

7. SEIZMIČKI PRORAČUN PREMA YU PROPISIMA (YU81)

UVOD

U prvom delu ovoga poglavlja dat je rezime jugoslovenskih propisa (na dalje YU81) u ovoj oblasti /10/, sa tumačenjem nekih stavova koji su se pokazali nejasni u praksi. U drugom delu, data je delimična uporedna analiza jugoslovenskih propisa i EC8, sa prvenstvenim ciljem da se stavovima jugoslovenskih propisa da savremeno objašnjenje i tumačenje, koje inače nedostaje propisima.

7.1 ULAZNI SEIZMIČKI PODACI

Teritorija Jugoslavije podeljena je na *seizmička područja*, sa kartama očekivanog *intenziteta zemljotresa* sa povratnim periodima $T_p=50 - 10000$ godina. Za značajnije objekte, zahteva se sprovođenje *seizmičke mikrorajonizacije*.

Prema lokalnim uslovima, tla su svrstana u tri *kategorije tla*: I (~ A - EC8), II (~ B - EC8), III (~ C - EC8).

7.2 ELEMENTI PRORAČUNA SEIZMIČKIH UTICAJA

Uprošćena modalna spektralna analiza prema EC8 ovde se naziva *metoda ekvivalentnog statičkog opterećenja*.

Za složenije objekte, zahteva se *metoda linearne i nelinearne dinamičke analize*.

Naši propisi ne spominju *multimodalnu analizu*, koja se danas često primenjuje u praksi, nakon pojave komercijalnih softvera iz ove oblasti.

Ukupna seizmička sila S, definiše se kao

$$S = k G \quad (7.1)$$

gde je G ukupna težina objekta iznad *gornjeg ruba uklještenja* (temelj ili gornja ivica *krutih podrumskih konstrukcija*), a k - *ukupni seizmički koeficijent*

$$k = k_o k_s k_d k_p \geq 0,02 \quad (7.2)$$

Prema značaju, objekti se dele u *kategorije*: *van kategorije* (elektrane...), *I kategorija* (veći skupovi ljudi..., *koeficijent kategorije objekta* $k_o=1,5$) i *II kategorija* (stambene zgrade..., *koeficijent kategorije objekta* $k_o=1,0$).

Za objekte II-ge kategorije za projektovanje je merodavan *intenzitet zemljotresa* sa povratnim periodom $T_p=500$ godina (EC8 - $T_p=475$ godina).

Koeficijent seizmičkog intenziteta k_s vezan je za očekivani *intenzitet zemljotresa* u datom seizmičkom području

Stepen MSK-64	k_s	a_g/g
VII	0,025	$\leq 0,10$
VIII	0,050	$\leq 0,20$
IX	0,100	$\leq 0,40$

(7.3)

Vrednosti a_g/g u (7.3) predstavljaju gornju granicu *maksimalnih očekivanih ubrzanja tla*, ako ne postoje podaci seizmičke mikrorajonizacije, pa se veza koeficijenta seizmičkog intenziteta i maksimalnog očekivanog ubrzanja tla može izraziti kao

$$k_s = 0,25 a_g/g \quad (7.4)$$

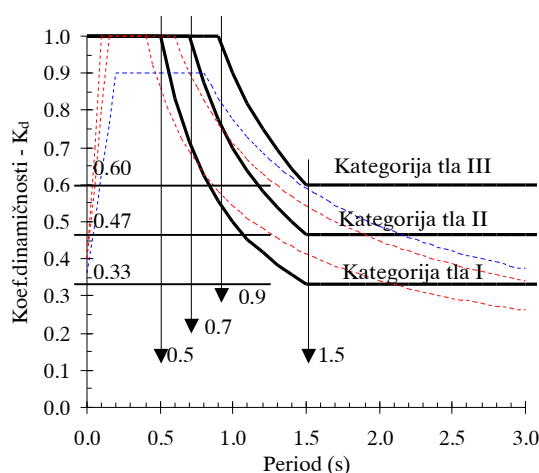
Za stanicu "Beograd Centar" u Prokopu, na osnovu *seizmičke mikrorajonizacije* utvrđeno je očekivano ubrzanje tla od $a_g=118 \text{ cm/s}^2$ sa povratnim periodom $T_p=500$

godina, pa je $k_s = 0,25 \times 118/981 = 0,03$, čemu približno odgovara VII zona seizmičkog intenziteta.

