

# **ČELIČNE KONSTRUKCIJE U ZGRADARSTVU**

Opšta pravila za projektovanje prema SRPS EN standardima  
i nacionalnim priložima

Jelena Dobrić  
Nina Gluhović  
Dragan Buđevac

Beograd, 2023.

**Naslov:**

Čelične konstrukcije u zgradarstvu

**Autori:**

Vanredni profesor dr Jelena Dobrić, Građevinski fakultet Univerziteta u  
Beogradu

Docent dr Nina Gluhović, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

Profesor emeritus dr Dragan Buđevac, Građevinski fakultet Univerziteta u  
Beogradu

**Recenzenti:**

Redovni profesor dr Milan Veljković, Faculty of Civil Engineering and  
Geosciences, Delft University of  
Technology, Netherlands

Redovni profesor dr Duško Lučić, Građevinski fakultet Univerziteta Crne Gore

Vanredni profesor dr Milan Spremić, Građevinski fakultet Univerziteta u  
Beogradu

**Naslovna strana:**

Zdravko Spasojević, dipl. inž. arh.

**Lektura i korektura:**

Višnja Aksić, msr prof. jez. i knjiž.

**Tehnički urednici:**

Veljko Zajc i Slobodan Tonić

**Izdavači:**

Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet

Akademski misao, Beograd

**Štampa:**

Planeta print, Beograd

ISBN 978-86-7466-991-4

Tiraž 300 primeraka

Mesto i godina izdanja: Beograd, 2023.

## PREDGOVOR

Knjiga koja je pred vama rezultat je našeg višegodišnjeg pedagoškog rada u obrazovanju studenata Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, ekspertize i praktičnog iskustva u projektovanju i realizaciji čeličnih konstrukcija u građevinarstvu, kao i međunarodnih referenci koje smo stekli u naučnom i istraživačkom radu. Opšta pravila za projektovanje čeličnih konstrukcija u zgradarstvu, u skladu sa važećim SRPS EN standardima i nacionalnim priložima, prezentovana su u knjizi numerički i grafički s namerom da ciklus interakcije i razmene znanja sa studentima i inženjerima u praksi bude efektivniji i efikasniji. Knjiga *Čelične konstrukcije u zgradarstvu* na sistematičan način opisuje procedure za projektovanje nosećih konstrukcija hala i višespratnih zgrada prema teoriji graničnih stanja, kroz niz detaljnih i funkcionalno povezanih celina, koje uključuju:

- metode globalne analize konstrukcije, metode analize koje uzimaju u obzir materijalne i geometrijske nelinearnosti, analizu uticaja drugog reda i početnih imperfekcija na nosivost konstrukcije;
- preporuke i pravila za izradu dispozicionih rešenja nosećih konstrukcija hala sa mostnim kranovima; preporuke za proračun dejstava usled mostnih kranova; konstrukcijska rešenja i proračun oslonačke noseće konstrukcije kranova u industrijskim halama i skladištima;
- konstrukcijska rešenja i proračun okvirnih nosača, punih i rešetkastih krovnih nosača, zavarenih nosača sa otvorima u rebru, nosača sa profilisanim rebrom i glavnih stubova;
- konstrukcijska rešenja i proračun momentnih i zglobnih veza, veza u čvorovima rešetkastih nosača i oslonačkih stopa stubova na armiranobetonskim temeljima;
- konstrukcijska rešenja i proračun noseće konstrukcije zidova;
- konstrukcijska rešenja, analize i proračun sistema za prostornu stabilizaciju konstrukcije;
- klasifikaciju konstrukcijskih sistema višespratnih zgrada i osnove proračuna međuspratnih konstrukcija.

