

Komentari numeričkih primera

{1} Uvodne napomene

Za prezentaciju je izabrana konstrukcija sa malim brojem elemenata i jednostavnom statičkom šemom. Konceptija i dimenzije su prevashodno usvojeni tako da se pojave određeni problemi prilikom proračuna, a ne sa aspekta zadovoljenja inženjerskih zahteva, u skladu sa pretpostavljenom namenom objekta.

Pri proračunu prikazanog objekta trebalo bi da se koriste:

- EC0 (modeliranje konstrukcije, modeliranje opterećenja);
- EC1 (kategorizacija konstrukcije, veličine opterećenja);
- EC2 (modeliranje, dimenzionisanja i provere, obrada detalja);
- EC7 (proračun temeljenja, kontrola tla);

U proračunu izabranih pozicija, koje su predmet ove prezentacije, ne mora se koristiti EC7.

{2} Kategorija proračunskog upotrebnog veka prema Tabeli 2.1 EC0 (EN 1990: 2.3(1))

Kategorija proračunskog eksploatacionog veka	Predviđeni proračunski eksploatacioni vek (godina)	Primeri
1	10	Privremene konstrukcije
2	10 do 25	Zamenljivi delovi konstrukcije, na primer, kranski nosači, ležišta
3	15 do 30	Poljoprivredne i slične konstrukcije
4	50	Konstrukcije zgrada i druge jednostavne konstrukcije
5	100	Konstrukcije monumentalnih zgrada, mostovi, kao i konstrukcije drugih građevinskih objekata

{3} Korisna opterećenja u zgradama prema EC1 ; Kategorije korišćenja površina (EN1991-1-1: 6.3 - Tabele 6.1, 6.3, 6.7 i 6.9)

Kategorija	Predviđeno korišćenje	Primer
A	Stanovanje, smeštaj	Sobe u stambenim objektima, sobe i odeljenja u bolnicama, sobe u hotelima, kuhinje i toaleti.
B	Kancelarije	
C	Prostori u kojima se ljudi mogu okupljati (izuzimajući korišćenje predviđeno kategorijama A, B i D)	C1: Prostori sa stolovima i sl. (učionice, kafeterije, restorani, čitaonice, recepcije). C2: Prostori sa fiksnim sedištima (u crkvama, pozorištima, bioskopima, konferencijskim salama, amfiteatrima, čekaonicama). C3: Prostori sa slobodnim kretanjem ljudi (muzeji, izložbeni prostori, pristupne površine javnih i administrativnih zgrada, bolnica, hotela). C4: Prostori sa mogućim fizičkim aktivnostima (plesne i gimnastičke dvorane, pozornice).

		C5: Prostori sa mogućim velikim gužvama (u zgradama za javne manifestacije kao što su koncertne i sportske dvorane uključujući tribine, balkone i pristupne površine, peroni).
D	Prodavnice	D1: Prodavnice D2: Velike prodavnice (robne kuće)
E1	Prostori u kojima se može gomilati roba, uključujući pristupne površine	Prostori za skladištenje, uključujući prostore za knjige i druge dokumente
E2	Industrijska upotreba	
F	Saobraćajne i parking površine za laka vozila	Garaže i parkinzi za vozila do 30 kN bruto težine i najviše 8 sedišta, ne računajući vozača
G	Saobraćajne i parking površine za srednja vozila	Pristupni putevi i dostavne zone, požarni putevi (vozila 30–160 kN bruto težine na 2 osovine)
H	Krovovi	Neprohodni krovovi
I	Krovovi	Prohodni krovovi, sa opterećenjem prema A–D
K	Krovovi	Prohodni krovovi sa posebnim funkcijama, npr. heliodromi

{4} Uslovi sredine dati su Tabeli 4.1 EC2 (EN1992-1-1: 4.2(2)) ; Klase izloženosti u zavisnosti od uslova sredine, u skladu sa EN 206-1 su:

Oznaka klase	Opis sredine	Informativni primeri uslova za klase izloženosti
1. Bez opasnosti od korozije ili drugih agresivnih dejstava		
X0	Za nearmirani beton ili beton bez ugrađenih metalnih elemenata: svi uslovi izloženosti osim zamrzavanja/odmrzavanja, abrazije ili hemijskog uticaja. Za beton sa armaturom ili ugrađenim metalnim elementima: veoma suva	Beton u unutrašnjosti zgrada sa veoma niskom vlažnošću vazduha
2. Korozija prouzrokovana karbonacijom		
XC1	Suva ili stalno vlažna sredina	Beton u unutrašnjosti zgrada sa niskom vlažnošću vazduha Beton stalno potopljen u vodu
XC2	Vlažna, retko suva sredina	Površine betona dugotrajno u kontaktu sa vodom Mnogi temelji
XC3	Umereno vlažna sredina	Beton u unutrašnjosti zgrada sa umerenom ili visokom vlažnošću vazduha Beton u spoljašnjem prostoru zaštićen od kiše

XC4	Ciklično vlažna i suva sredina	Površine betona u kontaktu sa vodom, koje ne spadaju u klasu izloženosti XC2
3. Korozija prouzrokovana hloridima koji ne potiču iz morske vode		
XD1	Umereno vlažna sredina	Površine betona izložene dejstvu hlorida iz vazduha
XD2	Vlažna, retko suva sredina	Bazeni za plivanje Betonski elementi izloženi industrijskim vodama koje sadrže hloride
XD3	Ciklično vlažna i suva sredina	Delovi mostova izloženi prskanju aerosola koji sadrži hlorid Kolovozi Ploče parkinga
4. Korozija prouzrokovana hloridima iz morske vode		
XS1	Sredina izložena dejstvu soli iz vazduha, ali bez direktnog kontakta sa morskom vodom	Konstrukcije u blizini ili na obali
XS2	Permanentno potopljen	Delovi konstrukcija u morskoj vodi
XS3	Zone izložene plimi, kvašenju i prskanju	Delovi konstrukcija u morskoj vodi
5. Zamrzavanje/odmrzavanje sa agensima za odmrzavanje ili bez njih		
XF1	Umerena zasićenost vodom, bez agensâ za odmrzavanje	Vertikalne površine betona izložene kiši i mrazu
XF2	Umerena zasićenost vodom, sa agensima za odmrzavanje	Vertikalne betonske površine saobraćajnih konstrukcija, izložene mrazu i sredstvima za odmrzavanje iz vazduha
XF3	Velika zasićenost vodom, bez agensâ za odmrzavanje	Horizontalne betonske površine izložene kiši i mrazu
XF4	Velika zasićenost vodom sa agensima za odmrzavanje ili morskom vodom	Putne ili mostovske kolovozne konstrukcije izložene agensima za odmrzavanje Betonske površine izložene direktnom prskanju rastvorima sredstava za odmrzavanje i mrazu Zone kvašenja konstrukcija na morskoj obali izložene mrazu
6. Hemijska izloženost		
XA1	Blaga hemijska agresivnost sredine, prema EN 206-1, tabela 2	Prirodna tla i podzemna voda
XA2	Umerena hemijska agresivnost sredine, prema EN 206-1, tabela 2	Prirodna tla i podzemna voda
XA3	Izražena hemijska agresivnost sredine, prema EN 206-1, tabela 2	Prirodna tla i podzemna voda

{5} Materijali – Beton:

- Kvalitet se deklarira oznakom klase čvrstoće: $Cf_{ck,cyl}/f_{ck,cube}$;
- Predviđene klase su: C12/15, C16/20, C20/25, C25/30, C30/37, C35/45, C40/50, C45/55, C50/60, C55/67, C60/75, C70/85, C80/95, C90/105;
- Klasu primarno definiše prvi broj u oznaci $f_{ck,cyl}$ - karakteristična vrednost čvrstoće na pritisak određena na standardnom opitnom telu – cilindru prečnika 150 i visine 300 mm. Ova veličina se koristi u svim obrascima: $f_{ck} = f_{ck,cyl}$;
- Drugi broj je karakteristična vrednost čvrstoće određena na standardnoj kocki $f_{ck,cube}$ stranice 150 mm i može se dobiti konverzijom (uz zaokruživanje).
- Srednje i karakteristične vrednosti drugih fizičko-mehaničkih karakteristika betona (čvrstoća na zatezanje, modul elastičnosti, dilatacije koje opisuju proračunski dijagram) date su u Tabeli 3.1 EC2 (EN1992-1-1: 3.1.2);
- Relevantni standardi, vezani za beton su: EN 206-1 (Beton: Specifikacije, svojstva, proizvodnja i usaglašenost sa zahtevima), EN 12390 (Ispitivanje očvrslog betona), ENV 13670 (Izvođenje betonskih konstrukcija), EN 13791 (Ispitivanje betona).
- Preporučene minimalne klase čvrstoće betona s obzirom na trajnost date su u Aneksu E Evrokoda 2 (EN 1992-1-1: Aneks E)
- Aneks E EC2 je informativan i njegove odredbe nisu obavezujuće, osim ako se tako ne označi u Nacionalnom Prilogu (NP). Srpski NP je deklarirao aneks E kao informativan.
- Izbor adekvatno trajnog betona za zaštitu armature od korozije i zaštitu od nepovoljnih uticaja sredine na beton, zahteva vođenje računa o kompoziciji betona. Ispunjenje tog zahteva može dovesti do potrebe za većom čvrstoćom betona pri pritisku od one koja je potrebna prema proračunu nosivosti konstrukcije.
- Preporučene vrednosti klasa čvrstoće s obzirom na trajnost date su u tabeli E.1N.

