

Dušan Najdanović

BETONSKE KONSTRUKCIJE

Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet
Akademska misao
Beograd, 2015.

Dušan Najdanović
BETONSKE KONSTRUKCIJE

Recenzenti

Dr Aleksandar Pakvor

Dr Mirko Aćić

Dr Dejan Bajić

Izdavači

Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet

Akadska misao, Beograd

Štampa

Akadska misao, Beograd

Dizajn naslovne strane

Zorica Marković, akadamski slikar

Grafička obrada i prelom

Željko Hrček

Tiraž

300 primeraka

ISBN 978-86-7466-405-6



PREDGOVOR

Ne potcenjujući nikako druge materijale sa kojima se danas gradi, beton je, bez svake sumnje, materijal XX veka, a armiranobetonске konstrukcije su obeležile našu epohu.

Paralelno sa unapređenjem načina građenja i poboljšanjem kvaliteta betona i čelika kao građevinskih materijala, razvijale su se metode proračuna armiranobetonских konstrukcija. Poznavanje ovih metoda, uz istovremeno posedovanje osećaja i znanja za pravilno konstruisanje detalja, neophodan je uslov da bi se projektovala dobra konstrukcija – sigurna, funkcionalna i trajna. Uz to, uvek treba imati na umu mogućnosti armiranog betona, njegove komparativne prednosti, a naročito treba poznavati njegove granice.

Ova knjiga predstavlja, u najvećoj meri, sređen rukopis predavanja koja sam u poslednjih šest godina održao na predmetu „Betonske konstrukcije” na Odseku za puteve i železnice Građevinskog fakulteta u Beogradu. Kako je to jednosemestralni predmet, izložena materija delimično prevazilazi predviđeni obim nastavnog plana, pa se nadam da će knjiga korisno poslužiti i studentima drugih odseka Građevinskog fakulteta.

U prvom delu knjige izložene su mehaničke, fizičke i reološke osobine materijala koji čine armirani beton, kao i uslovi zajedničkog rada betona i čelika. U sledećim poglavljima dati su postupci dimenzionisanja. U savremenoj teoriji armiranobetonских konstrukcija potpuno je prihvaćena Teorija graničnih stanja kao osnov dimenzionisanja, jer se jedino na taj način racionalno može da predvidi i objasni ponašanje konstrukcije kako u stanju eksploatacije, tako i u stanju granične ravnoteže. Međutim, u knjizi je prikazan i postupak dimenzionisanja prema dopuštenim naponima (Klasična teorija), ne samo zato što budući inženjeri treba da se snalaze u ranijim projektima koji su urađeni primenom ove teorije, već i zato što se u proračunu prema graničnim stanjima upotrebljivosti koriste metode proračuna bazirane na postupcima Klasične teorije.

U knjizi ovog obima i namene nije moguće izložiti ukupnu problematiku veza-
nu za oblast armiranobetonских konstrukcija. Zbog toga je od prikaza armiranobeton-
skih konstrukcija i njihovih elemenata, koji čine drugi deo knjige, dato samo ono što
je najznačajnije i od interesa za studente. Za trud koji su uložili pri izradi ove knjige,
najtoplije se zahvaljujem asistentu Miodragu Stojanoviću, dipl. građ. inž., koji je pored
tehničke obrade izvršio i redakciju teksta, Miodragu Saviću, dipl. građ. tehn. i Milovanu
Petroviću, v. građ. tehn. na izradi skica, recenzentima na njihovim korisnim savetima i
sugestijama, kao i svima koji su na bilo koji način pomogli pri izradi ove knjige. Svoju
zahvalnost dugujem i Institutu za materijale i konstrukcije (IMK) Građevinskog fakul-
teta na finansijskoj pomoći pruženoj za tehničku obradu teksta.

Beograd, maja 1994. g.

