

PROJEKTOVANJE I GRAĐENJE BETONSKIH KONSTRUKCIJA 2

8

V.prof. dr Branko Milosavljević, dipl.građ.inž.



Proračun AB konstrukcija za dejstvo zemljotresa prema SRPS EN1998 (Evrokod 8)

Delovi SRPS EN normi koje se odnose na seizmiku

SRPS EN 1998-1, Opšta pravila, seizmička dejstva i pravila
za zgrade

SRPS EN 1998-2, Mostovi

SRPS EN 1998-3, Procena stanja i ojačanje postojećih
zgrada

SRPS EN 1998-4, Silosi, rezervoari i cevovodi

SRPS EN 1998-5, Fundiranje, potporne konstrukcije i
geotehnički aspekti

SRPS EN 1998-6, Tornjevi, jarboli i dimnjaci

SRPS EN1998 (Evrokod 8) – parametri za proračun

⇒ **Zahtev da se objekat ne sruši**

Za uobičajene konstrukcije ovaj zahtev treba ispuniti za referentni zemljotres sa 10% vjerovatnoće prekoračenja u 50 godina ili sa **povratnim periodom od 475 godina**

⇒ **Zahtev ograničenja oštećenja**

Za uobičajene konstrukcije ovaj zahtev treba ispuniti za referentni zemljotres sa 10% vjerovatnoće prekoračenja u 10 godina ili sa **povratnim periodom od 95 godina**

⇒ Faktor značaja zgrade, $\gamma_I \rightarrow a_g = \gamma_I \cdot a_{gR}$

a_{gR} referentno maksimalno ubrzanje tla za tip A, definisano po zonama, odnosno na karti;

a_g projektno maksimalno ubrzanje tla za tip A

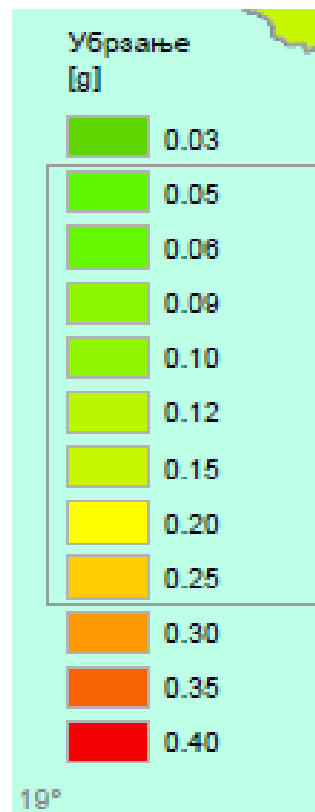
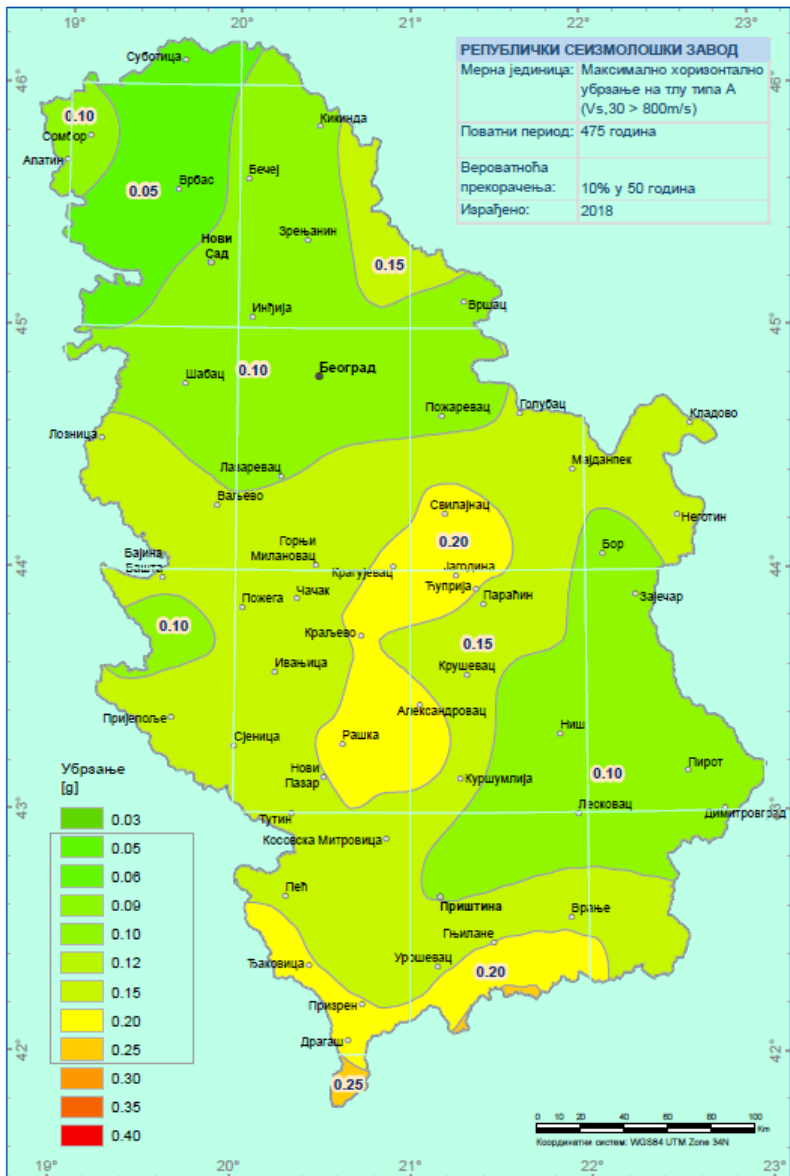
⇒ Definisani tipovi tla A – E (S_1, S_2)