Nesebičnu i bezrezervnu podršku dugotrajnom procesu stvaranja i prikupljanja novih znanja koja su sistematizovano integrisana u ovu knjigu pružili su njeni recenzenti; posebno zahvaljujemo profesoru dr Milanu Veljkoviću (Tehnički univerzitet u Delftu), profesoru dr Dušku Lučiću (Univerzitet u Podgorici) i vanrednom profesoru dr Milanu Spremiću (Univerzitet u Beogradu). Veliku zahvalnost na neiscrpnjoj pomoći u izradi grafičkih priloga i autentičnom vizuelnom identitetu ove knjige dugujemo inženjeru arhitekture Zdravku Spasojeviću i inženjerima građevine Sari Stanišić Braletić, Luki Poprženu i Nebojši Hadži-Antiću. Zahvaljujemo docentu dr Nenadu Fricu i društveno odgovornim kompanijama u Srbiji i Bosni i Hercegovini na snažnoj prijateljskoj podršci u naporima da ova knjiga dospe do svojih čitalaca.

Beograd, novembar 2023. godine

Jelena Dobrić  
Nina Gluhović  
Dragan Buđevac

# SADRŽAJ

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>Analiza konstrukcija</b>	<b>26</b>
2.1	Modeliranje konstrukcije za analizu	26
2.2	Metode globalne analize	28
2.3	Uticao deformisane geometrije	32
2.4	Početne imperfekcije konstrukcije	34
2.5	Metode analiza koje uzimaju u obzir nelinearnosti	36
2.6	Modeliranje, klasifikacija i idealizacija veza	39
2.6.1	Modeliranje veza	41
2.6.2	Klasifikacija veza	42
2.6.3	Elastična idealizacija za elastičnu analizu	45
2.6.4	Kruto-plastična idealizacija za kruto plastičnu analizu	46
2.6.5	Nelinearna idealizacija za elasto-plastičnu analizu	46
2.6.6	Osnove za proračun veza	47
<b>3</b>	<b>Industrijske hale i skladišta</b>	<b>50</b>
3.1	Uvod	50
3.2	Opšta pravila za izradu dispozicionog rešenja hale	53
3.3	Osnovni elementi noseće konstrukcije hale	61
<b>4</b>	<b>Transport unutar hale</b>	<b>68</b>
4.1	Kranovi u industrijskim halama	68
4.2	Tehničke karakteristike mostnih kranova	73
4.3	Dejstva usled mostnih kranova	78
4.3.1	Opšte	78
4.3.2	Vertikalna promenljiva opterećenja	80
4.3.3	Horizontalna promenljiva opterećenja	84
4.3.3.1	Horizontalne sile izazvane ubrzanjem ili usporavanjem kрана	84
4.3.3.2	Horizontalne sile izazvane ubrzanjem ili usporavanjem kolica	86
4.3.3.3	Horizontalne sile izazvane zakošenjem kрана	87
4.3.4	Incidentna opterećenja	91
4.3.4.1	Horizontalne sile usled udara kрана u odbojnik	91
4.3.4.2	Horizontalne sile usled udara kolica u odbojnik	91
4.3.5	Ispitno opterećenje	91
4.3.6	Kombinacije opterećenja	92
4.3.7	Zamor opterećenje	94
4.3.7.1	Pojedinačna dejstva kрана	94
4.3.7.2	Efekti opsega napona kod višestrukih dejstava točkova ili kрана (stress range effects of multiple wheel or crane actions)	96