Dušan Najdanović



SADRŽAJ

PREDGOVOR	3
I OSOBINE MATERIJALA U ARMIRANOM BETONU	5
1 UVOD	11
2 OBLAST PRIMENE – PREIMUĆSTVA I NEDOSTACI	13
3 OSNOVNE MEHANIČKE I FIZIČKE KARAKTERISTIKE POJEDINIH MATERIJALA U ARMIRANOM BETONU	14
3.1. Beton	14
3.1.1. Čvrstoća betona pri pritisku	14
3.1.2. Čvrstoće betona pri zatezanju	15
3.1.3. Deformacije betona pod opterećenjem	16
3.1.4. Skupljanje betona	17
3.1.5. Tečenje betona	19
3.2. Armatura	21
3.2.1. Vrste čelika za armiranje	21
3.2.2. Dijagram napon-deformacija	22
4 ZAJEDNIČKI RAD BETONA I ARMATURE	24
4.1. Naponi prijanjanja	24
4.2. Sidrenje armature	25
4.3. Nastavljanje armature	27
4.4. Zaštitni slojevi betona do armature	28
5 OBLIKOVANJE ARMATURE	30
5.1. Oblikovanje glatke armature	30
5.2. Oblikovanje rebraste armature	31
II TEORIJSKE OSNOVE PRORAČUNA ARMIRANOBETONSKIH ELEMENATA	33
6 PRORAČUN PRESEKA PREMA DOPUŠTENIM NAPONIMA	36
6.1. Dopusćeni naponi	37
6.1.1. Dopusćeni naponi u betonu	37
6.1.2. Dopusćeni naponi u armaturi	37
6.2. Centrično pritisnuti elementi	38

6.2.1. Proračun bez izvijanja	40
6.2.2. Proračun vitkih elemenata	40
6.2.3. Detalji armiranja	41
6.3. Centrično zategnuti elementi	43
6.4. Ekscentrično opterećeni elementi – mali ekscentricitet	43
6.4.1. Ekscentrično pritisnuti elementi	44
6.4.2. Ekscentrično zategnuti elementi	46
6.5. Elementi opterećeni momentima savijanja	46
6.5.1. Jednostruko armiran presek proizvoljnog oblika i pravougaoni presek	47
6.5.2. Dvostruko armiran pravougaoni presek	52
6.5.3. Ispitivanje napona u betonu i armaturi pravougaonih preseka	54
6.5.4. T preseki	55
6.6. Ekscentrično opterećeni elementi – veliki ekscentricitet	59
6.7. Elementi opterećeni transverzalnim silama	61
6.7.1. Naponi smicanja u armiranobetonskim elementima	62
6.7.2. Proračun armature za prijem glavnih napona zatezanja	65
6.8. Elementi opterećeni momentima torzije	69
6.8.1. Naponi smicanja od momenta torzije	70
6.8.2. Proračun armature za prijem glavnih napona zatezanja	72
6.9. Kratki elementi	75
6.10. Lokalni naponi pritiska. Zglobovi	76
6.10.1. Lokalni naponi pritiska	76
6.10.2. Zglobovi	78
7 PRORAČUN PRESEKA PREMA GRANIČNIM STANJIMA	80
7.1. Granična stanja nosivosti	80
7.1.1. Osnove i metode proračuna	81
7.1.2. Principi proračuna preseka. Koeficijenti sigurnosti	84
7.1.3. Moguća stanja deformacije preseka	85
7.1.4. Određivanje graničnih uticaja za dimenzionisanje preseka	87
7.1.5. Dimenzionisanje preseka za granične uticaje	88
7.2. Granična stanja upotrebljivosti	117
7.2.1. Opšte	117
7.2.2. Uticaj vremenskih deformacija betona	117
7.2.3. Proračun prslina	122
7.2.4. Proračun deformacija	126
8 PRETHODNO NAPREGNUTI BETON	133
8.1. Pojam i suština	133
8.2. Načini prethodnog naprezanja	135
8.2.1. Naknadno prethodno naprezanje	135
8.2.2. Adheziono prethodno naprezanje	138

8.3. Oblasti primene prethodno napregnutih konstrukcija	139
8.4. Prednosti i nedostaci prethodno napregnutih konstrukcija	139
8.5. Materijali	140
8.5.1. Beton	140
8.5.2. Čelik	140
8.6. Gubici sile prethodnog naprezanja	141
8.6.1. Trenje kabla	142
8.6.2. Skupljanje i tečenje betona	143
8.6.3. Elastične deformacije betona	143
8.6.4. Uvlačenje klina	143
8.6.5. Relaksacija čelika	143
8.7. Ekvivalentno opterećenje	144
8.8. Dimenzionisanje prethodno napregnutih elemenata	146
8.9. Uvođenje sile prethodnog naprezanja	150
8.10. Neki konstruktivni detalji	151

