečni presek	4
3.	REOLOŠKA SVOJSTVA BETONA.....	8
	Zadatak 1: Proračun napona u spregnutom poprečnom preseku	13
	Z1.1 Proračun vrednosti koeficijenta tečenja.....	16
	Z1.2 Efekti tečenja betona na vrednost napona u poprečnom preseku.....	19
	Z1.2 Efekti skupljanja betona na vrednost napona u poprečnom preseku.....	21
4.	SPREGNUTA PLOČA NA PROFILISANOM LIMU	27
4.1	Uvod.....	27
4.2	Ponašanje spregnute ploče u toku građenja.....	28
	Zadatak 2: Proračun nosivosti profilisanog lima.....	30
	Z2.1 Nosivost profilisanog lima, gornja ivica profilisanog lima pritisnuta.....	32
	Z2.2 Nosivost profilisanog lima, donja ivica profilisanog lima pritisnuta	35
	Z2.3 Nosivost profilisanog lima na smicanje	38
4.3	Konstruktivno rešenje spregnute ploče na profilisanom limu	40
4.4	Proračun spregnute ploče	42
4.5	Nosivost spregnute ploče na savijanje	44
4.6	Podužni smičući spoj	47
	4.6.1 Smičući spoj - profilisani lim nije ankerisan na krajevima	47
	4.6.2 Smičući spoj - profilisani lim ankerisan na krajevima	49
	Zadatak 3: Proračun spregnute ploče na profilisanom limu.....	51
	Z3.1 Kontrola nosivosti profilisanog lima u fazi građenja.....	53
	Z3.2 Kontrola nosivosti spregnute ploče	59
	Z3.3 Podužni smičući spoj – bez ankerisanja profilisanog lima na krajevima	62
	Z3.4 Podužni smičući spoj – profilisani lim ankerisan na krajevima	65
	Z3.4.1 Profilisani lim ankerisan na krajevima elastičnim moždanicima sa glavom	65
	Z3.4.2 Profilisani lim ankerisan na krajevima dodatnom armaturom u ploči	67

Z3.5 Granično stanje upotrebljivosti spregnute ploče - ugib	69
Zadatak 4: Proračun spregnute ploče statičkog sistema kontinualne grede.....	73
Z4.1 Kontrola nosivosti profilisanog lima u fazi građenja.....	75
Z4.2 Kontrola nosivosti spregnute ploče	81
Z4.2.1 Spregnuta ploča statičkog sistema proste grede.....	81
Z4.2.2 Spregnuta ploča statičkog sistema kontinualne grede.....	85
Z4.2.3 Spregnuta ploča statičkog sistema kontinualne grede sa preraspodelom momenta savijanja	88
Z4.4 Granično stanje upotrebljivosti – ugib.....	90
Z4.4.1 Kontrola ugiba spregnute ploče statičkog sistema proste grede.....	91
Z4.4.2 Kontrola ugiba za ploču statičkog sistema kontinualne grede	94
Zadatak 5: Nosivost na proboj i lokalno savijanje spregnute ploče usled dejstva koncentrisanih sila	97
Z5.1 Kontrola nosivosti na proboj	98
Z5.2 Kontrola nosivosti na lokalno savijanje koncentrisanim opterećenjem	99
5. SPREGNUTI NOSAČI	101
5.1 Efektivna širina betonske ploče	101
5.2 Nosivost na savijanje spregnutog poprečnog preseka.....	102
5.3 Granično stanje upotrebljivosti.....	110
5.4 Proračun nosivosti podužnog smičućeg spoja.....	111
5.5 Proračun nosivosti na smicanje elastičnih moždanika sa glavom.....	115
Zadatak 6: Proračun nosivosti podužnog smičućeg spoja.....	118
Z6.1 Nosivosti spregnutog poprečnog preseka	121
Z6.2 Kontrola nosivosti podužnog smičućeg spoja.....	122
Z6.2.1 Raspored moždanika prema teoriji plastičnosti.....	123
Z6.2.2 Raspored moždanika prema teoriji elastičnosti	124
Zadatak 7: Proračun spregnutog podnog nosača.....	128
Z7.1 Proračun nosivosti poprečnog preseka.....	132
Z7.1.1 Nosivost poprečnog preseka u toku izgradnje (faza 1)	132
Z7.1.2 Nosivost spregnutog poprečnog preseka (faza 2)	133
Z7.2 Kontrola nosivosti podužnog smičućeg spoja.....	134
Z7.3 Proračunska nosivost na savijanje - nosač sa parcijalnim smičućim spojem	137
Z7.4 Kontrola nosivosti spregnute ploče na podužno smicanje.....	138
Z7.5 Kontrola graničnog stanja upotrebljivosti – ugib nosača.....	140
Zadatak 8: Spregnuti podni nosač sa privremenim osloncima u fazi građenja	146