<b>5</b>	<b>Nosači kranskih staza</b>	<b>98</b>
5.1	Opšte	98
5.2	Proračun nosača kranskih staza prema SRPS EN 1993	102
5.2.1	Opšte	102
5.2.2	Geometrijske karakteristike poprečnog preseka	103
5.2.3	Globalni uticaji kod kranskih nosača	104
5.2.4	Lokalni naponi u rebu kranskog nosača	105
5.2.4.1	Lokalni normalni napon pritiska	106
5.2.4.2	Lokalni napon smicanja	108
5.2.4.3	Lokalni napon savijanja usled ekscentričnog položaja dejstava usled kрана	109
5.2.5	Lokalni napon savijanja u donjoj nožici visećeg kрана	112
5.2.5.1	Metode proračuna	113
5.2.6	Analiza uticaja torzije kod kranskih nosača	116
5.2.7	Kontrolа graničnih stanja nosivosti	121
5.2.7.1	Nosivost poprečnog preseka	121
5.2.7.2	Nosivost nosača na izvijanje	124
5.2.7.3	Nosivost rebra kranskog nosača	126
5.2.7.4	Nosivost donje nožice nosača visećeg ili monorejl kрана	127
5.2.7.5	Lokalni naponi u ugaonim šavovima na mestu veze šine i gornje nožice kranskog nosača	129
5.2.8	Kontrolа graničnih stanja upotrebljivosti	132
5.2.8.1	Opšte	132
5.2.8.2	Kontrolа deformacija	132
5.2.8.3	Ograničenje treperenja rebra	135
5.2.8.4	Elastično ponašanje kranskih nosača	135
5.2.8.5	Bočna vibracija donje nožice	137
5.2.9	Zamor proračunske situacije	137
5.2.9.1	Opšte	137
5.2.9.2	Opseg spektra napona usled zamora	138
5.2.9.3	Verifikacija zamora	139
5.2.9.4	Višestruka dejstva kрана (Multiple crane actions)	141
5.2.9.5	Klasifikacija konstrukcijskih detalja	142
5.3	Konstrukcijsko oblikovanje nosača kranskih staza	145
5.4	Oslanjanje kranskih nosača	150
5.5	Kranske šine	155
5.6	Inspekcija kranskih nosača	162
<b>6</b>	<b>Glavni nosači</b>	<b>166</b>
6.1	Opšte	166
6.2	Okvirni nosači	167
6.2.1	Konstrukcijski sistemi	167
6.2.1.1	Okviri na tri zgloba	172
6.2.1.2	Okviri na dva zgloba	173
6.2.1.3	Okviri sa zategom	174
6.2.1.4	Uklešteni okviri	175

6.2.2	Globalna analiza okvirnih nosača .....	176
6.2.3	Stabilnost okvirnog nosača u ravni .....	179
6.2.4	Stabilnost okvirnog nosača van ravni .....	183
6.2.5	Imperfekcije okvirnih nosača .....	184
6.2.6	Metode proračuna okvirnih nosača .....	188
6.2.7	Uticaji drugog reda u seizmičkoj linearno-elastičnoj analizi .....	192
6.2.8	Dužine izvijanja pritisnutih elemenata okvirnih nosača .....	193
6.2.9	Kriterijumi za projektovanje okvirnih nosača usled seizmičkih dejstava .....	197
6.2.9.1	Projektni kriterijumi za grede .....	197
6.2.9.2	Projektni kriterijumi za stubove .....	199
6.2.9.3	Projektni kriterijumi za veze greda-stub .....	200
6.2.10	Kontrola graničnih stanja nosivosti prema SRPS EN 1993 .....	201
6.2.10.1	Opšte .....	201
6.2.10.2	Kontrola nosivosti poprečnih preseka .....	203
6.2.10.3	Kontrola nosivosti elemenata .....	206
6.2.10.4	Stabilnost elemenata koji sadrže plastične zglobove .....	208
6.2.10.5	Verifikacija nosivosti elemenata koji sadrže plastične zglobove na izvijanje izvan ravni .....	212
6.2.10.6	Elementi konstantnog poprečnog preseka od vrućevaljanih I-profila ili sličnih zavarenih preseka .....	213
6.2.10.7	Elementi sa vutama i elementi promenljive visine od vrućevaljanih I-profila ili sličnih zavarenih preseka .....	216
6.2.10.8	Koeficijenti modifikacije za promenljiv dijagram momenata kod elemenata koji su pridržani duž zategnute nožice .....	220
6.2.10.9	Stabilnost elemenata bez plastičnih zglobova koji su pridržani duž zategnute nožice .....	223
6.2.10.10	Kontrole nosivosti krovnog nosača i stubova .....	225
6.2.10.11	Kontrola stabilnosti rebra na izbočavanje .....	234
<b>6.3</b>	<b>Momentne veze između elemenata okvirnih nosača .....</b>	<b>235</b>
6.3.1	Uvod .....	235
6.3.2	Konstrukcijska rešenja .....	237
6.3.3	Momentne veze prema SRPS EN 1993-1-8 .....	245
6.3.4	Modeliranje veza greda-stub .....	247
6.3.5	Proračunska kriva $M-\phi$ .....	251
6.3.6	Osnovne komponente veze .....	253
6.3.7	Ojačanje veze greda-stub .....	256
6.3.8	Ekvivalentni zategnuti T-element .....	256
6.3.9	Pojedinačni redovi zavrtnjeva, grupe zavrtnjeva i grupe redova zavrtnjeva .....	261
6.3.10	Proračunske nosivosti osnovnih komponenata momentnih veza sa zavrtnjevima i čeonom pločom .....	261
6.3.11	Smičući panel rebra stuba .....	262
6.3.12	Rebro stuba opterećeno poprečnim pritiskom .....	264
6.3.13	Rebro stuba opterećeno poprečnim zatezanjem .....	268
6.3.14	Nožica stuba opterećena poprečnim savijanjem .....	270
6.3.15	Neukručena nožica stuba u zavarenim vezama .....	278
6.3.16	Čeona ploča opterećena savijanjem .....	280
6.3.17	Nožica i rebro grede opterećeni pritiskom .....	286
6.3.18	Rebro grede opterećeno zatezanjem .....	287