III ELEMENTI I KONSTRUKCIJE ARMIRANOBETONSKIH OBJEKATA **153**

9 OPTEREĆENJA **155**

9.1. Osnovna opterećenja	155
9.2. Dopunska opterećenja	156
9.3. Naročita opterećenja	156

10 MEĐUSPRATNE KONSTRUKCIJE **158**

10.1. Monolitne međuspratne konstrukcije	158
10.1.1. Ploče u jednom pravcu	158
10.1.2. Krstasto armirane ploče	164
10.1.3. Podvlake	170
10.1.4. Ploče oslonjene na stubove	173
10.1.5. Pečurkaste ploče	174
10.1.6. Sitnorebraste konstrukcije	178
10.1.7. Kasetirane konstrukcije i gredni roštilji	179
10.2. Polumontažne međuspratne konstrukcije	180
10.2.1. „TM” tavanice	180
10.2.2. „KAT” tavanice	182
10.2.3. Tavanice sistema „AVRAMENKO”	182
10.2.4. „OMNIA” ploče	183
10.3. Montažne međuspratne konstrukcije	184
10.3.1. Durisol ploče	184
10.3.2. Ariniranobetonske korube	184
10.3.3. Ošupljene ploče	185

11 STEPENIŠTA **186**

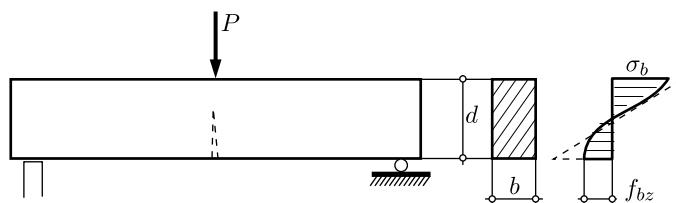
12 RAMOVSKJE KONSTRUKCIJE	189
12.1. Podela ramova	189
12.2. Statički sistemi i proračun	189
12.3. Proračun ramova za dejstvo horizontalnog opterećenja	191
12.3.1. Opterećenje vetrom	192
12.3.2. Opterećenje od seizmičkih sila	198
12.4. Dimenzionisanje	204
12.5. Armiranje čvorova rama	204
12.6. Glavni nosači	207
12.6.1. Rešetkasti nosači	207
12.6.2. Nosači sa zategnutim elementima izvan poprečnog preseka	209
12.7. Rožnjače	210
13 KONSTRUKCIJE OBJEKATA SA AB ZIDOVIMA ZA UKRUĆENJE	212
13.1. Sistemi	212
13.2. Armiranobetonski zidovi	213
13.3. Armiranobetonski zidni nosači	214
14 TEMELJI OBJEKATA	219
14.1. Temelji samci	220
14.2. Temeljne trake	222
14.3. Temeljne grede	223
14.4. Temeljne ploče	225
15 POTPORNJI ZIDOVI	227
LITERATURA	231
PRILOZI	233
Prilog 1	235
Prilog 2	236
Prilog 3	238
Prilog 4	243

I

**OSOBI NE MATERI JALA U ARMIRANOM
BETONU**

UVOD

Beton je složen građevinski materijal dobijen mešanjem veziva (cement), vode i agregata (pesak, šljunak ili drobina). Slično kamenu, i beton poseduje visoku čvrstoću pri pritisku, a relativno male čvrstoće pri zatezanju. Ova loša osobina betona onemogućava širu primenu nearmiranog betona. Ilustracije radi, ako gredni nosač od nearmiranog betona, slika 1.1, postepeno opterećujemo silom P , u donjoj, zategnutoj zoni grede, u poprečnom preseku koji je najviše opterećen naponi zatezanja se povećavaju sve dok se ne dostigne granica čvrstoće betona pri zatezanju f_{bz} .



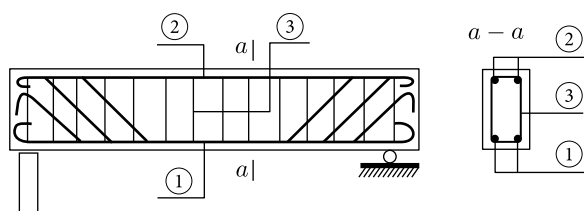
Sl. 1.1 – Lom grede od nearmiranog betona sa rasporedom normalnih napona u najopterećenijem preseku pred samu pojavu loma

U tom preseku se javlja prslina, što dovodi do naglog smanjenja visine poprečnog preseka i do trenutnog loma nosača. Pri tome, naponi pritiska u betonu u gornjoj zoni su znatno niži od napona koje beton može da primi.