Z8.1 Proračun nosivosti poprečnog preseka.....	151
Z8.1.2 Nosivost poprečnog preseka u toku izgradnje (faza 1)	151
Z8.1.2 Nosivost spregnutog poprečnog preseka (faza 2)	153
Z8.2 Kontrola nosivosti podužnog smičućeg spoja.....	155
Z8.2.1 Konstruktivno rešenje smičućeg spoja sa elastičnim moždanicima sa glavom	155
Z8.2.2 Konstruktivno rešenje podužnog smičućeg spoja sa moždanicma HILTI HVB	156
Z8.3 Kontrola nosivosti ploče na podužno smicanje za pun smičući spoj.....	159
Z8.4 Kontrola graničnog stanja upotrebljivosti - ugib nosača	160
Z8.4.1 Kontrola ugiba čeličnog nosača u toku građenja (faza 1)	160
Z8.4.2 Kontrola ugiba spregnutog nosača (faza 2).....	160
Z8.5 Kontrola graničnog stanja upotrebljivosti – vibracije	166
Zadatak 9: Spregnuti podni nosač statičkog sistema kontinualne grede na dva polja.....	169
Z9.1 Efektivna širina armiranobetonke ploče	174
Z9.1 Uticaj prslina u betonu	175
Z9.3 Proračun nosivosti poprečnog preseka.....	179
Z9.3.1 Nosivost poprečnog preseka u toku građenja (faza 1)	179
Z9.3.2 Nosivost spregnutog poprečnog preseka (faza 2)	180
Z9.3 Kontrola nosivosti podužnog smičućeg spoja.....	184
Z9.4 Kontrola nosivosti ploče na podužno smicanje	186
Z9.5 Kontrola stabilnosti na bočno-torziono izvijanje.....	187
Z9.6 Kontrola graničnog stanja upotrebljivosti - ugib nosača	188
Z9.6.1 Kontrola ugiba čeličnog nosača u toku građenja (faza 1)	188
Z9.6.2 Kontrola ugiba spregnutog nosača (faza 2).....	189
Z9.7 Kontrola prslina u betonu.....	195
6. SPREGNUTI STUBOVI.....	198
6.1 Definisane interakcione krive.....	199
6.2 Kontrola stabilnosti	209
Zadatak 10: Centrično pritisnuti stub	212
Z10.1 Nosivost poprečnog preseka.....	214
Z10.2 Kontrola nosivosti stuba na fleksiono izvijanje	215
Zadatak 11: Definisane interakcione krive.....	218
Z11.1 Nosivost poprečnog preseka.....	221
Z11.2 Interakciona kriva.....	221

Z11.2.1 Tačka A interakcione krive	222
Z11.2.2 Tačka B interakcione krive	222
Z11.2.3 Tačka D interakcione krive.....	224
Z11.2.4 Tačka C interakcione krive.....	225
Zadatak 12: Ekscentrično pritisnut stub.....	227
Z12.1 Kontrola nosivosti na fleksiono izvijanje	231
Z12.2 Kontrola nosivosti poprečnog preseka - interakcija M-N	234
Z12.2.1 Interakciona kriva za $N + M_y$	234
Z12.2.2 Interakciona kriva za $N + M_z$	238
Z12.3 Uticaji u stubu prema teoriji drugog reda.....	240
Z12.4 Kontrola stabilnosti stuba.....	244
PRILOG 1: MOMENTI NOSIVOSTI SPREGNUTIH POPREČNIH PRESEKA GREDA	245
PRILOG 2: INTERAKCIONE KRIVE ZA KOMBINOVANO NAPREZANJE STUBOVA $N-M_y$, $N-M_z$	250
LITERATURA.....	273

1. UVOD

Sprezanje je konstruktivno oblikovanje elemenata objedinjavanjem više materijala različitih karakteristika u jednu celinu. Sprezanjem se mogu oblikovati i elementi od istog materijala, na primer, elementi od dva betona različite starosti. Cilj kombinovanja različitih materijala u jednom konstruktivnom elementu je da se iskoriste najbolje osobine svakog materijala i da se na taj način dobiju bolje performanse konstruktivnog elementa. U našoj građevinskoj praksi se pod pojmom sprezanje, uglavnom podrazumeva spajanje konstrukcionog čelika i betona, zbog čega je uobičajeno da se za ovakve konstrukcije koristi skraćeni termin spregnute konstrukcije umesto termina spregnute konstrukcije od čelika i betona.