⇒ Horizontalno dejstvo zemlotresa se opisuje sa dve ortogonalne nezavisne komponente prikazane istim spektrom odgovora.

КАРТА СЕИЗМИЧКОГ ХАЗАРДА РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ

Хазард изражен у јединицама гравитационог убрзања [g]

Повратни период 475 година



Referentno maksimalno ubrzanje tla za tip A

Karta seizmičkog hazarda Srbije (Republički seizmološki zavod)

Podloga za proračun

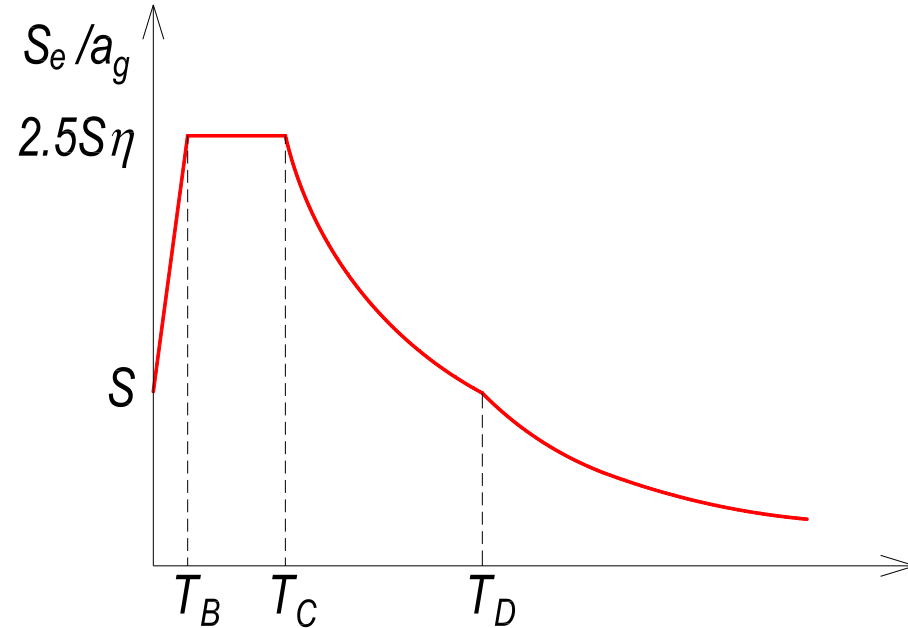
Horizontalni elastični spektar odgovora SRPS EN 1998

$$s_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2.5 - 1) \right] \quad 0 \leq T \leq T_B$$

$$s_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \quad T_B \leq T \leq T_C$$

$$s_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \left[\frac{T_C}{T} \right] \quad T_C \leq T \leq T_D$$

$$s_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \quad T_D \leq T \leq 4s$$



$S_e(T)$ elastični spektar odgovora

T period oscilovanja elastičnog sistema sa jednim stepenom slobode

a_g proračunsko ubrzanje za tip tla A ($a_g = \gamma_1 \times a_{gR}$)

T_B , period donje granice platoa spektralne krive

T_C , period gornje granice platoa spektralne krive

T_D , period koji odgovara početku konstantnog dela krive spektra odgovora po pomeranju