Koeficijent dinamičnosti k_d zavisi od kategorije tla i perioda oscilovanja osnovnog tona T

Kategorija tla	k_d	
I	$0,33 \leq k_d = 0,5/T \leq 1,0$	(7.4)
II	$0,47 \leq k_d = 0,7/T \leq 1,0$	
III	$0,60 \leq k_d = 0,9/T \leq 1,0$	

Na slici 7.1 prikazane su vrednosti koeficijenata dinamičnosti, sa preklapljenim odgovarajućim krivama spektra ubrzanja prema EC8, normalizovanim na maksimalnu vrednost 1,0.



Slika 7.1 Koeficijent dinamičnosti

Koeficijent duktiliteta i prigušenja k_p se za sve "savremene armiranobetonske konstrukcije" usvaja da je jednak $k_p = 1,0$. Za konstrukcije od "armiranih zidova" - $k_p = 1,30$. Za vitke konstrukcije, sa periodom $T > 2$ sekunde, $k_p = 1,6$. Za konstrukcije sa "fleksibilnim prizemljem odnosno naglom promenom krutosti", $k_p = 2,0$.

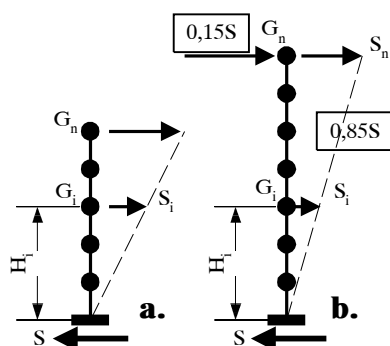
Naziv koeficijent duktiliteta nije baš najbolji, i brojno nema veze sa vrednostima duktilnosti pomeranja iz prethodnih izlaganja. Očigledno da je ekvivalent faktor ponašanja q prema EC8 ugrađen u formulu (7.2), a da se "faktorom duktiliteta" samo koriguje osnovna vrednost.

Zbog nepotpunosti odredbe, u praksi se praktično svaka AB konstrukcija smatra "savremenom", i usvaja najniža vrednost k_p . Praktično, većina AB konstrukcija se projektuje na isti nivo seizmičkog opterećenja, što je neopravdano.

Nije redak slučaj da se u praksi za armiranobetonske zidove usvoji $k_p = 1,3$, što je nesporazum. "Armirani zidovi" su zidovi od opeke, ojačani armaturom.

Jedan od razloga povećanja seizmičkog opterećenja za konstrukcije sa periodama dužim od dve sekunde je obuhvatanje efekata viših tonova oscilacija, analogno korekciji spektralnih krivih prema EC8.

Procena da li konstrukcija teži "fleksibilnom spratu" ili poseduje "naglu promenu krutosti" ostavljena je projektantima. EC8 praktično zabranjuje fleksibilna prizemlja ili spratove.



Slika 7.2 Raspodela sile

spratove.

Raspodela ukupne seizmičke sile prema (7.1) vrši se linearno kao u EC8 za objekte do pet spratova, dok se za više objekte 85% ukupne sile raspodeljuje linearno, a ostatak od 15% se postavlja na vrh objekta, da bi se obuhvatili i efekti viših tonova, slika 7.2.

Prema YU81, uticaji zemljotresa se računaju bez kombinovanja istovremenih uticaja iz dva pravca.

Koeficijent sigurnosti za sva opterećenja koja ulaze u seizmičku kombinaciju opterećenja je jedinstven i iznosi $\gamma = 1,3$, bez obzira na iznos dilatacija armature. Ukoliko

stalno opterećenje deluje povoljno, treba proveriti i kombinaciju sa sniženom vrednošću koeficijenta sigurnosti za *stalno opterećenje* $\gamma = 1,0$. Nije redak slučaj u praksi da se seizmička dejstva tretiraju kao "*ostala opterećenja*" prema BAB-u /16/, što je naravno pogrešno.

Seizmička kombinacija opterećenja obuhvata dejstvo stalnog, 50% korisnog i opterećenje snegom, bez vetra. Propisi ne ukazuju da li se dejstva "*ostalih opterećenja*" prema BAB-u /16/- temperatura, skupljanje betona, sleganje oslonaca itd. kombinuju sa dejstvom zemljotresa. U praksi se obično ne kombinuju, ali ima argumenata i za i protiv, pri čemu treba razlikovati problem *kapaciteta nosivosti* preseka od potrebnog *kapaciteta pomeranja*, neoprenskih ležišta mostova, na primer.