U spregnutim konstrukcijama od čelika i betona objedinjuju se najbolje osobine čelika i betona.

Evrokod 4 [10] definiše spregnuti element i smičući spoj:

- 0 „*Spregnuti element je element konstrukcije sa komponentama od betona i konstrukcionog ili hladnooblikovanog čelika, međusobno povezanih smičućim spojem koji ograničava podužno proklizavanje između betona i čelika i odvajanje jedne komponente od druge*“.
- 0 „*Smičući spoj je međusobni spoj betonskih i čeličnih komponentata spregnutog elementa koji ima dovoljnu nosivost i krutost da omogućí da se dve komponente proračunaju kao delovi jednog konstrukcijskog elementa*“

Uvođenjem Evrokod standarda u našu građevinsku praksu, prvi put u Srbiji imamo sveobuhvatne standarde za spregnute konstrukcije od čelika i betona. U zbirci su obrađeni spregnuti konstruktivni elementi koji su nezaobilazni u višespratnim zgradama sa čeličnom ili spregnutom nosećom konstrukcijom. Centralni deo zbirke su primeri proračuna elemenata konstrukcije: spregnute ploče, spregnutog nosača i spregnutog stuba koji su urađeni u skladu sa odredbama standarda SRPS EN 1994-1-1 *Evrokod 4 Spregnute konstrukcije od čelika i betona - Opšta pravila i pravila za zgrade* [10]. U poglavljima koja prethode rešenim numeričkim primerima, prikazani su izrazi koji su neophodni za proračun spregnutih elemenata od čelika i betona.

Na kraju zbirke data su i dva priloga. U prvom prilogu prikazane su tablice proračunskih nosivosti na savijanje spregnutih poprečnih preseka nosača. U drugom prilogu prikazane su krive interakcije spregnutih stubova za dva tipa poprečnih preseka.

2. ANALIZA NAPONA I DEFORMACIJA SPREGNUTIH KONSTRUKCIJA OD ČELIKA I BETONA

Da bi se uspešno i u potpunosti razumeli numerički primeri proračuna spregnute ploče na profilisanom limu, spregnutog podnog nosača i spregnutog stuba, u ovom poglavlju zbirke prikazaće se teorijske osnove spregnutih konstrukcija, koje su neophodne za razumevanje numeričkih primera.

Spregnute konstrukcije od čelika i betona karakteriše fazno građenje i nanošenje opterećenja, što bitno utiče na karakteristike konstrukcije i njeno ponašanje tokom građenja i eksploatacije. Ponašanje konstrukcije je zavisno od vremena pa tako i matematički modeli koji opisuju ponašanje konstrukcije su funkcije vremena.

Osobina betona kao viskoelastičnog materijala, može se analizirati sa nekoliko stanovišta. Sa stanovišta tehnologije betona mogu se analizirati fizičko-hemijski procesi u betonu koji dovode do viskoelastičnih deformacija. Reologija materijala analizira viskoelastičnost betona, pokušavajući da opiše na što tačniji način vezu napona i deformacija u betonu. Sa stanovišta teorije konstrukcija analiziraju se viskoelastične osobine betona kroz njihov uticaj na napone i deformacije elemenata konstrukcije.

Da bi se došlo do vrednosti napona i deformacija u tačkama poprečnog preseka spregnutog nosača, poprečni presek spregnutog nosača aproksimira se ekvivalentnim – idealizovanim poprečnim presekom od homogenog materijala. Spregnuti nosač formiran od čeličnog nosača (**a**), betonske ploče (**c**) i armature u betonskoj ploči (**s**), aproksimira se ekvivalentnim – idealizovanim poprečnim presekom od materijala sa „uporednim“ modulom elastičnosti, koji se, radi pojednostavljenja, najčešće usvaja da je jednak modulu elastičnosti čelika E_a . Geometrija ekvivalentnog – idealizovanog poprečnog preseka uporednog modula elastičnosti, izračunava se sabiranjem geometrijskih karakteristika delova poprečnog preseka spregnutog nosača, pri čemu se geometrijske karakteristike redukuju odnosom modula elastičnosti materijala razmatranog dela poprečnog preseka i uporednog modula elastičnosti. Proračun napona i pomeranja spregnutog nosača, analogan je proračunu za ekvivalentni čelični nosač poprečnog preseka od homogenog materijala sa modulom elastičnosti koji je jednak modulu elastičnosti čelika [15], pri čemu važe pretpostavke teorije savijanja štapa od homogenog elastičnog materijala: