

Primljen / Received: 3.4.2014.  
 Ispravljen / Corrected: 11.12.2014.  
 Prihvaćen / Accepted: 29.12.2014.

Dostupno online / Available online: 10.1.2015.

# Preliminarno dimenzioniranje armiranobetonskih presjeka

## Autori:



Izv.prof.dr.sc. **Tomislav Kišiček**, dipl.ing.grad.  
 Sveučilište u Zagrebu  
 Građevinski fakultet  
[kisha@grad.hr](mailto:kisha@grad.hr)



**Ivan Petrić**, mag.ing.aedif.  
 TSB Ingenieurgesellschaft mbH  
 Darmstadt, Njemačka  
[i.petric@tsb-ing.de](mailto:i.petric@tsb-ing.de)

Stručni rad

**Tomislav Kišiček, Ivan Petrić**

## Preliminarno dimenzioniranje armiranobetonskih presjeka

U radu je opisan postupak izrade i korištenja tablica za preliminarno dimenzioniranje armiranobetonskih elemenata, izloženih savijanju, prema graničnim stanjima nosivosti i uporabljivosti. Korištenjem tablica, kod određivanja osnovnih dimenzija presjeka elemenata izbjegava se pristup "pokušaja i pogrešaka" i omogućuje brzo i jednostavno osnovno dimenzioniranje presjeka kao priprema za daljnji, detaljniji proračun konstrukcijskih elemenata.

### Ključne riječi:

preliminarno dimenzioniranje, granično stanje nosivosti, granično stanje uporabljivosti, tablice za preliminarni proračun

Professional paper

**Tomislav Kišiček, Ivan Petrić**

## Preliminary dimensioning of reinforced concrete sections

This paper describes a procedure for the development and use of tables for the preliminary design of reinforced concrete elements exposed to bending action, in compliance with appropriate ultimate and serviceability limit state criteria. The use of tables for defining basic dimensions of cross-sectional elements enables designers to avoid the "trial and error" approach, while also ensuring fast and simple preliminary dimensioning as a preparation for the subsequent more detailed design of structural elements.

### Key words:

preliminary dimensioning, ultimate limit state, serviceability limit state, preliminary design tables

Fachbericht

**Tomislav Kišiček, Ivan Petrić**

## Präliminierte Bemessung von Stahlbetonbauteilen

In dieser Arbeit wird ein Verfahren zur Erstellung und Anwendung von Tabellen für die präliminierte Bemessung von Stahlbetonbauteilen unter Biegebeanspruchung für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit dargestellt. Durch die Anwendung von Tabellen bei der Ermittlung von Querschnittsmaßen wird das Probiervorgehen umgangen und eine einfache grundlegende Bemessung ermöglicht, die als Vorbereitung für weitere ausführlichere Berechnung der Bauelemente dient.

### Schlüsselwörter:

Präliminierte Bemessung, Grenzzustand der Tragfähigkeit, Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, Präliminierte Berechnungstabellen

## 1. Uvod

Preliminarno dimenzioniranje armiranobetonskih elemenata obično se temelji na uvjetima i metodama graničnog stanja nosivosti (GSN), no zahtjeve graničnog stanja uporabljivosti (GSU) trebalo bi, jednako tako, uzeti u obzir. Postupak dimenzioniranja konstrukcijskih elemenata prema graničnom stanju nosivosti, uz poznate izmjere elemenata, temelji se na određivanju potrebne armature presjeka. Međutim, ponekad se mora pribjeći i izmjeni dimenzija presjeka. To je češći slučaj kod graničnog stanja uporabljivosti. Naime, na zadovoljenje uvjeta ograničenja deformacija (progibi, pomaci, zakrivljenosti) manjim dijelom utječu količina armature i vrsta betona, a najvećim dijelom dimenzije presjeka elementa.

Često, tek krajnji rezultat proračuna prema graničnom stanju uporabljivosti upućuje na potrebu promjene dimenzija. Dakle, može se dogoditi da zahtijevani uvjet nije zadovoljen, ili je pak rezultat značajno na strani sigurnosti. U oba slučaja pristupa se promjeni dimenzija elementa, bilo radi zadovoljenja uvjeta uporabljivosti ili postizanja ekonomičnosti, odnosno uštede materijala.

Time se proračun vraća na početak, što može, u slučaju velikog broja različitih elemenata u konstrukciji, biti dugotrajan proces, budući da proračuni konstrukcijskih elemenata prema graničnom stanju uporabljivosti mogu biti opsežni.

