

Vanja Alendar

**PROJEKTOVANJE SEIZMIČKI OTPORNIH  
ARMIRANOBETONSKIH KONSTRUKCIJA  
KROZ PRIMERE**

**Deo A - Osnovi teorije i uvod u propise**

Vežbe u okviru kursa  
Projektovanje i građenje betonskih konstrukcija 2  
na IX semestru odseka za konstrukcije

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu  
Institut za materijale i konstrukcije  
Beograd, novembar 2004.

## PREDGOVOR drugom izdanju

Pet godina je prošlo od objavljivanja prvog izdanja ovih skripti. Ako je i godinu dana trebalo za odmor od napora da se prvo izdanje pripremi, u naredne četiri godine moglo je puno toga da se uradi, ali nije. A onda nam se pridružio naš mladi asistent Ivan Ignjatović, koji se ponudio da prekuca delove teksta pisane rukom. Takva se ponuda ne odbija, njemu ne. Kada je odlučeno da se nastavi sa radom, ispostavilo se da je kasno da se ceo tekst preradi kako bi valjalo, naravno. Nastava je u toku, pa je kao prvi - prolazni cilj usvojeno da se *Deo B - Primeri* prebaci u 'elektronsku formu', tako da ceo materijal studenti dobiju na CD-u. Ni to nije bio mali posao, trebalo je pripremiti dosta skica, ilustracija.

**Šta je novo?** Prvi deo je nepromenjen. Osim što je prekucan, tekst drugoga dela - *Primeri* je i izmenjen, nadam se na bolje. Stare skice su prerađene, dodate su i nove, kao i fotografije koje ilustruju efekte dogođenih zemljotresa, ili rezultate eksperimentalnih ispitivanja na modelima. Uz fotografije na žalost nije naveden izvor, što je osnovni red. Izvinjavam se autorima, biće urađeno u sledećem izdanju. Deo teksta koji se odnosi na hale, a koji nije ni pripadao skriptama, potpuno je prerađen, dopunjen i uključen u tekst kao Primer 4.

**Kako se koristi tekst?** Obim originalnog teksta bio je prilagođen raspoloživom vremenu od četrnaest nedelja nastave. U međuvremenu, izmenjen je program predmeta, pa se ravnopravno, po sedam nedelja, studentima izlažu problemi prethodnog naprezanja, odnosno zemljotresa. Takođe, deo problema koji je ranije izlagan na vežbama, sada je deo predavanja. Tekst skripti ipak nije skraćen, ali se može čitati na razne načine. Obavezni deo obuhvata:

- *Deo A - Osnovi teorije*, kao dopunski tekst predavanjima, ali bez poglavlja 6 - *Uvod u Evrokod 8*;

- *Deo - B - Primeri* proći ceo, ali bez poglavlja *Pitanja i odgovori* u Primerima 1-3, koja zahtevaju poznavanje koncepta propisa Evrokod 8.

To je minimum, koji još uvek ima smisla. Time se narušava prvobitna koncepciju, ali je dovoljno, ako je jedini cilj da se *savlada primena važećih domaćih propisa iz ove oblasti*. Godišnji zadatak i pismeni ispit se ionako rade isključivo prema važećim domaćim propisima. Šta još pročitati, stvar je dogovora sa predmetnim nastavnikom. Toplo se preporučuje da se i ostali delovi pročitaju, bar kao priča. Koncept skripti je da se preko Evrokoda 8 objašnjava suština domaćih propisa i filozofija projektovanja.

Na kraju, želim da se zahvalim asistentu Ivanu Ignjatoviću, koji me je doveo u situaciju da ne smem da ga izneverim. Ivane, da sredimo i prvi deo?

Beograd, novembar 2004.

Vanja Alendar

## **PREDGOVOR prvom izdanju**

U podnaslovu teksta koji sledi, stoji da je u pitanju materijal za vežbe na IX-om, završnom semestru studenata odseka za konstrukcije. Tako je i počelo, iz želje da studenti sa fakulteta ponesu više "papira" i znanja nego što se to može zapisati kredom na tabli, u 14 nedelja nastave. Želja da tekst možda bude interesantan i inženjerima u praksi, nadam se da je doprinela samo kvalitetu, ne i preteranom obimu.

Pisanje i pravljenje mnoštva skica započeo sam početkom septembra 1999., nebi li se stiglo za početak nastave. Kasno, naravno. U tih mesec dana, pripremljen je ovaj prvi deo, nadam se da ima glavu i rep, a da nema grubih previda. Ovih sedamdesetak strana je program prve polovine kursa, sedam nedelja. Drugi deo, koji treba da sadrži probrane primere sa razradom pojedinih delova iznetih ovom prilikom, treba da bude gotov do početka drugih sedam nedelja nastave. Ako me nešto spreči u tome, ovaj prvi deo je u svakom slučaju celina za sebe, i najvažniji.

Tekst je koncizan i obiman u isto vreme. Izneti su i ilustrovani osnovni pojmovi, bez čijeg se razumevanja nebi trebalo upuštati u odgovorno projektovanje seizmički otpornih AB konstrukcija. Ako su neki pojmovi već usvojeni na drugim predmetima, ovde se ipak ponavljaju, jedino iz želje da se na jednom mestu povežu u zaokružen koncept.

Pri skiciranju sinopsisa, pošao sam od činjenice da naši važeći "seizmički propisi" deluju vrlo jednostavno, "ništa lakše nego uraditi projekat složene konstrukcije uz pomoć nekog od softvera iz ove oblast". Međutim, propisi su pisani 1981. godine, kada nije bilo računara u praksi, a o aseizmičkom projektovanju je bilo vrlo malo reči u redovnoj nastavi. U međuvremenu su se nepovoljno preklapile tri stvari: formalno jednostavni propisi, nedovoljno obrazovanje inženjera u praksi i pojava atraktivnih softvera koji "sve rešavaju"- najgora moguća kombinacija. Otuda i koncept teksta, iz namere da se objasni suština, da se pojasne naši propisi i da se da uvod u buduće evropske propise, čiji se prednact u međuvremenu pojavio.

Od studenata se očekuje normalno predznanje, kao i *priprema unapred*. Na časovima će se prvenstveno ukazati na bitne stvari sadržane u tekstu a dokle će se stići, zavisi od inspiracije izlagača i zainteresovanosti studenata. Sve što je potrebno sadržano je u tekstu, tabla će služiti samo za ad-hok diskusije, prema tome, studenti treba pred sobom da imaju tekst. Nakon nekih od poglavlja, studenti će dobiti zadatke koje treba sami da urade. Zadaci se rade kod kuće, predaju, prihvataju ili ne, ali su objašnjenja eventualnih zabluda kolektivna, jer su greške obično sistematske.

Očigledno je da u ovakvom sistemu nedostaje lično upoznavanje, kontakt, rad sa svakim pojedinačno. Prednost je data konceptu "svi sve čuju", kako objašnjenja tako i odgovore na pojedinačna javna pitanja. Koga materija bude posebno zainteresovala, vrata kabineta su mu otvorena, pa ćemo to nadoknaditi, u kamernom okruženju.

Dugujem zahvalnost svima kojima sam eventualno bio potreban ovih mesec dana, nadam se da nisu digli ruke od mene. Predmetnom nastavniku prof.M.Aćiću zahvaljujem na podršci pri pisanju teksta. Posebnu zahvalnost izražavam Branku Milosavljeviću koji je čitavu stvar inicirao, podsticao da bi na kraju i pažljivo pročitao tekst. Prihvatio sam sve njegove primedbe, posebno onu da mu se sve ovo dopada i da smatra da je u pitanju "jedna korisna i dobra knjiga". Ko se ne složi, neka kaže, biće pomenut, u sledećem, "pravom" izdanju.

Beograd, oktobar 1999.