Tabela E.1N		Klase izloženosti prema tabeli 4.1								
Korozija armature										
	Korozija usled uticaja karbonata				Korozija usled uticaja hlorida			Korozija usled uticaja hlorida iz morske vode		
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3
Indikativna klasa čvrstoće	C20/25	C25/30	C30/37		C30/37		C35/45	C30/37	C35/45	
Oštećenje betona										
	Bez rizika	Agresivno dejstvo mržnjenja/topljenja			Hemijska agresija					
	X0	XF1	XF2	XF3	XA1	XA2	XA3			
Indikativna klasa čvrstoće	C12/15	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37			C35/45		

{6} Materijali – Armatura:

- Kvalitet se deklarira karakterističnom vrednošću granice tečenja f_{yk} ;
- Modul elastičnosti $E_s = 200$ GPa;

- Relevantni standardi, vezani za armaturu su: EN 10080 (Betonski čelik), EN 10138 (Čelici za prethodno naprezanje), EN ISO 17660 (Dopušteni postupak zavarivanja armature), ENV 13670 (Izvođenje betonskih konstrukcija), EN ISO 15630 (Betonski čelik i čelik za prethodno naprezanje betona: Metode ispitivanja).

{7} Zapremnske težine građevinskih i skladištenih materijala date su u EC1 (EN 1991-1-1 Aneks A (informativni): Tabele A.1 – A.12)

Beton: $\gamma = 24,0 + 1,0 = 25,0 \text{ kN/m}^3$ (EN 1991-1-1 Aneks A: Tabela A.1 i EN 206)

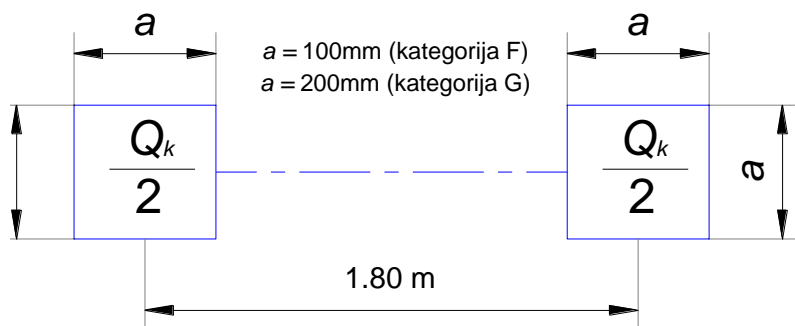
{8} Korisno opterećenje za kategoriju F (EN 1991-1-1: 6.3.3.2(1))

Dat je raspon opterećenja. Preporučene vrednosti su podvučene.

Raspedeljeno: $q_k = 1,5\text{--}\underline{2,5} \text{ kN/m}^2$

Osovinsko: $Q_k = 10\text{--}\underline{20} \text{ kN}$

Dispozicija osovinskog opterećenja (EN 1991-1-1: Slika 6.2)



{9} Opterećenje snegom dato je u delu 1-3 EC1 (EN1991-1-3). Opterećenje vetrom dato je u delu 1-4 EC1 (EN1991-1-4).

Ovi dokumenti podrazumevaju definisanje potrebnih podataka u NP.

{10} Proračun graničnog stanja nosivosti (ULS)

- Proračunska vrednost dejstva (opterećenja) dobija se množenjem karakteristične vrednosti (G_k , Q_k ; prema EC1; slovo k u indeksu označava karakterističnu vrednost) odgovarajućim koeficijentom sigurnosti (γ_G , γ_Q ; prema EC0). Proračunske vrednosti označene su slovom d u indeksu;
- Veličina koeficijenta sigurnosti zavisi od vrste dejstva (stalno, promenljivo, incidentno, seizmika) i vrste dokaza koji se sprovodi (nosivost, stabilnost, kontrola fundiranja...);
- Generalno, za proračun nosivosti konstrukcijskih elemenata za regularno stanje eksploatacije $\gamma_G = 1.35$ (1.0 u slučaju povoljnog dejstva) i $\gamma_Q = 1.50$;
- Pri kombinovanju više promenljivih (Q) dejstava sprovodi se redukcija njihovih veličina u skladu sa statističkom verovatnoćom: kada jedno promenljivo dejstvo (Q_1) ima maksimalnu vrednost, preostala (Q_i) se smanjuju množenjem odgovarajućim faktorima, $\psi_i \times Q_i$ ($\psi_i \leq 1$);
- Statistički faktori ψ definisani su u EC0 za korisna opterećenja kategorija A–H, sneg, vetar i temperaturu (EN1990 Aneks A1: A1.2.2(1) Tabela A1.1). Za specifična opterećenja dati su u relevantnim delovima EC1;

- Za svako promenljivo opterećenje daju se tri ψ faktora: $1 \geq \psi_0 \geq \psi_1 \geq \psi_2 \geq 0$, koji se koriste u zavisnosti od dokaza koji se sprovodi.

{11} „Proračunske situacije“ prema EC0

EC0 propisuje takozvane "proračunske situacije" kao skup fizičkih uslova, koji predstavljaju realne uslove, koji mogu da nastanu u toku određenog vremenskog intervala, a za koje proračunom treba pokazati da određena granična stanja nisu prekoračena (EN 1990: 1.5.2.2). Predviđene su:

- Prolazna (privremena) proračunska situacija. Proračunska situacija, koja je relevantna u toku perioda, mnogo kraćeg od proračunskog eksploatacionog veka konstrukcije, a za koju postoji velika verovatnoća da će nastati. (EN 1990: 1.5.2.3). Prolazna proračunska situacija se odnosi na privremene uslove konstrukcije, upotrebe, ili izloženosti, na primer, u toku građenja ili popravke;
- *Persistent design situation* kod nas prevedena kao *stalna proračunska situacija*. Proračunska situacija, koja je relevantna u toku perioda, istog reda veličine (trajanja), kao što je proračunski eksploatacioni vek konstrukcije (EN 1990: 1.5.2.4). Generalno, odnosi se na uslove normalne upotrebe konstrukcije—za šta je i projektovana—odnosno, označava regularno stanje eksploatacije. S obzirom da reč *stalna* više odgovara engleskoj reči *permanent*, u primeru obrađenom u prezentaciji ova situacija je označavana kao "*stalna*" (sa navodnicima), da bi se naglasilo da se ne odnosi na delovanje samo stalnih (dugotrajnih) dejstava;
- Incidentna proračunska situacija. Proračunska situacija, koja sadrži izuzetne uslove konstrukcije ili njene izloženosti, uključujući požar, eksploziju, udar, ili lokalni lom (EN 1990: 1.5.2.5);
- Seizmička proračunska situacija. Proračunska situacija, koja obuhvata izuzetne uslove konstrukcije, kada je izložena seizmičkom događaju (EN 1990: 1.5.2.7).

{12} Kombinacije opterećenja (dejstava) za proračun graničnog stanja nosivosti (ULS)

Za regularno stanje eksploatacije razmatraju se kombinacije oblika (prema EN1990: 6.4.3.2(3) izraz (6.10), "stalna" proračunska situacija):

$$\sum \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1} + \sum \gamma_Q \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (i \neq 1), \text{ pri čemu:}$$

- „ \sum i „+“ znače da posmatrana dejstva deluju istovremeno;
- Svako promenljivo dejstvo (Q_i) može da bude „ Q_1 “ u jednoj ili više kombinacija. U tim kombinacijama ono se ne pojavljuje u sumi $\sum \gamma_Q \psi_{0,i} Q_{k,i} : i \neq 1$. Promenljivo dejstvo Q_1 koje u posmatranoj kombinaciji ima (svoju) maksimalnu vrednost naziva se "*dominantno*". Ovo nije baš srećno izabran termin, jer sugeriše da to dejstvo daje najveće (merodavne) uticaje – što uopšte nije bio cilj. Reč "*dominantno*" samo označava da to je dejstvo, u posmatranoj kombinaciji sa drugim dejstvima, doseglo svoju maksimalnu proračunsku vrednost. Svako promenljivo dejstvo, bez obzira na veličinu, može biti "*dominantno*" (to jest da bude „ Q_1 “) u (zasebnoj) kombinaciji - broičani indeksi $i = 1, 2, \dots$, ne predstavljaju numeraciju već nabrojanje dejstava;
- U slučaju povoljnog efekta na neki uticaj promenljivo dejstvo se može izostaviti iz kombinacije ($\gamma_Q = 0$). Za povoljni efekat stalnog dejstva $\gamma_G = 1.0$. Razmatranje povoljnog i nepovoljnog efekta pojedinih opterećenja nije po automatizmu obavezno: ono se sprovodi u situacijama kada je to svrsishodno (na primer ako je promenljivo opterećenje slične veličine kao i stalni teret, u kom slučaju se nakon ovakve analize mogu dobiti osetnije uvećane presečne sile. Veličina promenljivih tereta u razmatranom primeru nije takva da bi bilo potrebno formirati sve kombinacije koje su prikazane. One su urađene sa ciljem da se prikaže postupak u slučajevima kada su ovakve kombinacije potrebne);

- Statički uticaji izračunati iz ovakvih opterećenja su (već) granični uticaji (ne množe se drugim koeficijentima sigurnosti).