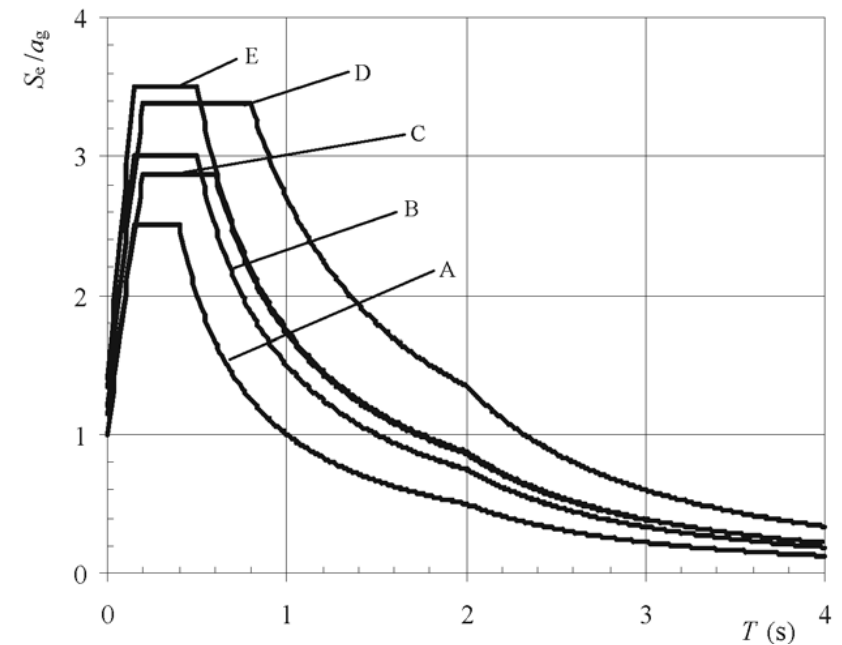
S faktor tla

η faktor korekcije prigušenja ($\eta = 1$ za prigušenje od 5%)

Generalno, EN 1998 predlaže dva tipa spektra u funkciji od magnitude:

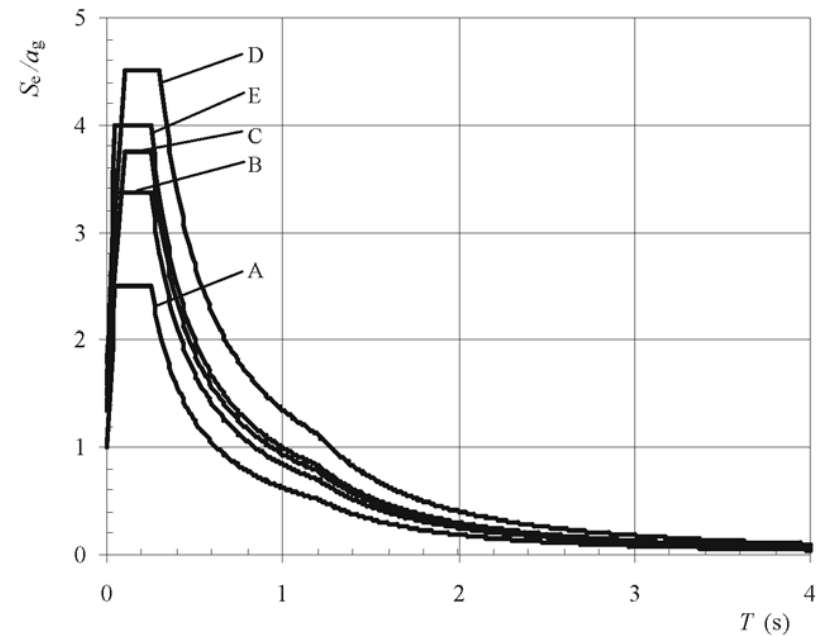
Tip spektra 1 $M > 5.5$

Tip tla	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0



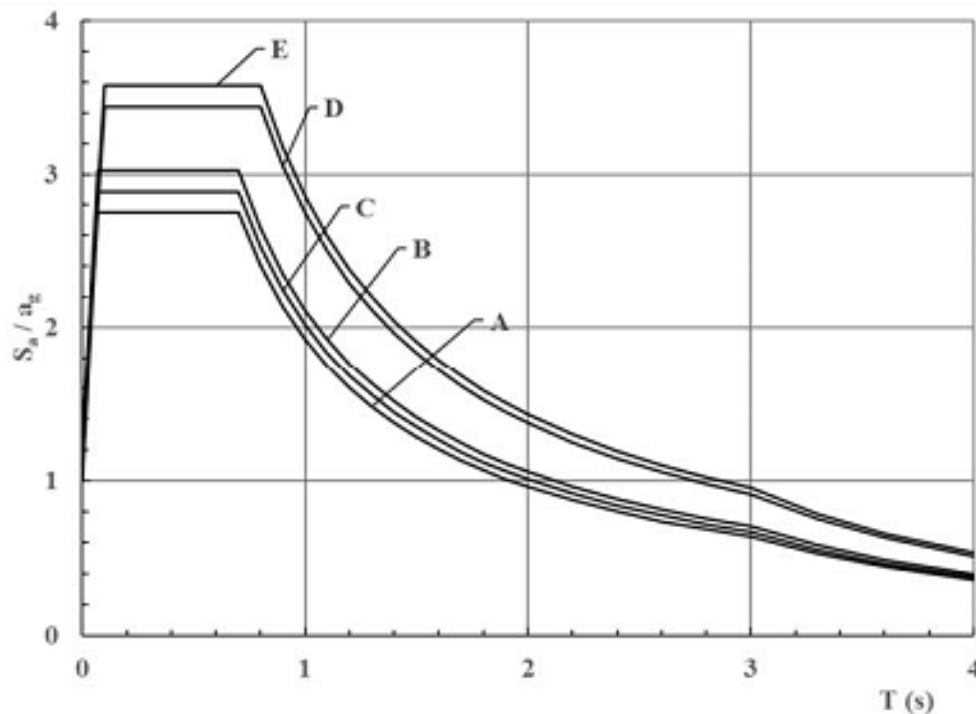
Tip spektra 2 $M \leq 5.5$

Tip tla	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,05	0,25	1,2
B	1,35	0,05	0,25	1,2
C	1,5	0,10	0,25	1,2
D	1,8	0,10	0,30	1,2
E	1,6	0,05	0,25	1,2

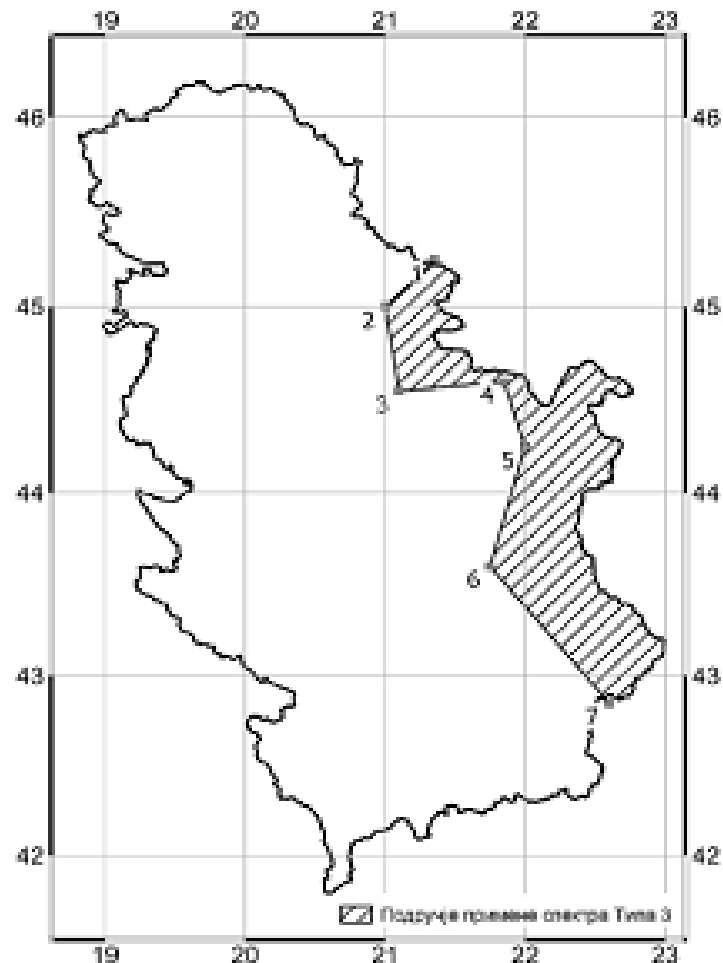


Tip tla S_1 i $S_2 \rightarrow$ posebne studije

Tip tla	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,07	0,7	3,0
B	1,1	0,07	0,7	3,0
C	1,05	0,17	0,7	3,0
D	1,25	0,10	0,8	3,0
E	1,3	0,10	0,8	3,0



Tip spektra 3



SRPS EN 1998 propisuje upotrebu spektra Tip 1 na celoj teritoriji, osim na srafiranom delu, gde je propisan Tip spektra 3, na osnovu karakteristika zabeleženi h zemljotresa u regionu (Rumunija)

Vetikalni elastični spektar odgovora

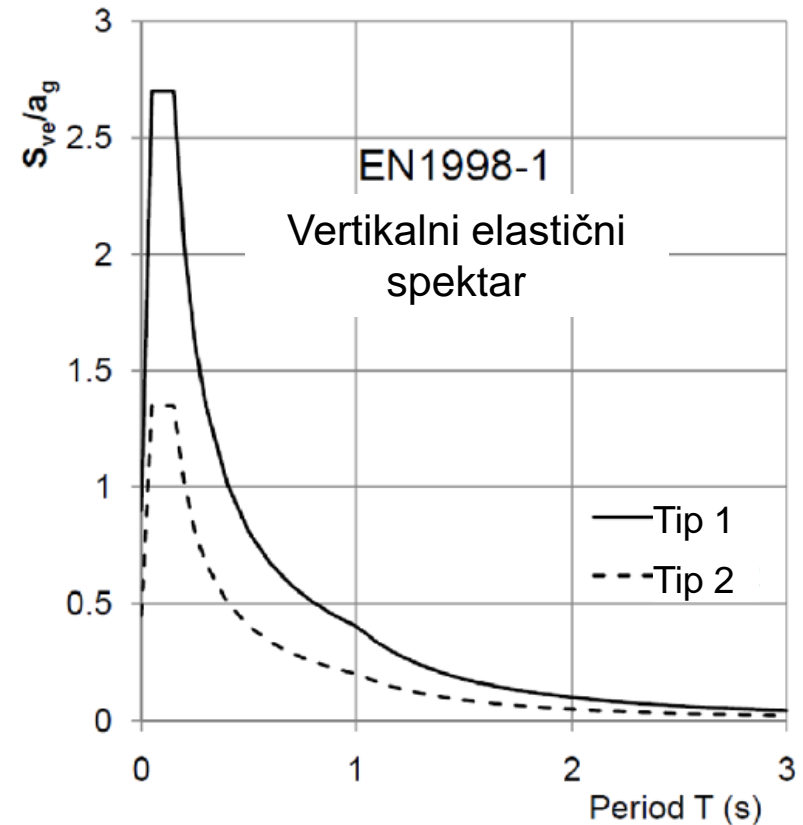
$$s_{ve}(T) = a_{vg} \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 3.0 - 1) \right] \quad 0 \leq T \leq T_B$$

$$s_{ve}(T) = a_{vg} \cdot S \cdot \eta \cdot 3.0 \quad T_B \leq T \leq T_C$$

$$s_{ve}(T) = a_{vg} \cdot S \cdot \eta \cdot 3.0 \left[\frac{T_C}{T} \right] \quad T_C \leq T \leq T_D$$

$$s_{ve}(T) = a_{vg} \cdot S \cdot \eta \cdot 3.0 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \quad T_D \leq T \leq 4s$$

Tip spektra	a_{vg}/a_g	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
Tip 1	0,90	0,05	0,15	1,0
Tip 2	0,45	0,05	0,15	1,0



Ako je $a_{vg} \geq 0.25g$ vertikalnu komponentu zemljotresa treba uzeti u račun kada je:

- horizontalni konstruktivni elementi raspona 20 m ili veći
- horizontalne konzole raspona dužih od 5 m
- horizontalni prenapregnuti elementi grede na koje su oslonjeni stubovi
- bazno izolovane konstrukcije

Horizontalne i vertikalne komponente dejstva zemljotresa

U opštem slučaju, za horizontalne komponente dejstva, odgovor konstrukcije se proračunava odvojeno za dva pravca.

Maksimalna vrednost uticaja od dejstva seizmike se može dobiti kao kvadratni koren iz zbira kvadrata svake horizontalne komponente.

Kao alternativa, pogodna za primenu u praksi, horizontalna komponenta dejstava za dva pravca se može proračunati kao:

a) $E_{Edx} + 0,30E_{Edy}$

b) $0,30E_{Edx} + E_{edy}$,

gde su E_{edx} i E_{edy} uticaji od dejstva seizmike u pravcu izabranih osa x i y , a znak "+" znači kombinovanje, sa različitim smerovima delovanja.