6.3.19	Nožica grede u zavarenim vezama .....	287
6.3.20	Zavrtnjevi opterećeni na zatezanje .....	287
6.3.21	Zavrtnjevi opterećeni na smicanje .....	288
6.3.22	Zavrtnjevi opterećeni na pritisak po omotaču rupe .....	288
6.3.23	Proračunski moment nosivosti veza greda-stub i nastavaka .....	289
6.3.24	Veze greda-stub i nastavci sa čeonom pločom i zavrtnjevima .....	291
6.3.25	Moment savijanja i aksijalna sila .....	294
6.3.26	Sile smicanja .....	295
6.3.27	Šavovi .....	295
6.3.28	Rotaciona krutost .....	299
6.3.29	Veze sa čeonim pločama sa dva ili više redova zavrtnjeva u zoni zatezanja .....	301
6.3.30	Uprošćena metoda za čeone ploče sa prepustom i dva reda zavrtnjeva u zoni zatezanja .....	302
6.3.31	Kapacitet rotacije .....	302
6.3.32	Pravila za projektovanje nastavaka .....	304
<b>6.4</b>	<b>Oslonačka stopa stuba .....</b>	<b>305</b>
6.4.1	Konstruktivna rešenja .....	305
6.4.2	Metode proračuna .....	313
6.4.2.1	Ležišna ploča opterećena savijanjem i beton opterećen pritiskom - pritisnuti ekvivalentni T-element .....	315
6.4.2.2	Nožica i rebro stuba opterećeni pritiskom .....	320
6.4.2.3	Ležišna ploča opterećena savijanjem usled zatezanja .....	321
6.4.2.4	Ankeri opterećeni smicanjem .....	322
6.4.2.5	Anker-komponente opterećene na smicanje .....	323
6.4.2.6	Ankeri opterećeni na zatezanje .....	324
6.4.2.7	Anker-komponente opterećene na zatezanje .....	325
6.4.2.8	Ankeri opterećeni na interakciju smicanja i zatezanje .....	326
6.4.2.9	Nosivost trna na smicanje .....	327
6.4.2.10	Proračunska nosivost stopa stubova i ležišnih ploča .....	330
6.4.2.11	Proračun nosivosti tangencijalnog čeličnog ležišta prema SRPS EN 1337-6 .....	335
<b>6.5</b>	<b>Sistemi sa zglobnom vezom krovni nosači i stubova .....</b>	<b>339</b>
6.5.1	Puni krovni nosači .....	343
6.5.1.1	Konstruktivna rešenja .....	343
6.5.1.2	Kontrola graničnih stanja nosivosti .....	350
6.5.2	Rešetkasti krovni nosači .....	355
6.5.2.1	Konstruktivna rešenja .....	355
6.5.2.2	Globalna analiza .....	364
6.5.2.3	Kontrola graničnih stanja nosivosti elemenata rešetkastih nosača .....	366
6.5.2.4	Konstruktivsko oblikovanje i analiza nosivosti čvorova rešetkastih nosača .....	380
6.5.2.5	Montažni i radionički nastavci elemenata rešetkastih nosača .....	397
6.5.2.6	Vezni ugaonici .....	408
6.5.3	Rešetkasti nosači od šupljih profila .....	409
6.5.3.1	Uvod .....	409
6.5.3.2	Opšte odredbe i zahtevi za projektovanje rešetkastih nosača od šupljih profila prema SRPS EN 1993 .....	414
6.5.3.3	Globalna analiza rešetkastih nosača od šupljih profila .....	423
6.5.3.4	Proračun nosivosti veza .....	426