Kombinacije opterećenja (dejtava) za seizmičku proračunsku situaciju (granično stanje nosivosti – ULS, prema EN1990: 6.4.3.4(2) izraz (6.12b)) :

$$\sum G_k + A_{Ed} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

gde je A_{Ed} proračunska vrednost seizmičkog dejstva određena prema EC8.

{13} Kombinacije opterećenja (dejtava) za proračun graničnog stanja upotrebljivosti (SLS)

Za regularno stanje eksploatacije razmatraju se kombinacije oblika (prema EN1990: 6.5.3(2) izrazi (6.14b), (6.15b) i (6.16b)) :

„karakteristična kombinacija“: $\sum G_k + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (i \neq 1)$;

„česta kombinacija“: $\sum G_k + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (i \neq 1)$;

„kvazi-stalna kombinacija“: $\sum G_k + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$.

Statički uticaji izračunati iz ovakvih kombinacija predstavljaju eksploataciono stanje. Za pojedine vrste dokaza propisano je koja se kombinacija koristi. Tako se, na primer, za dokaz ugiba i prslina armiranobetonskih konstrukcija prema EC2 koristi kvazi-stalna kombinacija, za dokaz prslina prethodno napregnutih elemenata česta, a za ograničenje napona pritiska karakteristična kombinacija i kvazi-permanentna kombinacija.

{14} Merodavne kombinacije SLS

Princip kombinovanja opterećenja uz redukciju statističkim ψ faktorima, koji imaju različite vrednosti zavisno od vrste kombinacije, proizvodi veliki broj kombinacija pri proračunu graničnog stanja upotrebljivosti (SLS). Stoga je svrsishodno da se prvo sprovede proračun graničnog stanja nosivosti (ULS), a da se zatim samo merodavne "stalne" proračunske situacije "prevedu" u potrebne (karakteristične, česte ili kvazi-permanentne) kombinacije.

{15} Zaštitni sloj

Veličina se određuje kao zbir (EN 1992-1-1: 4.4.1.1(2)P – Formula (4.1))

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

Prvi sabirak (c_{min}) se uzima kao najveća od tri vrednosti (EN 1992-1-1: 4.4.1.2(2)P – Formula (4.2)):

$$c_{min} = \max \{ c_{min,b}; \quad (c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}); \quad 10 \text{ mm} \}$$

- Prva vrednost ($c_{min,b}$) data je u Tabeli 4.2 (EN 1992-1-1: 4.4.1.2(3));
- Druga vrednost ($c_{min,dur}$), eventualno korigovana prema prikazanom izrazu u zagradi – pri posebnim slučajevima koji se ovde ne objašnjavaju, data je u Tabeli 4.4N (EN 1992-1-1: 4.4.1.2(5)), u zavisnosti od klase konstrukcije. Prethodno se klasa konstrukcije, ako je potrebno, modifikuje prema Tabeli 4.3N (EN 1992-1-1: 4.4.1.2(5));
- Treća vrednost je 10 mm.

Tabela 4.2: Minimalni zaštitni sloj betona $c_{min,b}$, s obzirom na uslove prijanjanja armature i betona

Zahtevi s obzirom na uslove prijanjanja armature i betona	
Raspored šipki	Minimalni zaštitni sloj $c_{min,b}^*$
Pojedinačne šipke	Prečnik šipke

Šipke u svežnju	Ekvivalentan prečnik (\varnothing_n)
* Ako je nominalna maksimalna dimenzija agregata veća od 32 mm, $c_{min,b}$ treba povećati za 5 mm.	

{16} Modifikacija klase konstrukcije prema EN 1992-1-1: 4.4.1.2(5) Tabela 4.3N:

Tabela 4.3N: Preporučena klasifikacija konstrukcija

Klasa konstrukcije							
Kriterijum	Klase izloženosti prema tabeli 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1	XD2/XS1	XD3/XS2/XS3
Proračunski eksploatacioni vek od 100 godina	povećati klasu za 2	povećati klasu za 2	povećati klasu za 2	povećati klasu za 2	povećati klasu za 2	povećati klasu za 2	povećati klasu za 2
Klasa čvrstoće ^{1) 2)}	$\geq C30/37$ redukovati klasu za 1	$\geq C30/37$ redukovati klasu za 1	$\geq C35/45$ redukovati klasu za 1	$\geq C40/50$ redukovati klasu za 1	$\geq C40/50$ redukovati klasu za 1	$\geq C40/50$ redukovati klasu za 1	$\geq C45/55$ redukovati klasu za 1
Elementi čija geometrija odgovara pločama (postupak gradnje nema uticaja na položaj armature)	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1
Obezbeđena posebna kontrola kvaliteta proizvodnje betona	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1

{17} Veličina zaštitnog sloja prema EN 1992-1-1: 4.4.1.2(5):

Tabela 4.4N: Vrednosti minimalnog zaštitnog sloja $c_{min,dur}$ za armaturu s obzirom na trajnost, prema EN 10080

Zahtevi za $c_{min,dur}$ s obzirom na uslove sredine (mm)							
Klasa konstrukcije	Klase izloženosti prema tabeli 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS1	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

{18} Zaštitni sloj (nastavak)

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

Kada se proračunava nominalni zaštitni sloj c_{nom} , mora se predvideti povećanje minimalnog zaštitnog sloja betona da bi se uzela u obzir odstupanja u izvođenju Δc_{dev} . Potrebni minimalni zaštitni sloj zbog toga mora da se poveća za apsolutnu vrednost negativne tolerancije (dopuštenog odstupanja u izvođenju usled kojeg bi se smanjio zaštitni sloj). Vrednost Δc_{dev} , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom NA. Preporučena vrednost je 10 mm (EN 1992-1-1: 4.4.1.3(1)P i ona je usvojena u srpskom NA.

U izvesnim slučajevima tolerancija, a time i dodatno povećanje minimalnog zaštitnog sloja Δc_{dev} , može da se smanji. Smanjenje vrednosti Δc_{dev} u takvim slučajevima, koje se

primenjuje u određenoj zemlji, dato je u njenom NP. Preporučene vrednosti su (EN 1992-1-1: 4.4.1.3(3)):

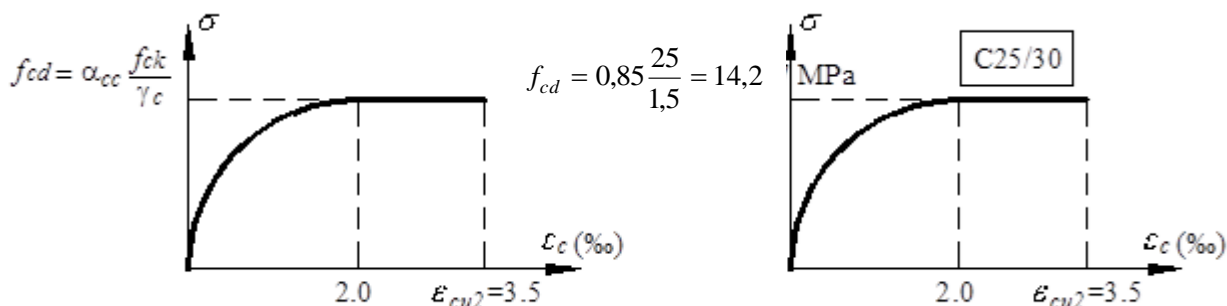
- kada se elementi i konstrukcije proizvode u sistemu u kojem se obezbeđuje kvalitet, i ako kontrole uključuju i merenje zaštitnog sloja betona, ΔC_{dev} se može smanjiti na:

$$10 \text{ mm} \geq \Delta C_{dev} \geq 5 \text{ mm}$$

- kada postoji sigurnost da se za kontrolu koristi veoma tačan uređaj za merenje i da se elementi koji ne zadovoljavaju propisane uslove odbacuju (na primer, prefabrikovani elementi), ΔC_{dev} može se smanjiti na:

$$10 \text{ mm} \geq \Delta C_{dev} \geq 0 \text{ mm.}$$

{19} Materijali – Beton:



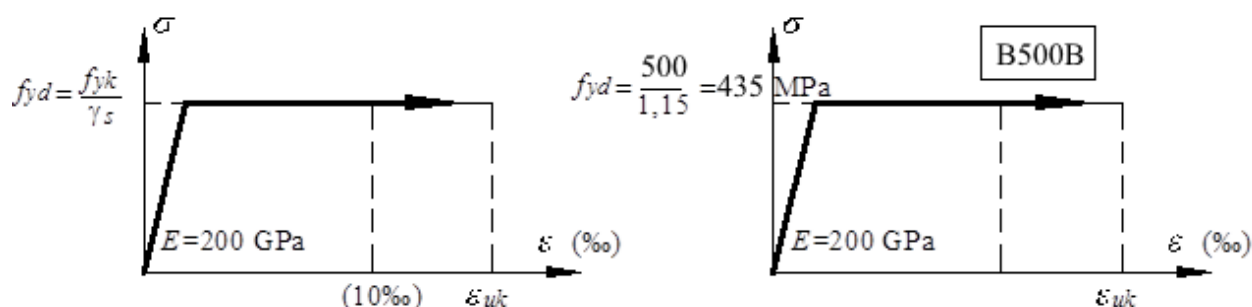
Proračunski dijagram za beton prema EC2

Dijagram za C25/30

Proračunski dijagram za beton je kombinacija parabole i prave;

- Za klase C12–C50 prelaz sa parabole na pravu je na 2.0 ‰ a maksimalna dilatacija je 3.5 ‰;
- Maksimalni napon pritiska na dijagramu—proračunska vrednost (f_{cd})—koji se koristi pri dimenzionisanju preseka određuje se deljenjem karakteristične vrednosti (f_{ck}) parcijalnim koeficijentom sigurnosti γ_c za svojstvo materijala, koji, u slučaju čvrstoće betona na pritisak, za regularne proračunske situacije, iznosi 1.50 (EN 1992-1-1: 2.4.2.4(1)). Pored ove standardne procedure, pri određivanju proračunske vrednosti čvrstoće betona, propisan je i dopunski multiplikator α_{cc} , kojim se može uvesti nepovoljni uticaj dugotrajnog naprezanja na čvrstoću betona, tako da je konačna vrednost: $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$ (EN 1992-1-1: 3.1.6.(1)P);
- Vrednost multiplikatora α_{cc} određuje se u NP. Preporučena vrednost je 1.0. Vrednosti napona pritiska koje se u tom slučaju mogu javiti u eksploataciji su dosta velike (naročito u stubovima). U prethodnoj verziji EC2 iz 1991. godine preporučena vrednost za α je bila 0.85. Srpski NP, koji je urađen u međuvremenu, usvojio je vrednost $\alpha_{cc} = 0.85$ što je slučaj i u nekim drugim zemljama, na primer u Nemačkoj. S druge strane neke zemlje su zadržale vrednost 1.0, kao na primer Velika Britanija. Pomoćna sredstva za dimenzionisanje (tablice i interakcioni dijagrami—ukoliko su kreirani da operišu sa f_{cd} —mogu se koristiti sa različitim vrednostima α_{cc} .

{20} Materijali – Armatura:



- Proračunski dijagram je bilinearan. Završna grana može biti horizontalna ili nagnuta. U daljem je usvojena horizontalna završna grana (EN 1992-1-1: 3.2.7(2) Slika 3.8);
- Maksimalni napon – proračunska vrednost (oznaka d u indeksu) granice tečenja $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$ dobija se deljenjem karakteristične vrednosti f_{yk} odgovarajućim parcijalnim koeficijentom sigurnosti (γ_s) za svojsvo materijala;
- $\gamma_s = 1.15$ (EN 1992-1-1: 2.4.2.4(1), za čvrstoću čelika – armature, dokazivanje ULS za regularno opterećenje);
- Maksimalna dilatacija nije ograničena.

{21} Minimalne i maksimalne armature za savijane elemente

Minimalne površine armature date su da bi se sprečio krta lom, prsline velike širine i da bi se prihvatile sile usled sprečenih pomeranja (na primer sekundarna uklještenja).

Vrednost $A_{s,min}$ za grede i ploče, koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom NP. Preporučena vrednost (EN 1992-1-1: 9.2.1.1) data je izrazom:

$$A_{s,min} = 0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d \quad \text{ali ne manje od } 0.0013 b_t d \quad (9.1N)$$

gde je:

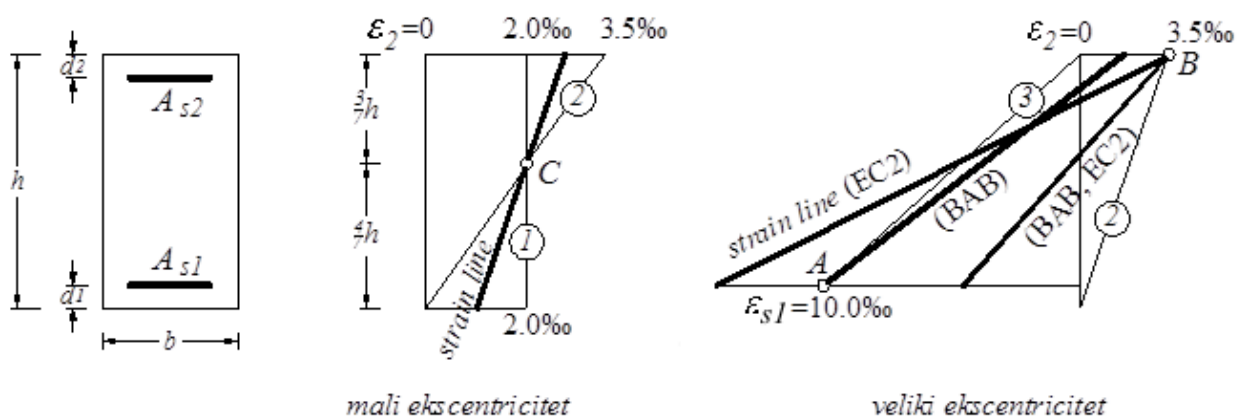
b_t srednja širina zategnute zone; za T-gredu sa pritisnutom flanšom za proračun vrednosti b_t uzima se u obzir samo debljina rebra

f_{ctm} treba da se odrede u zavisnosti od odgovajuće klase čvrstoće betona prema Tabeli 3.1 ($f_{ctm} = 0.3f_{ck}^{2/3}$ za $C \leq C50/60$, EN 1992-1-1: 3.1.2(3)P).

Napomena: U 7.3 (EN 1992-1-1: 7.3.2(2)) date su minimalne površine podužne zategnute armature za kontrolu prslina. I ovaj uslov treba da bude ispunjen. Zahtevi su prikazani u nastavku.

Površina zategnute ili pritisnute armature u poprečnom preseku, izvan zona nastavljanja armature preklapanjem, ne treba da bude veća od $A_{s,max}$. Vrednost $A_{s,max}$ za grede, koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom NP. Preporučena vrednost je $0.04 A_c$.

{22} Proračun preseka – savijanje i savijanje sa normalnom silom



Raspored dilatacija po visini preseka za proračun graničnog stanja nosivosti

Proračunske pretpostavke su veoma slične sa BAB 87 (EN1992-1-1: 6.1). Slika dilatacija u preseku je linearna.

- U malom ekscentricitetu (kada je ceo presek pritisnut) fiksna dilatacija (za klase C12–C50) je 2.0 ‰, na 3/7 visine preseka, mereno od gornje (jače pritisnute) ivice.
- U velikom ekscentricitetu (kada postoji i zategnuti deo preseka) fiksna je ivična dilatacija pritisnutog betona i iznosi (graničnih) 3.5 ‰, s tim da dilatacija zategnute armature nije ograničena. To samo tablice i tehniku proračuna čini nešto jednostavnijim, ali ne daje neke suštinske razlike u rezultatima proračuna.

{23} Tablice za dimenzionisanje

Tablice se mogu koristiti za dimenzionisanje preseka u velikom ekscentricitetu (savijanje i savijanje sa normalnom silom). Urađene su u skladu sa pretpostavkama objašnjenim u {19}, {20} i {22}. Slika dilatacija definisana je visinom pritisnute zone (položajem neutralne ose) x/d .

Za razliku od prethodne verzije EC2 (ENV 1992-1-1 iz 1991. godine) u kojoj je postojala odredba sa ograničenjem visine pritisnute zone x/d , kojom se izbegavalo prearmiranje preseka i obezbeđivalo duktilno ponašanje dominantno savijanih elemenata (greda), u aktuelnom EN 1992-1-1 iz 2004. godine nema eksplicitnog ograničenja. Međutim, odredbe koje regulišu dopuštenu visinu pritisnute zone u slučaju kada se pri proračunu vrši preraspodela uticaja (EN1992-1-1:5.5), ostale su identične kao i u prethodnom normativu. Iz ovih odredbi, kada se usvoji koeficijent preraspodele $\delta = 1$, mogu se izvesti ograničenja za x/d pri kojima treba preći na dvojno armiranje ili usvojiti veći presek. Alternativno, ograničenja se mogu izvesti iz odredbi NP, iz ograničenja za maksimalnu površinu armature.