Ukoliko postoje uslovi za uključenje uticaja od vertikalne komponente E_{Edz} :

a) $E_{Edx} + 0,30E_{Edy} + 0,30E_{Edz}$

b) $0,30E_{Edx} + E_{edy} + 0,30E_{Edz}$

c) $0,30E_{Edx} + 0,30E_{edy} + E_{Edz}$

Sa ciljem da se izbegne nelinearna analiza, a uzimajući u obzir kapacitet konstrukcije za disipaciju energije kroz duktilno ponašanje njenih elemenata, sprovodi se elastična analiza zasnovana na “**projektom spektru odgovora**” koji je redukovan u odnosu na elastični spektar. Ova redukcija se ostvaruje uvođenjem **faktora ponašanja q** .

$$s_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad 0 \leq T \leq T_B$$

$$s_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \quad T_B \leq T \leq T_C$$

$$s_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad T_C \leq T \leq T_D$$

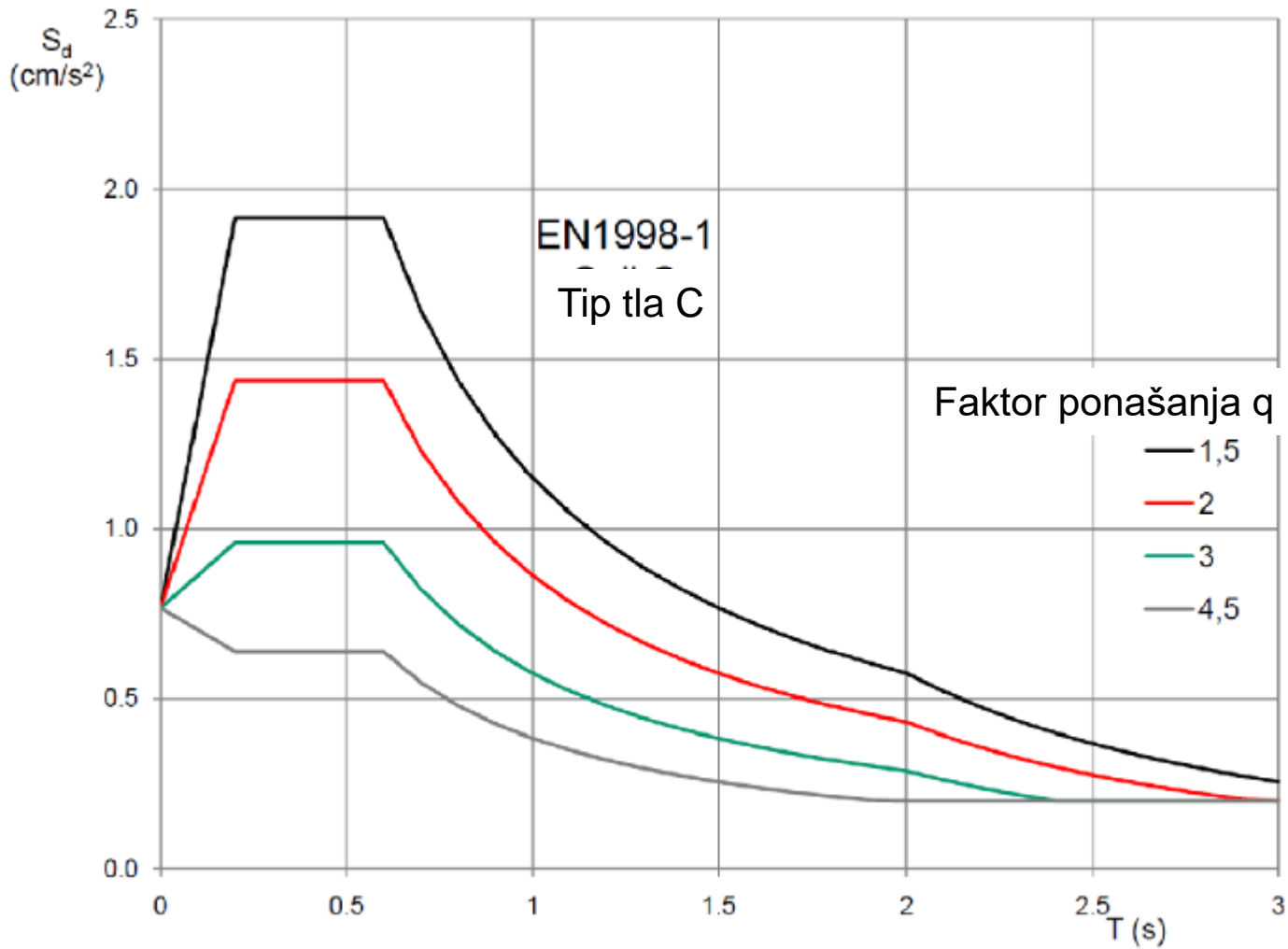
$$s_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad T_D \leq T$$