Ovde su izloženi samo podaci potrebni za naredne analize. Ostali detalji proračuna i konstruisanja biće prikazani uz primere, u Delu B.

7.3 POREĐENJE EC8 I YU81

Primer 7.1.....

Za lokaciju jednog objekta u Beogradu, nestandardnog okvirnog sistema, seizmičkom mikrorajonizacijom utvrđena je vrednost maksimalnog očekivanog ubrzanja temeljnog tla, $a_g = 118 \text{ cm/sec}^2$ (12% ubrzanja zemljine teže - g) za povratni period zemljotresa od 500 godina. Objekat je druge kategorije kao i tlo. Sračunati vrednost ukupnog seizmičkog opterećenja prema YU81 i EC8 ako je period oscilovanja konstrukcije u prvom tonu $T=0,4$ sekunde.

YU81

$$S = kG = k_o k_s k_d k_p G \geq 0,02G$$

$$k_o = 1,0 \text{ (druga kategorija objekta)}$$

$$k_s = 0,25 a_g / g = 0,25 \times 118 / 981 = 0,03$$

$$k_d = 0,7 / T = 0,7 / 0,4 = 1,75 > 1$$

usvojeno $k_d = 1,0$, II-ga kategorija tla

$$k_p = 1,0 \text{ ("savremena armiranobetonska konstrukcija")}$$

$$k = 1,0 \times 0,03 \times 1,0 \times 1,0 = 0,03$$

$$S = 0,03G > 0,02G$$

EC8

Kategorija tla B

$$T = 0,4 \text{ s} < T_c = 0,6 \text{ s}$$

$$F_b = S_d W = \alpha S \beta_0 W / q \geq 0,2 \alpha W$$

$$\alpha = a_g / g = 118 / 981 = 0,12$$

$$S = 1,0 \text{ (kategorija tla B)}$$

$\beta_0 = 2,5$ (faktor amplifikacije ubrzanja tla)

$$S_d = 0,12 \times 1,0 \times 2,5 / q = 0,30 / q$$

Okvirni sistem

$$q = q_0 k_D k_R k_W$$

$$q_0 = 5,0$$

$$k_R = k_W = 1,0$$

$$q = 5 k_D$$

a) Klasa visoke duktilnosti - DCH

$$k_D = 1,0$$

$$q = 5,0 \times 1,0 = 5,0$$

$$S_d = 0,3 / 5,0 = 0,06 > 0,2 \alpha = 0,2 \times$$

$$0,12 = 0,024$$

$$F_b = 0,06W (= 2 \times YU81)$$

b) Klasa niske duktilnosti - DCL

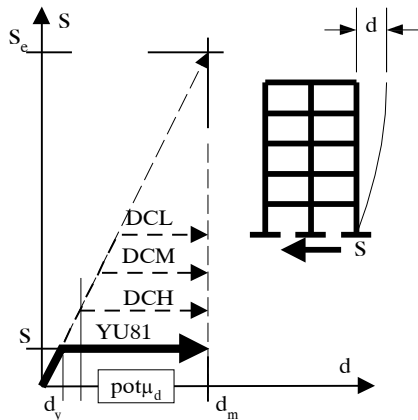
$$k_D = 0,5$$

$$q = 5,0 \times 0,5 = 2,5$$

$$S_d = 0,3 / 2,5 = 0,12$$

$$F_b = 0,12W (= 4 \times YU81)$$

Na slici 7.3 ilustrovan je nivo ukupnih seizmičkih sila, prema EC8 i YU81, sa oznakama prema YU81. Pretpostavljeno je da je elastični odgovor konstrukcije identičan prema oba propisa.