Tablice se primenjuju na uobičajen način.

$$M_{Eds} = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot (h/2 - d_1)$$

$$K = \frac{d}{\sqrt{\frac{M_{Eds}}{b \cdot f_{cd}}}} \Rightarrow \omega_f$$

$$A_{s1} = \frac{\omega_f}{100} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

Koeficijenti za proračun pravougaonih preseka opterećenih na pravo savijanje

$$\varepsilon_{c,2} = 3.5\text{‰} ; \beta_1 = 0.810 ; \beta_2 = 0.416$$

μ	ω_1 (%)	ξ	ζ	ε_{sT} (‰)	k
0.005	0.501	0.006	0.997	561.71	14.142
0.010	1.005	0.012	0.995	278.37	10.000
0.015	1.512	0.019	0.992	183.92	8.165
0.020	2.021	0.025	0.990	136.70	7.071
0.025	2.533	0.031	0.987	108.36	6.325
0.030	3.048	0.038	0.984	89.47	5.774
0.035	3.565	0.044	0.982	75.97	5.345
0.040	4.086	0.050	0.979	65.85	5.000
0.045	4.609	0.057	0.976	57.97	4.714
0.050	5.136	0.063	0.974	51.67	4.472
0.055	5.665	0.070	0.971	46.52	4.264
0.060	6.197	0.077	0.968	42.22	4.082
0.065	6.733	0.083	0.965	38.58	3.922
0.070	7.272	0.090	0.963	35.46	3.780
0.075	7.814	0.097	0.960	32.76	3.651
0.080	8.359	0.103	0.957	30.40	3.536
0.085	8.908	0.110	0.954	28.31	3.430
0.090	9.460	0.117	0.951	26.45	3.333
0.095	10.015	0.124	0.949	24.79	3.244
0.100	10.575	0.131	0.946	23.29	3.162
0.105	11.137	0.138	0.943	21.94	3.086
0.110	11.704	0.145	0.940	20.71	3.015
0.115	12.274	0.152	0.937	19.58	2.949
0.120	12.848	0.159	0.934	18.55	2.887
0.125	13.426	0.166	0.931	17.60	2.828
0.130	14.008	0.173	0.928	16.73	2.774
0.135	14.594	0.180	0.925	15.91	2.722
0.140	15.185	0.188	0.922	15.16	2.673
0.145	15.779	0.195	0.919	14.46	2.626
0.150	16.378	0.202	0.916	13.80	2.582
0.155	16.982	0.210	0.913	13.18	2.540
0.160	17.590	0.217	0.910	12.61	2.500
0.165	18.203	0.225	0.906	12.07	2.462
0.170	18.820	0.232	0.903	11.55	2.425
0.175	19.442	0.240	0.900	11.07	2.390
0.180	20.070	0.248	0.897	10.62	2.357
0.185	20.702	0.256	0.894	10.186	2.325
0.190	21.340	0.264	0.890	9.777	2.294
0.195	21.983	0.272	0.887	9.389	2.265
0.200	22.632	0.280	0.884	9.019	2.236
0.205	23.286	0.288	0.880	8.667	2.209
0.210	23.947	0.296	0.877	8.332	2.182
0.215	24.613	0.304	0.874	8.012	2.157
0.220	25.285	0.312	0.870	7.706	2.132
0.225	25.964	0.321	0.867	7.413	2.108
0.230	26.649	0.329	0.863	7.132	2.085
0.235	27.341	0.338	0.860	6.863	2.063
0.240	28.040	0.346	0.856	6.605	2.041

μ	ω_1 (%)	ξ	ζ	ε_{sT} (‰)	k
0.245	28.746	0.355	0.852	6.356	2.020
0.250	29.459	0.364	0.849	6.118	2.000
0.255	30.180	0.373	0.845	5.888	1.980
0.260	30.909	0.382	0.841	5.667	1.961
0.265	31.646	0.391	0.837	5.453	1.943
0.270	32.391	0.400	0.834	5.247	1.925
0.275	33.145	0.409	0.830	5.048	1.907
0.280	33.908	0.419	0.826	4.856	1.890
0.285	34.680	0.428	0.822	4.670	1.873
0.290	35.462	0.438	0.818	4.490	1.857
0.295	36.253	0.448	0.814	4.315	1.841
0.300	37.056	0.458	0.810	4.146	1.826
0.305	37.869	0.468	0.805	3.982	1.811
0.310	38.693	0.478	0.801	3.823	1.796
0.315	39.529	0.488	0.797	3.668	1.782
0.320	40.377	0.499	0.793	3.517	1.768
0.325	41.238	0.509	0.788	3.371	1.754
0.330	42.113	0.520	0.784	3.228	1.741
0.335	43.002	0.531	0.779	3.089	1.728
0.340	43.905	0.542	0.774	2.953	1.715
0.345	44.824	0.554	0.770	2.821	1.703
0.350	45.759	0.565	0.765	2.692	1.690
0.355	46.712	0.577	0.760	2.566	1.678
0.360	47.683	0.589	0.755	2.442	1.667
0.365	48.673	0.601	0.750	2.321	1.655
0.370	49.684	0.614	0.745	2.203	1.644
0.375	50.717	0.627	0.739	2.087	1.633
0.380	51.773	0.640	0.734	1.973	1.622
0.385	52.855	0.653	0.728	1.861	1.612
0.390	53.963	0.667	0.723	1.750	1.601
0.395	55.101	0.681	0.717	1.642	1.591
0.400	56.270	0.695	0.711	1.535	1.581
0.405	57.473	0.710	0.705	1.430	1.571
0.410	58.714	0.725	0.698	1.326	1.562
0.415	59.995	0.741	0.692	1.223	1.552
0.420	61.323	0.758	0.685	1.120	1.543
0.425	62.702	0.775	0.678	1.019	1.534
0.430	64.137	0.792	0.670	0.918	1.525
0.435	65.638	0.811	0.663	0.817	1.516
0.440	67.214	0.830	0.655	0.715	1.508
0.445	68.876	0.851	0.646	0.614	1.499
0.450	70.643	0.873	0.637	0.511	1.491
0.455	72.534	0.896	0.627	0.406	1.482
0.460	74.583	0.921	0.617	0.299	1.474
0.465	76.836	0.949	0.605	0.188	1.466
0.470	79.369	0.980	0.592	0.070	1.459
0.475	82.326	1.017	0.577	-0.058	1.451
0.480	86.032	1.063	0.558	-0.207	1.443

{24} Posebni zahtevi za armaturu ploča (EN 1992-1-1: 9.3.1.1)

Maksimalni razmaci armature:

	za glavnu armaturu	za podeonu armaturu
$S_{max,slabs}$	$\leq 3h$	$\leq 3,5 h$
	$\leq 40 \text{ cm}$	$\leq 45 \text{ cm}$
	U zonama maksimalnih naprezanja ili sa koncentrisanim opterećenjem	
	za glavnu armaturu	za podeonu armaturu
$S_{max,slabs}$	$\leq 2h$	$\leq 3h$
	$\leq 25 \text{ cm}$	$\leq 40 \text{ cm}$

Podeona armatura (za ploče koje nose u jednom pravcu):

$$A_{s,p} \geq 0.2A_s$$

{25} Proračun prema transverzalnim silama

Računska armatura za osiguranje nije potrebna ako je veličina proračunske transverzalne sile manja od vrednosti $V_{Rd,c}$, ali se, osim za ploče, mora usvojiti (EN 1992-1-1: 6.2.1(3)) minimalna propisana armatura za smicanje prema EN 1992-1-1: 9.2.2.

Proračunska vrednost nosivosti pri smicanju $V_{Rd,c}$ (bez osiguranja) je:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100\rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \quad (\text{EN 1992-1-1: 6.2.2(1) Formula (6.2a)})$$

ali ne manje od

$$V_{Rd,c} = (v_{\min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d \quad (\text{EN 1992-1-1: 6.2.2(1) Formula (6.2b)})$$

gde je:

$$f_{ck} \quad \text{u [MPa]}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0 \quad \text{sa } d \text{ u [mm]}$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} \leq 0.02$$

A_{sl} površina zategnute armature, koja se produžava za $\geq (l_{bd} + d)$ dalje od posmatranog preseka

b_w najmanja širina poprečnog preseka u zategnutoj zoni u [mm]

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c < 0.2 f_{cd} \text{ u [MPa]}$$

N_{Ed} aksijalna sila u poprečnom preseku od opterećenja ili prethodnog naprezanja, u [N] ($N_{Ed} > 0$ za pritisak). Uticaj prinudnih deformacija na N_{Ed} može da se zanemari

A_c površina poprečnog preseka betona u [mm²]

$V_{Rd,c}$ u [N].