Vanja Alendar

## **SADRŽAJ uz Deo A**

### **1. REKAPITULACIJA OSNOVNIH POJMOVA O ZEMLJOTRESIMA 1-1**

*1.1 OPIS ZEMLJOTRESA 1-1*

*1.2 ZAPISI UBRZANJA TLA U TOKU VREMENA - AKCELEROGRAMI 1-3*

### **2. PONAŠANJE PRI ZEMLJOTRESU LINEARNO ELASTIČNIH SISTEMA SA JEDNIM STEPENOM SLOBODE 2-1**

*2.1 REKAPITULACIJA OSNOVNIH POJMOVA IZ DINAMIKE KONSTRUKCIJA 2-1*

*2.2 SPEKTRI ODGOVORA ELASTIČNIH SISTEMA  
SA JEDNIM STEPENOM SLOBODE 2-5*

### **3. PONAŠANJE PRI ZEMLJOTRESU NELINEARNIH SISTEMA SA JEDNIM STEPENOM SLOBODE 3-1**

*3.1 TRADICIONALNA - SAVREMENA ZAŠTITA KONSTRUKCIJA OD ZEMLJOTRESA 3-1*

*3.2 OSNOVI DINAMIKE ELASTO-PLASTIČNIH SISTEMA  
SA JEDNIM STEPENOM SLOBODE 3-2*

*3.3 ODGOVOR NA ZEMLJOTRES ELASTO-PLASTIČNIH SISTEMA  
SA JEDNIM STEPENOM SLOBODE 3-4*

*3.4 NELINEARNI SPEKTRI ODGOVORA EP SISTEMA 3-6*

*3.5 KONCEPT NELINEARNOG PRORAČUNA SISTEMA  
SA JEDNIM STEPENOM SLOBODE 3-7*

*3.6 AKUMULACIJA OŠTEĆENJA I EKVIVALENTNA DUKTILNOST POMERANJA 3-8*

### **4. KAKO REALIZOVATI ELASTO-PLASTIČAN SISTEM U ARMIRANOM BETONU 4-1**

*4.1 KRIVINA PRESEKA - POMERANJE KONSTRUKCIJE 4-1*

*4.2 NELINEARNI ODGOVOR AB KONSTRUKCIJA 4-3*

*4.3 POČETNA KRUTOST AB PRESEKA I KONSTRUKCIJA 4-6*

*4.4 REALNO PONAŠANJE ARMIRANO BETONSKIH KONSTRUKCIJA  
PRI CIKLIČNIM DEFORMACIJAMA 4-7*

*4.5 MODELIRANJE AB KONSTRUKCIJA 4-8*

### **5. SISTEMI SA VIŠE STEPENI SLOBODE 5-1**

*5.1 REKAPITULACIJA OSNOVNIH POJMOVA IZ DINAMIKE KONSTRUKCIJA 5-1*

*5.2 UPROŠĆENA MODALNA SPEKTRALNA ANALIZA 5-2*

*5.3 PLASTIČNI MEHANIZMI SISTEMA SA VIŠE STEPENI SLOBODE 5-5*

*5.4 OBEZBEĐENJE POUZDANOSTI ŽELJENOG MEHANIZMA KONSTRUKCIJE -  
"PROGRAMIRANO PONAŠANJE" 5-6*

*5.5 OCENA PONAŠANJA KONSTRUKCIJA NELINEARNOM STATIČKOM ANALIZOM 5-7*

*5.6 OCENA PONAŠANJA KONSTRUKCIJA PRI "ZAMRZNUTIM POMERANJIMA" 5-8*

## **6. KONCEPT SAVREMENIH PROPISA - UVOD U EVROKOD 8 (EC8) 6-1**

- 6.1 OPŠTI ALGORITAM PROPISA 6-1*
- 6.2 ULAZNI SEIZMIČKI PODACI 6-2*
- 6.3 ELASTIČNI SPEKTAR UBRZANJA 6-2*
- 6.4 KLASE DUKTILNOSTI KONSTRUKCIJA 6-3*
- 6.5 DOZVOLJENA VREDNOST FAKTORA REDUKCIJE OPTEREĆENJA  
- FAKTORA PONAŠANJA PREMA EC8 6-4*
- 6.6 PROJEKTNI (NELINEARNI) SPEKTAR UBRZANJA 6-5*
- 6.7 REGULARNOST KONSTRUKCIJE 6-6*
- 6.8 TORZIONA KRUTOST KONSTRUKCIJE 6-7*
- 6.9 KRUTOST TAVANICA U SVOJOJ RAVNI 6-7*
- 6.10 OSNOVNI NOSEĆI SISTEM PRI ZEMLJOTRESU 6-8*
- 6.11 PRORAČUNSKA KRUTOST ELEMENATA 6-9*
- 6.12 PROSTORNO DEJSTVO ZEMLJOTRESA 6-11*
- 6.13 PRORAČUN UTICAJA USLED ZEMLJOTRESA 6-12*
- 6.14 EFEKTI DRUGOGA REDA 6-12*
- 6.15 PRERASPODELA UTICAJA 6-13*
- 6.16 KOEFICIJENTI SIGURNOSTI 6-13*
- 6.17 DIMENZIONISANJE, KONSTRUISANJE DETALJA  
I OBEZBEĐENJE ZAHTEVANE DUKTILNOSTI 6-14*
- 6.18 PROGRAMIRANO PONAŠANJE 6-14*
  - 6.18.1 Faktor preopterećenja 6-14*
  - 6.18.2 Zidovi 6-15*
  - 6.18.3 Grede 6-15*
  - 6.18.4 Stubovi 6-16*
  - 6.18.5 Čvorovi okvira 6-16*
  - 6.18.6 Konstrukcijski sistem 6-17*
- 6.19 KONTROLA POMERANJA KONSTRUKCIJE 6-18*
- 6.20 KADA SE EFEKTI ZEMLJOTRESA MOGU ZANEMARITI ? 6-20*
- 6.21 OKVIRNE KONSTRUKCIJE SA ISPUNOM 6-20*
- 6.22 MONTAŽNE KONSTRUKCIJE 6-20*
- 6.23 FUNDIRANJE 6-20*

## **7. SEIZMIČKI PRORAČUN PREMA YU PROPISIMA 7-1**

- 7.1 ULAZNI SEIZMIČKI PODACI 7-1*
- 7.2 ELEMENTI PRORAČUNA SEIZMIČKIH UTICAJA 7-1*
- 7.3 POREĐENJE EC8 I YU81 7-3*

## **8. LITERATURA uz Deo A**