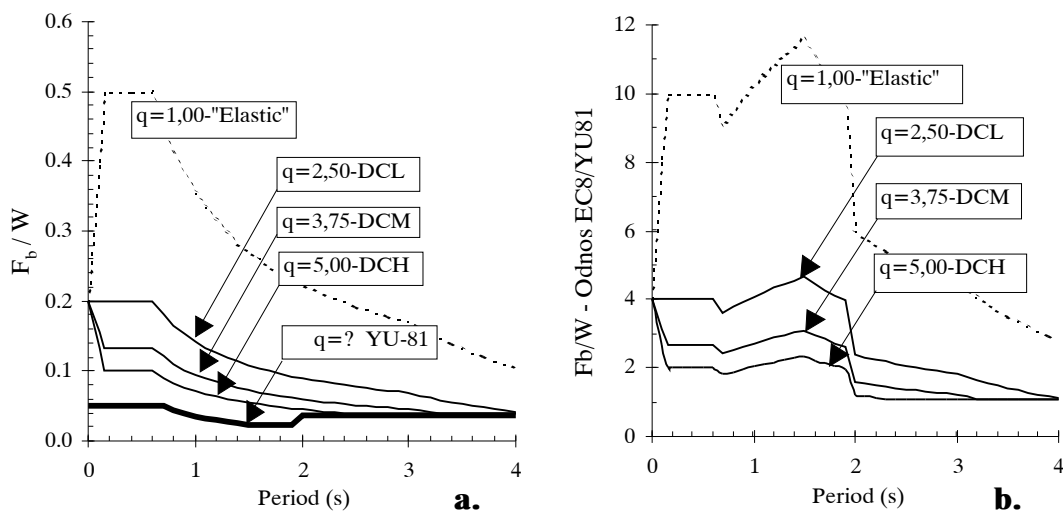


Slika 7.3 Opterećenje prema EC8 i YU81

opterećenja praktično je jedinstvena vrednost za sve "savremene armiranobetonke konstrukcije".

Uopštenije, na slici 7.4 prikazane su vrednosti ukupnog seizmičkog koeficijenta prema oba propisa [12]. Bez obzira na konceptualne, kao i razlike u detaljima, nivo ukupnog projektog seizmičkog opterećenja prema EC8 i YU81 je upoređljiva veličina. Usvojene su sledeće vrednosti parametara prema EC8 (YU81):

kategorija značaja III (kategorija objekta II); kategorija tla B (II); $a_g/g=0,20$ ($K_s=0,05$). Vrednost "koeficijenta prigušenja" prema YU81 iznosi $K_p=1,0$ ($T_1 \leq 2s$), odnosno $K_p=1,6$ ($T_1 > 2s$). Propis YU81 ne definiše eksplicitno vrednost "faktora ponašanja" q , a nivo projektog



Slika 7.4 a) Ukupni seizmički koeficijent, b) odnos EC8/YU81

Zavisno od usvojene klase duktilnosti, projektno seizmičko opterećenje prema EC8 je dva (visoka duktilnost - DCH, $q=5,0$) do četiri puta (niska duktilnost - DCL, $q=2,5$) veće nego prema YU81, osim u području dužih perioda, u kojem povećana vrednost "koeficijenta prigušenja" prema YU81, umanjuje razlike. Uz pretpostavku da je prema oba propisa odgovor elastične konstrukcije identičan ($q=1,0$ prema EC8), "ekvivalentna vrednost faktora ponašanja" ugrađena u YU81 propise isnosi oko $q_{yu81}=10$, "crtkasta" kriva na slici 7.4.b.

Niži nivo projektog opterećenja prema YU81 svakako da podrazumeva obezbeđenje visoke duktilnosti konstrukcije, više nego prema EC8. U slučaju konstrukcija koje realno mogu da razviju visoku duktilnost ($q=5-10$), duplo niže projektno opterećenje prema YU81 ne mora unapred da bude razlog za zabrinutost. Posledice su nešto veći iznos post-elastičnih deformacija, samim tim i oštećenja u zoni "plastičnih zglobova". Prema YU81, u pitanju je koncept "nižeg standarda" obezbeđenja konstrukcija od oštećenja pri zemljotresu, sa manjim inicijalnim ulaganjima pri građenju, primeren ekonomskoj snazi

društva. Međutim, niži nivo projektnog opterećenja prema YU81 u odnosu na EC8 trebalo bi da bude praćen i strožijim konstrukcijskim zahtevima za obezbeđenje zahtevane duktilnosti što, po svemu sudeći nije slučaj. Osim nekoliko zahteva u vezi detalja armiranja, kao i izgleda dobro ocenjenog ograničenja nivoa normalne sile u stubovima, $\sigma_o/\beta_B \leq 0,35$, naši propisi daju načelne stavove u vezi obezbeđenja duktilnog ponašanja konstrukcije, tako da je, strogo uzev, samo vrlo obrazovan specijalista razumeo suštinu propisa, i imao šansu da konstruiše korektan objekat.