Vrednosti $C_{Rd,c}$, v_{\min} i k_1 , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom NP. Preporučena vrednost za $C_{Rd,c} = 0.18 / \gamma_C$, za v_{\min} vrednosti su date u izrazu (6.3N) i $k_1 = 0.15$.

$$v_{\min} = 0.035 k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \quad (6.3N)$$

{26} Proračun prema transverzalnim silama (nastavak)

Ukoliko je proračunska transverzalna sila veća od $V_{Rd,c}$, potrebno je izvršiti osiguranje. Proračun se sprovodi po modelu rešetke sa promenljivim nagibom dijagonala i armaturom se osigurava čitava transverzalna sila (nema doprinosa betona). Prvo treba proveriti da nije prekoračena nosivost elementa (to jest pritisnutih betonskih dijagonala; ukoliko je to slučaj, potrebno je povećati dimenzije preseka).

Granice nagiba pritisnutih dijagonala treba da se definišu u NP. Radi jednostavnosti, u daljem tekstu usvojen je nagib od 45° što se uklapa u preporučene vrednosti (EN1992-1-1: 6.2.3(2)).

Maksimalna nosivost na smicanje elementa je (EN 1992-1-1: 6.2.3(3) Formula (6.9), sa unetim preporučenim vrednostima i usvojenim uglom pritisnutih dijagonala od 45°):

$$V_{Rd,max} = 0.5 b_w z v f_{cd} \quad (6.9)$$

gde je

z krak unutrašnjih sila;

$$v = 0,6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] \quad (f_{ck} \text{ u MPa}).$$

{27} Proračun prema transverzalnim silama (nastavak)

Kada je proračunski uticaj V_{Ed} u granicama $V_{Rd,c} < V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$ vrši se osiguranje tako da nosivost armature za smicanje $V_{Rd,s}$ bude $V_{Rd,s} \geq V_{Ed}$. Nosivost vertikalne armature za smicanje je (EN 1992-1-1: 6.2.3(3) Formula (6.8)):

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \quad (6.8)$$

gde je

A_{sw} površina armature za smicanje (u "horizontalnom" preseku, na dužini s);

s rastojanje uzengija ("paket" A_{sw} se ponavlja na rastojanju s);

f_{ywd} proračunska granica razvlačenja armature za smicanje.

{28} Proračun prema transverzalnim silama - Minimalne armature za smicanje

Koeficijent (odnos) armature za smicanje dat je izrazom (9.4):

$$\rho_w = A_{sw} / (s \cdot b_w \cdot \sin \alpha) \quad (9.4)$$

gde je:

ρ_w koeficijent armature za smicanje $\geq \rho_{w,min}$

A_{sw} površina armature za smicanje na dužini s

α ugao između armature za smicanje i podužne ose.

Vrednost $\rho_{w,min}$ za grede, koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom NP. Preporučena vrednost data je izrazom (EN 1992-1-1: 9.2.2(5))

$$\rho_{w,min} = (0,08 \sqrt{f_{ck}}) / f_{yk} \quad (9.5N)$$

Maksimalno podužno rastojanje između elemenata armature za smicanje ne treba da bude veće od $s_{l,max}$. Vrednost $s_{l,max}$, koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom NP. Preporučena vrednost data je izrazom (EN 1992-1-1: 9.2.2(6)):

$$s_{l,max} = 0.75 d (1 + \text{ctg } \alpha) \quad (9.6N)$$

gde je α nagib armature za smicanje u odnosu na podužnu osu grede.

Rastojanje vertikala uzengija u poprečnom pravcu u preseku ne treba da bude veće od $s_{t,max}$. Vrednost $s_{t,max}$, koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom NP. Preporučena vrednost data je izrazom (EN 1992-1-1: 9.2.2(8)):

$$s_{t,max} = 0.75 d \leq 600 \text{ mm.} \quad (9.8N)$$

{29} Ograničenje napona

Napon pritiska u betonu se ograničava da bi se izbegle podužne prsline, mikroprsline ili veliko tečenje betona, kada bi te pojave mogle da izazovu neprihvatljive uticaje na upotrebljivost konstrukcije.

Podužne prsline mogu da nastanu ako napon u betonu za karakterističnu kombinaciju opterećenja prekorači kritičnu vrednost. Takve prsline mogu da dovedu do smanjenja trajnosti konstrukcije. Ukoliko nisu preduzete druge mere, kao što je povećanje zaštitnog sloja betona u pritisutoj zoni ili utezanje poprečnom armaturom, odgovarajuća mera može da bude ograničenje napona pritiska u betonu, u zonama izloženim uticajima sredine klase izloženosti XD, XF i XS, na vrednost $k_1 f_{ck}$ (EN 1992-1-1: 7.2(2)).

Ako je napon u betonu od kvazi-stalnih opterećenja manji od $k_2 f_{ck}$, može da se pretpostavi da je tečenje betona linearno. Ako je napon u betonu veći od $k_2 f_{ck}$, treba uzeti u obzir nelinearno tečenje (na primer: ne važe pojednostavljeni proračuni ugiba), EN 1992-1-1: 7.2(3).

Naponi zatezanja u armaturi ograničavaju se da bi se izbegla neelastična dilatacija i neprihvatljive veličine prsline ili deformacija. Može da se pretpostavi da veličina prsline

u betonu ili deformacija neće biti neprihvatljiva ako napon zatezanja u armaturi za karakterističnu kombinaciju opterećenja ne prekorači $k_3 f_{yk}$ (EN 1992-1-1: 7.2(5)).

Vrednost k_1 , k_2 i k_3 koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u NA. Preporučene vrednosti su 0.6 za k_1 , 0.45 za k_2 i 0.8 za k_3 i one su usvojene u srpskom NA. U tom slučaju ograničenja su:

Kvazi-stalna kombinacija: $\sigma_c \leq 0.45 f_{ck}$

Karakteristična kombinacija: $\sigma_c \leq 0.6 f_{ck}$ i $\sigma_s \leq 0.8 f_{yk}$

{30} Ograničenje prslina

Vrednost računске širine prslina w_{max} , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom NP. Preporučene vrednosti za odgovarajuće klase izloženosti date su u tabeli 7.1N (EN1992-1-1: 7.3.1(5)).

Širine prslina mogu da se sračunaju (prema EN 1992-1-1: 7.3.4). Uprošćena alternativa je da se ograniči prečnik ili rastojanje šipki armature (kontrola prslina bez direktnog proračuna – prema EN 1992-1-1: 7.3.3.)

Tabela 7.1N Preporučene vrednosti za w_{max} (mm)

Klasa izloženosti	Armiranobetonski i prethodno napregnuti elementi sa kablovima koji ne prijanjaju	Prethodno napregnuti elementi sa kablovima koji prijanjaju
	Kvazi-stalna kombinacija opterećenja	Česta kombinacija opterećenja
X0, XC1	0.4 ¹	0.2
XC2, XC3, XC4	0.3	0.2 ²
XD1, XD2, XD3, XS1, XS2, XS3		dekompresija
<p>Napomena 1: Za klase izloženosti X0, XC1, širina prsline nema uticaj na trajnost i ovo ograničenje se postavlja tako da načelno obezbedi prihvatljiv izgled konstrukcije. Ako nema uslovakoji se odnose na izgled, ovo ograničenje može da se ublaži.</p> <p>Napomena 2: Za ove klase izloženosti treba da se, osim toga, prover i dekompresija kvazistalne kombinacije opterećenja.</p>		

Ako nema specifičnih zahteva (na primer, vodonepropustljivost), može se pretpostaviti da će ograničenje računskih širina prslina za kvazi-stalnu kombinaciju opterećenja na vrednosti w_{max} , date u tabeli 7.1N, generalno da zadovolji zahteve u pogledu izgleda i trajnosti armiranobetonskih elemenata u zgradama.

Na trajnost prethodno napregnutih elemenata prsline mogu kritičnije da utiču. Ako nema detaljnijih zahteva, može se pretpostaviti da će ograničenje računskih širina prslina za čestu kombinaciju opterećenja na vrednosti w_{max} , date u tabeli 7.1N, generalno da bude zadovoljavajuće za prethodno napregnute elemente. Pod granicom dekompresije podrazumeva se da su svi delovi kablova koji prijanjaju za beton ili cevi za kablove najmanje 25 mm unutar pritisnutog betona.