6.5.3.5	Zavarene veze između šupljih profila CHS kružnog poprečnog preseka - ravanske konfiguracije veza .....	437
6.5.3.6	Zavarene veze između elementa ispune od CHS ili RHS ili SHS profila i pojasnih elemenata od RHS ili SHS profila - ravanske konfiguracije veza .....	442
6.5.3.7	Zavarene veze između elementa ispune od RHS ili SHS ili CHS profila i pojaseva I ili H preseka - ravanske konfiguracije veza .....	461
6.5.3.8	Zavarene veze između elemenata ispune od RHS ili SHS ili CHS profila i pojaseva U-preseka - ravanske konfiguracije veza .....	465
6.5.3.9	Montažni nastavci elemenata od šupljih profila .....	467
6.5.4	Oslonci rešetkastih nosača .....	473
6.5.5	Glavni stubovi .....	479
6.5.5.1	Konstruktivska rešenja .....	479
6.5.5.2	Kontrola graničnih stanja nosivosti .....	491
<b>6.6</b>	<b>Nosači sa otvorima u rebru .....</b>	<b>504</b>
<b>6.7</b>	<b>Zavareni profilisani I-nosači .....</b>	<b>513</b>
<b>6.8</b>	<b>Glavni nosači višebrodnih hala .....</b>	<b>517</b>
<b>6.9</b>	<b>Hale sa testerastim krovovima .....</b>	<b>520</b>
<b>6.10</b>	<b>Zglobne veze .....</b>	<b>526</b>
6.10.1	Uvod .....	526
6.10.2	Proračunska nosivost veze .....	529
6.10.2.1	Zahtevi u pogledu duktilnosti i kapaciteta rotacije .....	531
6.10.2.2	Proračunska nosivost na smicanje .....	534
6.10.2.3	Proračunska nosivost na povezanost (tying resistance) .....	541
<b>7</b>	<b>Spregovi i ukrućenja .....</b>	<b>546</b>
7.1	Opšte .....	546
7.2	Prijem i prenos podužnih horizontalnih sila .....	550
7.2.1	Poprečni krovni spreg .....	554
7.2.2	Horizontalni spreg uz kalkanski zid .....	561
7.2.3	Vertikalni spreg u podužnom zidu .....	563
7.2.4	Spreg za kočenje .....	566
7.3	Prijem i prenos poprečnih horizontalnih sila .....	570
7.3.1	Podužni krovni spreg .....	574
7.3.2	Spreg za bočne udare .....	576
7.3.3	Vertikalni spreg u kalkanskom zidu .....	580
7.3.4	Vertikalni podužni krovni spreg .....	582
7.4	Uticaj dilatacija na raspored spregova .....	585
<b>8</b>	<b>Rožnjače .....</b>	<b>592</b>
8.1	Uvod .....	592
8.2	Pravila za proračun rožnjača .....	595
8.3	Rožnjača punog poprečnog preseka sistema proste grede .....	599
8.4	Rožnjača punog poprečnog preseka sistema kontinualne grede .....	602
8.5	Rožnjača punog poprečnog preseka sistema Gerberove grede .....	608
8.6	Rožnjača punog poprečnog preseka sa kosnicima .....	610
8.7	Rožnjača sistema grede sa zategom .....	611