Za slučaj jednakih pomeranja q jednak je ranije definisanom faktoru redukcije R

$q=1 \rightarrow$ Elastičan spektar

$\beta = 0.2$ (faktor donje granice projektnog spektra)

Primer projektne spektralne krive za tip tla C



Faktor ponašanja q

Zavisí od:

- tipa konstrukcije (vrste konstruktivnog sistema)
- ostvarene duktilnosti (klasa duktilnosti)

globalna i lokalna duktilnost se ostvaruje merama
i konstrukcijskim detaljima (predavanje 7 i 10)

- regularnosti u osnovi (predavanje 9)
- regularnosti po visini (predavanje 9)

Definisanje tipova konstrukcije prema SRPS EN 1998

- a) **okvirni sistemi**: vertikalna i horizontalna opterećenja se prihvataju pretežno prostornim okvirima, čija je nosivost na smicanje u osnovi veća od **65%** ukupne nosivosti
- b) **duktilni sistem zidova** (povezani ili nepovezani): vertikalna i horizontalna opterećenja prihvataju se pretežno vertikalnim konstrukcijskim zidovima, bilo povezanim ili nepovezanim, a čija je nosivost na smicanje u osnovi veća od 65% ukupne nosivosti na smicanje. **Povezani zidovi (coupled walls)**: dva ili više zidova ravnomerno povezanih duktilnim gredama na spratovima (prečkama) koje imaju kapacitet da preuzmu najmanje 25% sume momenta savijanja koje zidovi primaju kao pojedinačni

- c) **dvojni sistemi**: u prijemu horizontalnih opterećenja učestvuju delom okvirni sistem, a delom konstrukcijski zidovi, pojedinačni ili spojeni;
- d) **dvojni sistem sa dominantnim delovanjem ramova**: nosivost na smicanje ramova u nivou temelja je veća od **50%** ukupne nosivosti
- e) **dvojni sistem sa dominantnim delovanjem zidova**: nosivost na smicanje zidova u nivou temelja je veća od **50%** ukupne nosivosti

- f) sistem velikih lako armiranih zidova: zidovi sa velikom dimenzijom preseka (dužina zida u osnovi $l_w \geq \min(4.0\text{m}, 2/3h_w)$ visine zida)), kod kojih se očekuje ograničen razvoj prslina i plastifikacija pri dejstvu zemljotresa. Uslovi: 1. Najmanje dva zida po pravcu koji pihvataju 20% ukupne težine objekta i 2. $T_1 \leq 0.5\text{sec}$
- g) sistem obrnutog klatna: sistem kod koga je 50% ili više od ukupne mase locirano u gornjoj trećini visine konstrukcije; plastični zglob u uklještenju
- h) torziona fleksibilni sistem: dvojni sistem ili sistem zidova koji nemaju dovoljnu torzionu krutost, sistemi neregularni u osnovi (predavanje 9).

Klase duktilnosti

Armiranobetonske konstrukcije se mogu svrstati u dva klase:

DCM (srednja duktilnost) i

DCH (visoka duktilnost)

u zavisnosti od kapaciteta histerezisne disipacije energije.

Obe klase treba da budu projektovane tako da je obezbeđeno formiranje punog stabilnog plastičnog mehanizma sistema konstrukcije, sposobnog da podnese višestruko ciklično opterećenje bez krkih lomova.

Za ostvarivanje odgovarajućeg nivo duktilnosti za klase DCM i DCH potrebno je zadovoljiti zahteve propisane za sve elemente konstrukcije (grede, zidovi, stubovi, temelji).

Alternativno, AB konstrukcije se mogu projektovati za nizak kapacitet disipacije energije i nisku duktilnost prema SRPS EN 1992-1-1:2004 i za dejstvo zrnlotresa (klasa duktilnosti **L** (low)) samo za slučaj **niske seizmičnosti**.