{31} Minimalne armature za ograničenje širine prslina (EN 1992-1-1: 7.3.2)

Ukoliko tačniji proračun ne pokaže da su dovoljne manje površine armature, potrebne minimalne površine armature mogu da se sračunaju na način kako sledi. U razuđenim

poprečnim preseccima, kao što su grede T-preseka ili sandučasti nosači, minimalna armatura može posebno da se odredi za pojedine delove preseka (rebra, flanše):

$$A_{s,\min} \sigma_s = k_c k f_{ct,eff} A_{ct} \quad (\text{EN 1992-1-1: 7.3.2 Formula (7.1)})$$

gde je:

- $A_{s,\min}$ minimalna površina armature u zategnutoj zoni
- A_{ct} površina betona u zategnutoj zoni. Zategnuta zona je deo preseka koji je, prema proračunu, u stanju zatezanja neposredno pre pojave prve prsline
- σ_s apsolutna vrednost maksimalnog dopuštenog napona u armaturi neposredno posle pojave prsline. Za tu vrednost može se uzeti granica razvlačenja armature f_{yk} . Međutim, niži napon može da bude potreban da bi se zadovoljili uslovi ograničenja širine prsline prema predviđenom maksimalnom prečniku ili rastojanju šipki armature (videti {38})
- $f_{ct,eff}$ srednja vrednost efektivne čvrstoće betona pri zatezanju u trenutku pojave prvih prsline: $f_{ct,eff} = f_{ctm}$ ili manje, ($f_{ctm}(t)$), ukoliko se prsline očekuju u starosti manjoj od 28 dana
- k koeficijent kojim se uzima u obzir uticaj linearno podeljenih ravnotežnih napona na smanjivanje sila usled sprečenih deformacija
 = 1.0 za rebra visine $h \leq 300$ mm ili flanše širine manje od 300 mm
 = 0.65 za rebra visine $h \geq 800$ mm ili flanše širine veće od 800 mm
 za međuvrednosti važi interpolacija
- k_c koeficijent kojim se uzima u obzir dijagram napona u preseku neposredno pre pojave prsline, kao i promena kraka unutrašnjih sila:

za čisto zatezanje:

$$k_c = 1.0$$

za savijanje ili savijanje kombinovano sa aksijalnim silama:

- za pravougaone preseke i rebra sandučastih i T- preseka:

$$k_c = 0.4 \cdot \left[1 - \frac{\sigma_c}{k_1 (h/h^*) f_{ct,eff}} \right] \leq 1 \quad (7.2)$$

- za flanše sandučastih preseka i T- preseka:

$$k_c = 0.9 \left[\frac{F_{cr}}{A_{ct} f_{ct,eff}} \right] \geq 0.5 \quad (7.3)$$

gde je:

σ_c srednja vrednost napona u betonu na posmatranom delu preseka:

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{bh} \quad (7.4)$$

N_{Ed} aksijalna sila u graničnom stanju upotrebljivosti koja deluje na posmatrani deo poprečnog preseka (pozitivna je sila pritiska). N_{Ed} treba odrediti uzimajući u obzir karakteristične vrednosti sile pretihodnog naprezanja i aksijalne sile za merodavnu kombinaciju dejstava

h^* $h^* = h$ za $h < 1.0$ m

$h^* = 1.0$ m za $h \geq 1.0$ m

k_1 koeficijent kojim se uzimaju u obzir uticaji aksijalnih sila na dijagram napona:

$k_1 = 1.5$ ako je N_{Ed} sila pritiska

$k_1 = \frac{2h^*}{3h}$ ako je N_{Ed} sila zatezanja

F_{cr} apsolutna vrednost sile zatezanja u flanši neposredno pre pojave prsline, usled momenta savijanja pri kojem nastaje prslina, sračunatog sa $f_{ct,eff}$.

{32} Kontrola prsline bez direktnog proračuna

Za armiranobetonske ili prethodno napregnute ploče u zgradama, izložene savijanju bez značajnog aksijalnog zatezanja, posebne mere za kontrolu prsline nisu potrebne kada ukupna debljina ploče nije veća od 200 mm i kada su ispunjeni zahtevi iz tačke 9.3 EN 1992-1-1 (minimalni procenti armiranja za osiguranje od krtog loma). (EN 1992-1-1: 7.3.3(1))

Proračun širine prsline, dat u 7.3.4 EN 1992-1-1, može se uprostiti i prikazati u obliku tabela ako se ograniče prečnici ili rastojanja šipki.

Kada je obezbeđena minimalna površina armature prema 7.3.2, može da se očekuje da širine prsline neće biti preterano velike pod uslovom:

- da za prsline koje nastaju pretežno usled ograničenja deformacija prečnici šipki armature dati u tabeli 7.2N nisu prekoračeni, gde je napon u čeliku napon neposredno posle nastanka prsline (odnosno σ_s u izrazu (7.1)),
- da su za prsline koje nastaju pretežno usled opterećenja ispunjeni zahtevi iz tabele 7.2N ili tabele 7.3N. Napone u čeliku treba sračunati za merodavnu kombinaciju dejstava u preseku u stanju sa prslinama.

Tabele 7.2N i 7.3N – Maksimalni prečnici \varnothing_s^* i razmaci podužne armature e_\varnothing za kontrolu prsline¹ po EC2

Napon u Armaturi ² (MPa)	$w_k = 0.4$ mm		$w_k = 0.3$ mm		$w_k = 0.2$ mm	
	max \varnothing_s^* (mm)	max e_\varnothing (mm)	max \varnothing_s^* (mm)	max e_\varnothing (mm)	max \varnothing_s^* (mm)	max e_\varnothing (mm)
160	40	300	32	300	25	200
200	32	300	25	250	16	150
240	20	250	16	200	12	100
280	16	200	12	150	8	50
320	12	150	10	100	6	-
360	10	100	8	50	5	-
400	8	-	6	-	4	-
450	8	-	5	-	-	-

Napomene: ¹Vrednosti u tabeli određene su uz sledeće pretpostavke:

$$c = 25 \text{ mm}; f_{ct,eff} = 2.9 \text{ MPa}; h_{cr} = 0.5h; (h - d) = 0.1h;$$

$$k_1 = 0.8; k_2 = 0.5; k_c = 0.4; k = 1.0; k_t = 0.4 \text{ i } k' = 1.0$$

²Za merodavne kombinacije dejstava

Maksimalni prečnik šipke treba korigovati na sledeći način:

- u slučaju savijanja (bar deo poprečnog preseka je pritisnut):

$$\varnothing_s = \varnothing_s^* \frac{f_{ct,eff}}{2.9} \frac{k_c h_{cr}}{2(h-d)}$$

(7.6N)

- u slučaju zatezanja (aksijalno zatezanje):

$$\varnothing_s = \varnothing_s^* \frac{f_{ct,eff}}{2,9} \frac{h_{cr}}{0,8(h-d)} \quad (7.7N)$$

gde je:

\varnothing_s korigovani maksimalni prečnik šipke

\varnothing_s^* maksimalni prečnik šipke dat u tabeli 7.2N

h ukupna visina preseka

h_{cr} visina zategnute zone neposredno pre pojave prsline, uzimajući u obzir karakteristične vrednosti prethodnog naprezanja i aksijalne sile za kvazi-stalnu kombinaciju dejstava

d statička visina do težišta spoljašnjeg sloja armature.

Kada je ceo poprečni presek zategnut ($h - d$) je minimalno rastojanje od težišta prvog reda armature do ivice betonskog preseka (ako šipke nisu raspoređene simetrično treba da se uzmu u obzir obe strane).

{33} Ograničenje ugiba

Granični ugibi dati u EN 1992-1-1: 7.4.1(4),(5) određeni su na osnovu **ISO 4356** i generalno treba da obezbede zadovoljavajuća svojstva zgrada kao što su stambene zgrade, poslovni objekti, javne zgrade ili fabrike. Treba obratiti pažnju da te granične vrednosti odgovaraju konstrukciji koja se razmatra i da nema drugih posebnih zahteva. Detaljnije informacije o ugibima i graničnim vrednostima ugiba date su u **ISO 4356**.

Izgled i generalna upotrebljivost konstrukcije mogu da budu dovedeni u pitanje ako je sračunati ugib greda, ploča ili konzola od kvazi-stalnih opterećenja veći od odnosa **raspon/250**. Ugib se određuje u odnosu na oslonce. Prethodno nadvišenje konstrukcije može se koristiti da bi se kompenzovao deo ugiba ili ukupan ugib, ali bilo kakvo prethodno izdizanje oplata generalno ne sme da bude veće od odnosa **raspon/250** (EN 1992-1-1: 7.4.1(4)).

Za ugibe posle završetka građenja odnos **raspon/500** normalno je odgovarajuća granica za kvazi-stalna opterećenja. Drugačije granične vrednosti mogu da se uzmu u obzir, u zavisnosti od osetljivosti susednih elemenata na takve ugibe (EN 1992-1-1: 7.4.1(5)).

Granično stanje deformacija može se proveriti na jedan od sledećih načina:

- ograničenjem odnosa raspon/statička visina preseka (prema EN 1992-1-1: 7.4.2), ili
- poređenjem sračunatog ugiba (prema EN 1992-1-1: 7.4.3) sa graničnom vrednošću. Proračun se obavlja samo za kvazi-permanentno opterećenje, uzeto kao dugotrajno.

{34} Kontrola ugiba bez direktnog proračuna

Generalno, nije neophodno da se eksplicitno proračunaju ugibi jer mogu da se formulišu jednostavna pravila, kao što je, na primer, ograničenje odnosa **raspon/(statička)visina preseka (l/d)**, koja su adekvatna da se u uobičajenim slučajevima izbegnu problemi ugiba. Rigoroznije provere (kontrola proračunom) potrebne su za elemente koji su van takvih granica ili u slučajevima kada se zahtevaju ograničenja ugiba drugačija od onih koja se implicitno koriste u uprošćenim postupcima.