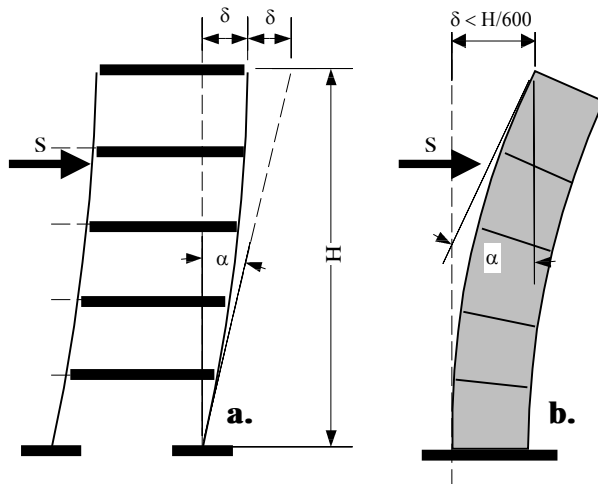
Problem je i to što, prema YU81, ista vrednost faktora ponašanja, kao i isti konstrukcijski zahtevi za obezbeđenje duktilnosti važe za praktično sve konstrukcijske sisteme zgrada, kao i sve nivoe aksijalnog naprezanja, - za "sve savremene armirano-betonske konstrukcije".

Deluje zbunjujuće, i izaziva sumnju da YU81 propis nije "izbalansiran" u svim svojim delovima, to što je nivo opterećenja koji YU81 zahteva za "konstrukcije sa fleksibilnim prizemljem ili spratom" ($K_p=2,0$), približno jednak iznosu projektnog opterećenja za konstrukcije visoke duktilnosti prema EC8. Pri tome treba imati u vidu da ovakve "konstrukcijske sisteme" EC8 praktično zabranjuje. Najviši nivo projektnog opterećenja prema YU81 zahtevan za "neregularne konstrukcije", jednak je najnižem nivou projektnog opterećenja prema EC8, dozvoljenom za "savršene", regularne konstrukcije.

Primer 7.2.....

Uporediti kriterijume dozvoljenih pomeranja konstrukcija prema EC8 i YU81

Prema YU81, računsko pomeranje δ vrha zgrade pri *projektnom zemljotresu*, sa povratnim periodom od 500 godina treba da je jednako ili manje od $H/600$, slika 7.5 [12]. Uz pretpostavku paraboličnog oblika deformacije, dozvoljeno pomeranje vrha zgrade od $H/600$ definiše maksimalni spratni nagib od $tg\beta=1/300$, slika 7.5. Ako vrednost faktora ponašanja prema YU81 iznosi oko $q=10$, tada je realno pomeranje vrha zgrade deset puta veće, $tg\beta = 1/30$.



Slika - 7.5 Koncept dozvoljenih pomeranja prema YU81.

Pri približno dva puta manjem ubrzanju i pomeranju, usled zemljotresa sa povratnim periodom od 50 godina, nagib iznosi približno $tg\beta=1/60$, što je oko 2 - 3 puta više od nagiba dozvoljenog prema EC8, $tg\beta=0,004-0,006$.

Manji iznos dozvoljenih pomeranja prema EC8 svakako da znači i manja oštećenja fasada i pregradnih zidova. Međutim, ako se ima u vidu da iznos pomeranja pri zemljotresu dominantno zavisi od inicijalne krutosti "elastične konstrukcije", to posledice ovakvog zahteva mogu biti dramatične - minimalna dozvoljena krutost konstrukcija prema EC8

je približno dva puta veća nego prema YU81.

Za razliku od EC8, YU81 ne ukazuje eksplicitno kolika su "realna" pomeranja konstrukcija pri zemljotresu, pa nisu retki slučajevi da se računski pomeranja d_e na granici elastičnosti smatraju i realnim pomeranjima. Verovatno da u jugoslovenskoj praksi ima propusta pri proceni realnih pomeranja, pri određivanju potrebnih visina neoprenskih ležišta, na primer.