Također, često je potrebno, posebice u visokogradnji, kada su poznate samo osnovne izmjere građevine, opterećenja i položaj nosivih elemenata, provesti preliminarno dimenzioniranje elemenata. Tek se nakon toga, s približno konačnim dimenzijama elemenata može pristupiti daljnjoj razradi projekta.

Postoji, dakle, potreba za pojednostavljenjem osnovnog proračuna kako bi se brzo i jednostavno mogle utvrditi preliminarne (pripremljene, osnovne) dimenzije elemenata za oba ova granična stanja.

U ovom radu opisan je postupak izrade i primjene tablica za preliminarno dimenzioniranje armiranobetonskih presjeka prema graničnom stanju nosivosti i uporabljivosti u skladu s novim normama niza HRN EN 1990 [1], HRN EN 1991-1-1 [2] i HRN EN 1992-1-1 [3].

Tablicama se može, za mali broj ulaznih podataka, jednostavno i brzo odrediti osnovne dimenzije armiranobetonskih elemenata i potrebna armatura za zadovoljenje graničnog stanja nosivosti i graničnog stanja uporabljivosti, što je i pokazano primjerom proračuna.

## 2. Granično stanje nosivosti

Granično stanje nosivosti predstavlja niz graničnih stanja kojima se uzima u obzir [1]: sigurnost ljudi, i/ili sigurnost građevine, a u pojedinim slučajevima i sigurnost stvari unutar građevine. U ovom radu promatra se slom armiranobetonskog elementa opterećenog na savijanje. Proračun potrebne armature u presjeku takvog elementa provodi se poznatim postupkom uz korištenje tablica za proračun koji je opisan u radovima [4, 5,

13]. U tim radovima su izrađene i tablice za praktični proračun. Potreba za izradom takvih tablica javila se zbog pojave betona razreda čvrstoće većih od C50/60 u normama HRN EN 1992 [3] te zbog drugačijeg definiranja proračunske čvrstoće betona prema tim normama. Proračunski ( $\sigma - \varepsilon$ ) dijagrami betona razreda većih od C50/60 razlikuju se od onih za betone razreda C12/16 do C50/60, pa postojeće tablice nisu uporabljive za dimenzioniranje armiranobetonskih elemenata izvedenih od tih (viših) razreda betona. Stoga su, za svaki takav razred betona, u radovima [4, 5, 13], izrađene druge tablice za dimenzioniranje.

## 3. Granično stanje uporabljivosti

Granično stanje uporabljivosti predstavlja stanje čijim se prekoračenjem narušavaju ili onemogućuju projektom utvrđeni kriteriji uporabe. Kriteriji se odnose na funkcioniranje konstrukcije ili konstrukcijskih elemenata u uobičajenoj uporabi, udobnost ljudi, izgled građevine (uslijed deformacije konstrukcije ili nekog njezinog dijela). Kriterije uporabe treba dogovoriti s investitorom i posebno utvrditi za svaki projekt ovisno o predviđenoj uporabi građevine. Granično stanje uporabljivosti obuhvaća [3, 6]: granično stanje deformiranja, raspucavanja, naprezanja i zamora.

### 3.1. Granično stanje deformiranja – granično stanje progiba

Pod pojmom deformiranje smatraju se progibi, zakrivljenost, izduljenje ili skraćivanje, uvrtnje i promjena nagiba konstrukcijskih elemenata. Značajan parametar graničnog stanja deformiranja je progib. Progibi armiranobetonskih elemenata nastaju zbog opterećenja (savijanje i posmik), pri čemu se najčešće proračunavaju progibi od savijanja, budući da su progibi koji nastaju od poprečnih sila znatno manji pa ih se gotovo uvijek zanemaruje.

Progibi ovise o veličini, vrsti i trajanju opterećenja, zatim o geometrijskim veličinama elementa (raspon, širina, visina, oblik) te o mehaničkim karakteristikama materijala (betona i armature). U proračunu progiba valja uzeti u obzir i karakteristike betona koje se mijenjaju s vremenom (utjecaji pužanja i skupljanja betona te pojava pukotina).

Prema normi HRN EN 1992-1-1 [3], granično stanje progiba je zadovoljeno ako je maksimalni progib elementa konstrukcije manji od  $1/250$  proračunskog raspona elementa,  $L_{eff}$  tj. ako je manji od graničnih vrijednosti progiba  $v_{lim}$  danih u HRN EN 1992-1-1 t. 7.4.1 [3].

Proračun progiba nije potrebno uvijek provoditi. Mogu se, kao osnovni uvjet, definirati granične vrijednosti omjera proračunskog raspona i statičke visine (vitkost),  $L_{eff}/d$ , za pojedini statički sustav. Ako je vitkost promatranog elementa manja od granične vrijednosti, uvjet progiba smatra se zadovoljenim. U protivnom, potrebno je provesti detaljni proračun progiba [3]. Za određivanje graničnog omjera raspona i statičke visine HRN EN 1992-1-1 [3] definira izraze:

$$\frac{L}{d} = K \left[ 11 + 1,5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 \sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] \quad \text{za } \rho \leq \rho_0 \quad (1)$$

$$\frac{L}{d} = K \left[ 11 + 1,5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right] \quad \text{za } \rho > \rho_0 \quad (2)$$

gdje je:

$\frac{L}{d}$  - granični omjer (proračunskog) raspona i statičke visine

$K$  - faktor koji uzima u obzir različite vrste statičkih sustava

$f_{ck}$  - karakteristična vrijednost tlačne čvrstoće betona u N/mm<sup>2</sup>

$A_{s1}$  - ploština presjeka vlačne armature

$A_{s2}$  - ploština presjeka tlačne armature

$d$  - statička visina poprečnog presjeka

$b$  - ukupna širina presjeka

$\rho_0 = 10^{-3} \sqrt{f_{ck}}$  - referentni udio armature

$\rho = \frac{A_{s1}}{b \cdot d}$  - koeficijent armiranja vlačnom armaturom

$\rho' = \frac{A_{s2}}{b \cdot d}$  - koeficijent armiranja tlačnom armaturom

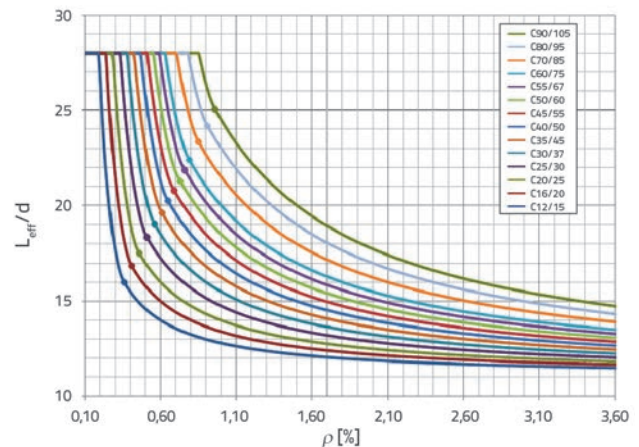
Preporučene vrijednosti faktora  $K$  i graničnih omjera  $L_{eff}/d$  dane su u tablici 1. za koeficijente armiranja vlačnom armaturom,  $\rho = 0,15\%$ ,  $\rho = 0,5\%$  i  $\rho = 1,5\%$ .

Elementi s koeficijentom armiranja  $\rho \leq 0,5\%$  smatraju se slabo naprezani (ploče), a elementi s koeficijentom armiranja  $\rho \geq 1,5\%$  smatraju se jako naprezani (grede) [6]. Vrijednosti u tablici 1. su konzervativne, te se proračunom može dokazati da je progiba moguće zadovoljiti i s većim vrijednostima omjera  $L_{eff}/d$  (vitkosti) od navedenih [3]. Međuvrijednosti koeficijenta  $\rho$  mogu se linearno interpolirati [3, 6, 13]. Za sve statičke sustave dane u tablici 1., osim ravnih ploča, u postupak za određivanje  $L_{eff}$  uvodi se kraći raspon [4, 5, 13].

Pretpostavke izraza (1), (2) te tablice 1. jesu da naprezanje u armaturi, za čestu i nazovistalnu kombinaciju opterećenja, u presjeku s pukotinom, iznosi  $\sigma_s = 310$  N/mm<sup>2</sup> te da se radi

o čeliku B500. Dodatno, u tablici 1. pretpostavlja se i razred betona C30/37 [4, 5, 13].

Vitkost,  $L_{eff}/d$ , značajnije varira u ovisnosti o razredu betona što je prikazano odnosom koeficijenta armiranja  $\rho$  i vitkosti,  $L_{eff}/d$ , za betone razreda od C12/15 do C90/105, za statički sustav slobodno oslonjene grede ( $K = 1,0$ ), prema izrazima (1) i (2) [13] (slika 1.).



Slika 1. Dijagram omjera  $L_{eff}/d$  u odnosu na koeficijent  $\rho$  [%] za svaki razred betona [13]

Treba uočiti kako izraz (2), za razliku od izraza (1), uzima u obzir utjecaj tlačne armature. Međutim, dijagram na slici 1. izrađen je uz pretpostavku  $\rho' = 0$  za izraz (2), budući da je doprinos tlačne armature dovoljno malen da se kod proračuna jednostruko armiranog presjeka u polju i na osloncu može zanemariti. Radi li se o dvostruko armiranom presjeku, tlačna armatura može utjecati na povećanje dopuštene vitkosti, ovisno o omjeru ploština presjeka tlačne i vlačne armature. Budući da za minimalni koeficijent armiranja u približnom iznosu  $\rho = 0,15\%$  i statički sustav slobodno oslonjene grede, najveća ostvariva vitkost  $L_{eff}/d$ , iznosi 28 (tablica 1.), ta se vrijednost uzima kao najveća dopuštena. Na dijagramu (slika 1.) točkama su označeni referentni udjeli armature  $\rho_0 = \sqrt{f_{ck}} \cdot 10^{-3}$  za pojedini razred betona. Radi pretpostavki u izrazima i tablicama, u slučaju da je stvarno naprezanje u armaturi  $\sigma_s$ , različito od 310 N/mm<sup>2</sup>, ili kada se rabi

Tablica 1. Granični omjer  $L_{eff}/d$  kada proračun progiba nije potreban [3, 6, 13]

Statički sustav	$K$	Slabo naprezan beton (ploče)		Jako naprezan beton (grede)
		$\rho = 0,15\%$	$\rho = 0,5\%$	$\rho = 1,5\%$
Slobodno oslonjeni nosači, slobodno oslonjene ploče naprezane u jednom ili dva okomita smjera	1,0	28	20	14
Prvo polje kontinuiranih nosača ili kontinuirane ploče nosive u jednom smjeru	1,3	36	26	18
Srednje polje kontinuiranog nosača ili ploče nosive u jednom ili dva smjera	1,5	32	30	20
Ploče oslonjene samo na stupove bez greda, ravne ploče (dulji raspon)	1,2	34	24	17
Konzole	0,4	10	8	6

druga vrsta čelika, potrebno je izraze (1) i (2), time i vrijednosti očitane u tablici 1. i na dijagramu (slika 1.), množiti manjim od sljedeća dva korekcijska faktora [3, 6, 13]:

$$f_s = \frac{310}{\sigma_s} \quad \text{ili} \quad f_s = \frac{500}{f_{yk}} \cdot \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} \quad (3)$$

gdje je:

$A_{s,prov}$  - postojeća (odabrana) ploština vlačne armature u presjeku

$A_{s,req}$  - potrebna (proračunana) ploština vlačne armature u promatranom presjeku za prihvaćanje momenta savijanja

$f_{yk}$  - karakteristična granica popuštanja armature [N/mm<sup>2</sup>].

Jednako tako, vrijednosti u tablici 1. i vrijednosti s dijagrama na slici 1. množe se sljedećim faktorima redukcije (smanjenja) [4, 5, 13]: a) za grede T-presjeka kod kojih je omjer sudjelujuće tlačne širine pojasnice i širine hrpta veći od  $3b_{eff}/b_w > 3$ , faktor iznosi 0,8; b) za sve elemente, osim ravnih ploča, raspona većeg od 7,0 m koji nose pregradno zide faktor iznosi  $7,0/L_{eff}$ ; c) za ravne ploče čiji veći raspon premašuje 8,5 m faktor smanjenja iznosi  $8,5/L_{eff}$ .