Slučajevi kada se proračun ugiba može izostaviti dati su u EN 1992-1-1: 7.4.2. Pod uslovom da su armiranobetonske grede ili ploče u zgradama dimenzionisane tako da zadovoljavaju granične odnose raspona i visine poprečnog preseka date u ovoj odredbi,

može se smatrati da njihovi ugibi neće biti veći od graničnih vrednosti datih u 7.4.1 (4) i (5). Granični odnos raspon/visina može da se odredi prema izrazima (7.16.a) i (7.16.b) i multipliciranjem tih vrednosti korekcionim koeficijentima kojima se uzimaju u obzir vrsta armature koja se koristi i drugi parametri. Pri izvođenju tih izraza nije uzeto u obzir nikakvo prethodno nadvišenje.

$$\frac{l}{d} = K \left[11 + 1,5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 \sqrt{f_{ck}} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{3/2} \right] \quad \text{ako je } \rho \leq \rho_0 \quad (7.16.a)$$

$$\frac{l}{d} = K \left[11 + 1,5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right] \quad \text{ako je } \rho > \rho_0 \quad (7.16.b)$$

gde je:

l/d granični odnos raspon/statička visina

K koeficijent kojim se uzimaju u obzir različiti konstrukcijski sistemi

ρ_0 referentni odnos površine armature = $\sqrt{f_{ck}} \cdot 10^{-3}$

ρ potreban odnos površine zategnute armature i betona (koeficijent zategnute armature) u sredini raspona za momenat savijanja od proračunskih opterećenja (za konzole u preseku na osloncu)

ρ' potreban odnos površine pritisnute armature i betona (koeficijent pritisnute armature) u sredini raspona za momenat savijanja od proračunskih opterećenja (za konzole u preseku na osloncu)

f_{ck} karakteristična vrednost čvrstoće betona pri pritisku u MPa.

Izrazi (7.16.a) i (7.16.b) izvedeni su pod pretpostavkom da je napon u armaturi od odgovarajućeg proračunskog opterećenja SLS, u preseku sa prslinom u sredini raspona grede ili ploče, ili u preseku na osloncu konzole, 310 MPa (što približno odgovara vrednosti $f_{yk} = 500$ MPa). Kada se koriste drugačije vrednosti napona, odnose (l/d) dobijene prema izrazima (7.16) treba pomnožiti sa $310/\sigma_s$. Normalno je na strani sigurnosti da se pretpostavi da je:

$$310/\sigma_s = 500/(f_{yk} A_{s,req}/A_{s,prov}) \quad (7.17)$$

gde je:

σ_s napon zatezanja u armaturi u sredini raspona (za konzole na osloncu) od proračunskog opterećenja u SLS

$A_{s,prov}$ stvarna površina armature u tom preseku

$A_{s,req}$ potrebna površina armature u tom preseku u graničnom stanju nosivosti ULS.

Za preseke sa flanšama, u kojima je odnos širine flanše prema debljini rebra veći od 3, vrednosti l/d date izrazima (7.16) treba pomnožiti koeficijentom 0.8.

Za grede i ploče, osim ravnih ploča (ploča bez kapitela), sa rasponima većim od 7 m, koje nose pregradne zidove koji bi mogli da budu oštećeni usled prevelikih ugiba, vrednosti l/d date izrazima (7.16) treba pomnožiti sa $7/l_{eff}$ (l_{eff} u metrima, videti 5.3.2.2 (1)).

Za ploče bez kapitela čiji veći raspon prelazi 8.5 m, koje nose pregradne zidove koji bi mogli da budu oštećeni usled prevelikih ugiba, vrednosti l/d date izrazima (7.16) treba pomnožiti sa $8.5/l_{eff}$ (l_{eff} u metrima).

Vrednosti K , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom NP. Preporučene vrednosti K date su u tabeli 7.4N. U tabeli 7.4N date su i vrednosti koje se dobijaju prema izrazima (7.16) za uobičajene slučajeve (C30, $\sigma_s = 310$ MPa, za različite konstrukcijske sisteme i procenat armature $\rho = 0.5\%$ i $\rho = 1.5\%$).

Tabela 7.4N: Osnovni odnosi raspon/statička visina za armiranobetonske elemente bez aksijalnog pritiska

Konstruktivni sistem	K	Veliki naponi u betonu $\rho = 1,5\%$	Mali naponi u betonu $\rho = 0,5\%$
Slobodno oslonjena greda, slobodno oslonjena ploča koja nosi u jednom ili u dva pravca	1.0	14	20
Krajnje polje kontinualnog grednog nosača ili kontinualne ploče koja nosi u jednom pravcu, ili ploče koja nosi u dva pravca, kontinualna preko jedne, duže strane	1.3	18	26
Unutrašnje polje grede ili ploče koja nosi u jednom ili u dva pravca	1.5	20	30
Ploča oslonjena na stubove bez greda (ravna ploča), u odnosu na veći raspon	1.2	17	24
Konzola	0.4	6	8

Napomena 1: Date vrednosti usvojene su tako da su generalno na strani sigurnosti i proračun često može da pokaže da su mogući tanji elementi.

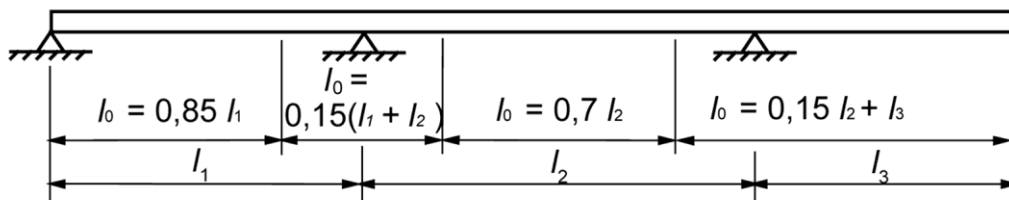
Napomena 2: Za ploče koje nose u dva pravca proveru treba da se izvrši prema kraćem rasponu. Za ravne ploče (ploče na stubovima bez kapitela) treba uzeti veći raspon.

Napomena 3: Granične vrednosti date za ploče bez kapitela odgovaraju manje strogim ograničenjima od onih koje daje odnos raspon /250 za ugibe u sredini raspona u odnosu na stubove. Iskustvo je pokazalo da su te granične vrednosti zadovoljavajuće.

{35} Efektivna širina flanši T i L preseka

U Poglavlju 5 dat je veliki broj odredbi koje se odnose na metode proračuna, usvajanje karakteristika modela, definisanje geometrijskih i drugih parametara.

Efektivna širina flanše određuje se na osnovu rastojanja l_0 između tačaka nultih momenata duž raspona, prema slici 5.2 (EN 1992-1-1:5.3.2.1(2)).



Slika 5.2: Definicija l_0 za proračun efektivne širine flanše

Raspon konzole l_3 treba da bude manji od polovine raspona susednog polja a odnos raspona susednih polja treba da bude između 0.67 i 1.5.

Efektivna širina flanše b_{eff} za gredu T ili L preseka može da se odredi prema izrazu (EN 1992-1-1:5.3.2.1(3)):

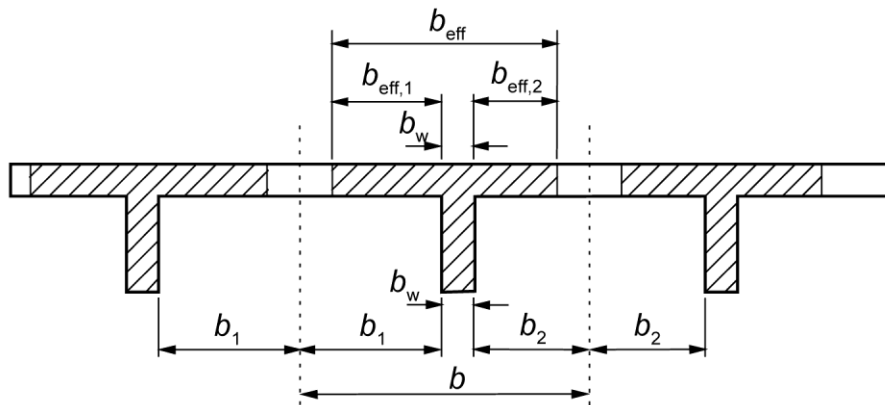
$$b_{\text{eff}} = \sum b_{\text{eff},i} + b_w \leq b \quad (5.7)$$

gde je:

$$b_{\text{eff},i} = 0.2 b_i + 0.1 l_0 \leq 0.2 l_0 \quad (5.7a)$$

i

$$b_{\text{eff},i} \leq b_i \quad (5.7b)$$



Slika 5.3: Parametri za efektivnu širinu flanše