8.8	Rešetkasta „R-rožnjača“ .....	613
8.9	Rožnjača sistema rešetkaste grede .....	614
8.10	Primena krovnih zatega u konstrukciji krova .....	621
8.11	Primena krutog krovnog pokrivača .....	624
<b>9</b>	<b>Noseća konstrukcija zidova .....</b>	<b>630</b>
9.1	Konstruktivski sistemi i pravila za njihovo projektovanje .....	630
<b>10</b>	<b>Granična stanja upotrebljivosti .....</b>	<b>642</b>
<b>11</b>	<b>Višespratne zgrade .....</b>	<b>648</b>
11.1	Uvod .....	648
11.2	Konstruktivski sistemi višespratnih zgrada od 19. veka do danas .....	650
11.3	Noseći sistemi i podsistemi višespratnih zgrada .....	656
11.4	Oblici osnova i raspored stubova višespratnih zgrada .....	661
11.5	Horizontalna noseća konstrukcija .....	670
11.5.1	Funkcija i elementi horizontalne noseće konstrukcije .....	670
11.5.1.1	Prenošenja opterećenja kod različitih sistema horizontalne noseće konstrukcije .....	673
11.5.1.2	Prednosti unifikacije konstruktivskih elemenata i mogućnost rekonstrukcije i adaptacije objekta .....	676
11.5.1.3	Izolacija međuspratnih konstrukcija .....	678
11.5.1.4	Integracija sistema instalacija u noseći konstruktivski sistem .....	682
11.5.2	Konstruktivsko oblikovanje horizontalne noseće konstrukcije .....	684
11.5.3	Spregnuta međuspratna konstrukcija .....	687
11.5.3.1	Spregnuta ploča na profilisanom limu .....	688
11.5.3.2	Spregnuti čelični nosači formirani od vrućevaljanih profila .....	710
11.5.3.3	Spregnuti čelični nosači sa otvorima u rebru .....	725
11.5.3.4	Integrirani čelični nosači u punoj ili spregnutoj betonskoj ploči .....	733
11.5.3.5	Obezbeđivanje podužnog smičućeg spoja grednih nosača spregnute međuspratne konstrukcije .....	737
11.6	Vertikalna noseća konstrukcija .....	747
11.6.1	Prenošenje vertikalnog opterećenja .....	747
11.6.2	Podela vertikalnih nosećih konstruktivskih sistema .....	750
11.6.3	Unutrašnji konstruktivski sistemi .....	754
11.6.3.1	Zglobni sistemi .....	754
11.6.3.2	Ramovski sistemi .....	758
11.6.3.3	Sistemi sa spratnim rešetkama .....	763
11.6.3.4	Konzolni sistemi .....	765
11.6.3.5	Sistemi sa rešetkastim dijafragmama .....	767
11.6.3.6	Noseće potporno armiranobetonsko jezgro .....	774
11.6.4	Spoljašnji konstruktivski sistemi .....	776
11.6.4.1	Cevni sistemi - kruti cevni sistemi, cevni sistemi sa spregovima, sistem modularne cevi, sistem „cev u cev“, dijagonalni cevni sistem, sistem prostorne rešetke, cevni sistem sa megastubovima .....	776
11.6.4.2	Sistem superramova i sistem povezanih superramova .....	786

11.6.5	Specifični konstrukcijski sistemi.....	787
11.6.5.1	Ovešeni sistemi i mostovski sistemi.....	787
11.6.5.2	Kombinovani sistemi.....	792
11.6.5.3	Modularni sistemi.....	793
<b>11.7</b>	<b>Elementi za obezbeđivanje krutosti višespratnih zgrada.....</b>	<b>796</b>
11.7.1	Horizontalni elementi za obezbeđivanje krutosti.....	796
11.7.2	Vertikalni elementi za obezbeđivanje krutosti.....	800
11.7.3	Raspored elemenata za obezbeđivanje krutosti.....	806
<b>12</b>	<b>Grafički prikaz karakterističnih sistema i detalja noseće konstrukcije hale.....</b>	<b>808</b>
<b>Literatura</b>	.....	<b>842</b>