Niska seizmičnost

Lokaciju karakteriše **niska seizmičnost** ukoliko su ispunjeni uslovi:

$$a_g \leq 0.08g \text{ ili } a_g \cdot S \leq 0.1g$$

U slučaju niske seizmičnosti primenjuju se **pojednostavljene procedure** projektovanja za dejstvo seizmike.

Lokaciju karakteriše **veoma niska seizmičnost** ukoliko su ispunjeni uslovi:

$$a_g \leq 0.04g \text{ ili proizvod } a_g \cdot S \leq 0.05g$$

U slučaju veoma niske seizmičnosti **ne mora** se voditi računa o odredbama EN1998.

Definisanje vrednosti faktora ponašanja q

$$q = q_0 \cdot k_w \geq 1,5$$

- q_0 - osnovna vrednost faktora ponašanja, zavisna od tipa konstrukcijskog sistema
- k_w - faktor koji uzima u obzir preovlađujuću vrstu loma konstrukcijskih sistema: sa zidovima $\rightarrow 0.5 \leq k_w \leq 1$; okvirne konstr. $\rightarrow k_w = 1$

Osnovne vrednosti faktora ponašanja q_0 za sisteme regularne po visini

Tip konstrukcije	DCM	DCH
Okvirni sistem, dvojni sistem, sistem povezanih zidova	$3.0 \alpha_u / \alpha_1$	$4.5 \alpha_u / \alpha_1$
Sistem nevezanih zidova	3.0	$4.0 \alpha_u / \alpha_1$
Torziono fleksibilni sistem	2.0	3.0
Sistem obrnutog klatna	1.5	2.0

DCM – zgrade srednje duktilnosti

DCH – zgrade visoke duktilnosti

α_u/α_1 odnos sile koja izaziva pun plastični mehanizam konstrukcije i sile koja izaziva prvi plastični zglob (“pushover” analiza)

Može se usvojiti:

- za sisteme ramova ili dvojne sisteme sa dominantnim delovanjem ramova:
 - $\alpha_u/\alpha_1 = 1.1$ za jednospratne ramove,
 - $\alpha_u/\alpha_1 = 1.2$ za višespratne jednobrodne ramove,
 - $\alpha_u/\alpha_1 = 1.3$ za višespratne višebrodne ramove;
- za sisteme zidova ili dvojne sisteme sa dominantnim delovanjem zidova:
 - $\alpha_u/\alpha_1 = 1.0$ za sisteme sa samo dva pojedinačna zida po pravcu,
 - $\alpha_u/\alpha_1 = 1.1$ za ostale sisteme nepovezanih zidova,
 - $\alpha_u/\alpha_1 = 1.2$ za povezane sisteme zidova;

Pomeranje konstrukcije pri dejstvu seizmike

Pri linearnoj analizi konstrukcija pomeranje se određuje na osnovu izraza:

$$d_s = q_d \cdot d_e$$

gde je

d_s pomeranje neke tačke konstrukcije izazvano proračunskim dejstvom seizmike;

q_d faktor ponašanje za pomeranje, uglavnom $q_d = q$

d_e pomeranje iste tačke konstrukcije dobijeno linearnom analizom na osnovu proračunskog spektra (elastični spektar podeljen sa q).

Ovakva definicija je bazirana na koncepti jednakih pomeranja, koji podrazumeva da će se postići konačna pomeranja jednaka pomeranjima za elastični spektar, bez obzira na veličinu faktora ponašanja q .

Utjecaji teorije II reda (P - Δ efekti) ne treba da se uzimaju u proračun ako su za sve spratove zadovoljeni uslovi:

$$\theta = \frac{P_{tot} \cdot d_r}{V_{tot} \cdot h} \leq 0.10$$

gde je:

θ koeficijent osetljivosti horizontalnog relativnog međuspratnog pomeranja

P_{tot} ukupno gravitaciono opterećenje na i iznad razmatranog sprata

d_r proračunsko relativno horizontalno međuspratno pomeranje (razlika osrednjenih horizontalnih pomeranja d_s na vrhu i dnu posmatranog sprata ($d_s = q \cdot d_e$))

V_{tot} seizmička spratna sila

h međuspratna visina.

Ako je $0.1 < \theta \leq 0.2$, uticaj teorije drugog reda se uzima u račun množenjem uticaja od dejstva zemljotresa faktorom $1/(1 - \theta)$.

Mora biti zadovoljen uslov $\theta \leq 0.3$.