Da bi se maksimalno iskoristile mogućnosti betona kao građevinskog materijala, u zonama zatezanja betonskih nosača postavlja se armatura od čeličnih profila, koja posle pojave prslina ima zadatak da preuzme celokupne sile zatezanja. Na taj način se nosivost nosača može višestruko povećati, a konstrukcije dobijene sprezanjem ova dva materijala nazivamo *armiranobetonskim konstrukcijama*.

Pored ove armature koja prima normalne napone zatezanja, u području oslonaca, gde su glavni naponi zatezanja visoki, postavlja se i vertikalna armatura u obliku uzengija, često u kombinaciji sa kosom armaturom koja takođe prihvata deo napona zatezanja, slika 1.2.

Efikasno sadejstvo dva tako različita materijala kao što su beton i čelik, omogućeno je iz sledećih razloga:



Sl. 1.2 – Princip armiranja nosača sistema proste grede

1. Posle očvršćavanja, beton čvrsto prijanja za čelik. Adhezija se povećava upotrebom rebrastog čelika.
2. Ovako ostvorena adhezija održava se sve do temperatura $+80^{\circ}\text{C}$ pošto su koeficijenti linearnog širenja za oba materijala približno isti, i iznose

$$\alpha_T \approx 1,0 \cdot 10^{-5} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}.$$

3. Ukoliko je pravilno projektovan i ugrađen, beton efikasno štiti čelik od korozije.

Kombinacija betona i čelika, koju nazivamo *armirani beton*, omogućava dobro korišćenje oba materijala, pri čemu beton prihvata prvenstveno napone pritiska, a čelik napone zatezanja.

U poređenju sa konstrukcijama sačinjenim od drugih materijala (kamen, drvo, opeka, čelik), armiranobetonske konstrukcije su relativno novijeg datuma. Pojavljuju se u građevinskoj tehnici u drugoj polovini XIX veka. Francuz *Lambot* je prvi konstruisao čamac 1848. godine upotrebivši armaturu od čelične mreže, a *Monier*, baštovan po zanimanju, istih godina je izradio korita za cveće armirana čeličnom žicom.

Za relativno kratko vreme date su prve teorijske osnove za proračun armiranobetonskih konstrukcija, koje zatim brzo nalaze svoje mesto u raznim domenima građenja.

OBLAST PRIMENE – PREIMUĆSTVA I NEDOSTACI

Armironi beton nalazi primenu u svim oblastima građenja za izradu najrazličitijih vrsta konstrukcija u mostogradnji, visokogradnji, izgradnji industrijskih (hale, magacini, silosi), hidrotehničkih (brane, rezervoari, kanali, cevi, pristaništa, prevođnice), podzemnih (tuneli, galerije, vodostani), visokih (dimnjaci, vodotornjevi, komunikacioni tornjevi) i zaštitnih objekata (skloništa, potporni zidovi, dijafragme) i puteva.

Gradnja nuklearnih elektrana, na primer, ne bi se mogla zamisliti bez upotrebe armiranog betona.

Glavne prednosti armiranog betona su:

- nezapaljivost i otpornost na kratkotrajne visoke temperature,
- trajnost, uz relativno niske troškove održavanja,
- dobro ponašanje pri dinamičkim opterećenjima,
- mogućnost izrade montažnih konstrukcija,
- vrlo velika mogućnost oblikovanja konstrukcija i njihovih elemenata.

Kao nedostatke u primeni armiranog betona, treba svakako istaći sledeće:

- velika sopstvena težina, uz relativno male čvrstoće, onemogućava izradu konstrukcija velikih raspona,
- građenje monolitnih konstrukcija je znatno otežano u zimskim periodima pri negativnim temperaturama (montažnim građenjem ova se mana može prevazići),
- pojava prslina, naročito kada je konstrukcija u uslovima agresivne sredine, ima za posledicu pojavu korozije i betona i armature,
- izlaganjem temperaturama preko 250°C, naglo se gubi adhezija između betona i čelika, a time se bitno smanjuje nosivost elemenata konstrukcije.

OSNOVNE MEHANIČKE I FIZIČKE KARAKTERISTIKE POJEDINI MATERIJALA U ARMIRANOM BETONU

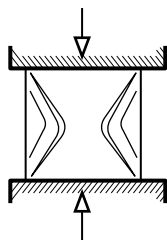
3.1. BETON

Osnovne mehaničke karakteristike betona su čvrstoća i deformabilnost.

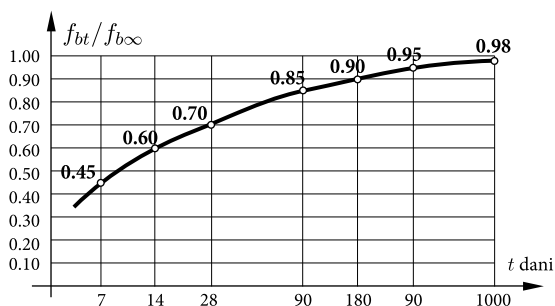
3.1.1. Čvrstoća betona pri pritisku

Čvrstoća betona pri pritisku ispituje se na kockama ivice 20 cm koje su čuvane u vodi ili u sredini sa najmanje 95% relativne vlage, pri temperaturi od $20 \pm 3^\circ\text{C}$. Čvrstoća betona pri pritisku definiše se kao prosečan napon ovakvog uzorka koji je izložen pritisku do loma u presi za ispitivanje pri određenoj starosti betona.

Oblik loma betonske kocke u presi za ispitivanje prikazan je na slici 3.1. Prsline pod nagibom koje se formiraju u trenutku loma, objašnjavaju se pojavom sile trenja između prese i uzorka, nastalog sprečavanjem bočnih deformacija.



Sl. 3.1 – Oblik loma betonske kocke u presi za ispitivanje



Sl. 3.2 – Prirast čvrstoće betona pri pritisku tokom vremena

Čvrstoća pri pritisku je funkcija vremena, a njen prirast u toku vremena je šematski prikazan na dijagramu, slika 3.2.

Karakteristična čvrstoća betona pri pritisku f_{bk} je vrednost one čvrstoće ispod koje se može očekivati najviše 10% svih čvrstoća pri pritisku ispitanog betona.

Projektom propisana, odnosno zahtevana karakteristična čvrstoća betona pri pritisku naziva se *marka betona* (MB) i izražava se u MPa. Ona se zasniva na karakterističnoj čvrstoći pri pritisku betona starosti 28 dana. Marka betona određuje se projektom konstrukcije na osnovu naprezanja elemenata konstrukcije, uslova i načina izvođenja radova i uslova koji se javljaju u toku eksploatacije objekta.

Za armirani beton upotrebljavaju se sledeće marke: MB 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 i 60.

Betoni prve kategorije (B.I) spravljaju se bez prethodnih ispitivanja, i to mogu biti marke MB 10, 20 i 25.

Betoni druge kategorije (B.II) su MB 30 i više i spravljaju se na osnovu prethodnih ispitivanja koja se obavljaju u laboratorijama ili fabrici betona. Za ove betone je obavezna kontrola proizvodnje kojom se proverava da li je za određenu partiju betona postignuta projektom propisana marka betona, kao i druga eventualno zahtevana svojstva.

Ocena marke betona vrši se u skladu sa programom kontrole, koji zavisi od količine spravljenog betona, što je definisano važećim Pravilnikom za beton i armirani beton (BAB 87).

3.1.2. Čvrstoće betona pri zatezanju

Čvrstoća betona pri zatezanju je znatno manja od one pri pritisku, i kreće se u širokim granicama:

$$f_{bz} \approx \frac{f_{bk}}{6} \div \frac{f_{bk}}{20}.$$

Srednja vrednost čvrstoće betona pri aksijalnom zatezanju, prema Pravilniku BAB 87 iznosi:

$$f_{bz,m} = 0.25 \sqrt[3]{f_{bk}^2} \quad [\text{MPa}]$$

Eksperimentalnim putem čvrstoće pri zatezanju mogu se odrediti:

- direktnim zatezanjem uzoraka,
- cepanjem cilindričnog uzorka izloženog linijskom opterećenju na dve suprotne izvodnice – Brazilski opit (slika 3.3),
- indirektno, savijanjem prizmatičnih uzoraka, čime se određuje čvrstoća pri zatezanju savijanjem