Kako bi se mogle koristiti vrijednosti s dijagrama na slici 1. za bilo koji statički sustav, moguće je, kod preliminarnog dimenzioniranja, pomoću faktora  $K$ , koji uzima u obzir različite vrste statičkih sustava (tablica 1.), svaki statički sustav raspona  $L$  svesti na sustav slobodno oslonjene grede "normaliziranog" raspona  $L_n$ . Pri tome vrijedi da je

$$L_n = \frac{L}{K} \quad (4)$$

### 3.2. Granično stanje raspucavanja

Ovim graničnim stanjem uporabljivosti ograničava se širina pukotina kako ne bi došlo do propadanja konstrukcije zbog korozije armature. Uzrok raspucavanja, osim opterećenja, može biti: naprezanje izazvano temperaturnim promjenama, puzanjem i skupljanjem betona, popuštanjem oslonaca, zaokretanjem potpora ili deformiranjem priključnih elemenata [6]. Pukotine nisu smetnja ako im širina ne premašuje granične vrijednosti (tablica 7.1N iz [3]) uvjetovane razredima izloženosti elementa ili njegovim vanjskim izgledom.

U izradi tablica za preliminarno dimenzioniranje armiranobetonskih elemenata (bez prednapinjanja), kako bi

Tablica 2. Granične vrijednosti promjera šipki armature za kontrolu karakterističnih širina pukotina za razrede betona od C20/25 do C40/50

$\sigma_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_s / f_{yk}$	Razred betona				
		C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50
		Granične vrijednosti promjera šipki armature [mm]				
160	0,32	43	51	57	63	68
170	0,34	38	45	50	55	60
180	0,36	33	40	44	49	53
190	0,38	30	35	39	43	47
200	0,40	27	32	35	39	42
210	0,42	24	28	32	35	38
220	0,44	22	26	29	32	34
230	0,46	20	23	26	29	31
240	0,48	18	21	24	26	28
250	0,50	16	19	22	24	26
260	0,52	15	18	20	22	24
270	0,54	14	16	18	20	22
280	0,56	13	15	17	18	20
290	0,58	12	14	15	17	19
300	0,60	11	13	14	16	17
310	0,62	10	12	13	15	16
320	0,64	9	11	12	14	15
340	0,68	8	10	11	12	13
360	0,72	7	8	9	10	11
380	0,76	6	7	8	9	10
400	0,80	6	7	7	8	9
450	0,90	4	5	6	6	7

dimenzioniranje bilo na strani sigurnosti, kao mjerodavan uzima se u obzir zahtjev  $w_{\max} = 0,3$  mm, za nazovistalnu kombinaciju opterećenja.

Posebne mjere za ograničenje širina pukotina nisu potrebne za armiranobetonske ploče u zgradama, debljine do 20 cm i naprezane savijanjem bez značajnog uzdužnog osnog vlaka [6]. Pri tome, najveći razmak šipki glavne armature i šipki razdjelne armature (koja nije manja od 20 % glavne armature) ne smije biti veći od vrijednosti propisanih točkom 9.2.1.1 norme HRN EN 1992-1-1 [3] ili točkom 5.5.1 iz [4].

Uz pretpostavku da osigurana ploština armature presjeka, za granično stanje nosivosti, zadovoljava uvjet minimalne ploštine armature za ograničenje širina pukotina, ograničenje širina pukotina bez izravnog proračuna ostvaruje se, za karakterističnu širinu pukotina  $w_k = 0,3$  mm, ograničenjem promjera šipki armature i razmaka armaturnih šipki prema tablici 2.6. iz [13] ili tablicama 7.2N i 7.3N [3].

U nastavku su, tablicom 2., dane granične vrijednosti promjera šipki armature u ovisnosti o naprezanju u armaturi za kontrolu širina pukotina za nekoliko razreda betona. Postupak određivanja graničnih vrijednosti promjera proveden je prema točki 7.3.3 iz: Eurocode 2 – Commentary, European Concrete Platform ASBL, Bruxelles, June 2008 [9], odnosno, prema izrazu:

$$\phi = \left\{ \frac{w_k}{(1-k_t)} \cdot \frac{E_s}{\sigma_s} - 3,4 \cdot c \right\} \cdot \frac{f_{ct,eff} \cdot k_c \cdot k}{\sigma_s \cdot 0,425 \cdot k_1 \cdot k_2} \cdot \frac{h_{cr}}{2,5 \cdot k' \cdot (h-d)} \quad (5)$$

Uzimajući u obzir sljedeće pretpostavke prema [9]:

$w_k = 0,3$  mm – karakteristična vrijednost širine pukotina  
 $E_s = 200000$  N/mm<sup>2</sup> – modul elastičnosti čelične armature  
 $c = 25$  mm – debljina zaštitnog sloja betona  
 $k_t = 0,4$ ;  $k_c = 0,4$ ;  $k = 1,0$   
 $0,425 \cdot k_1 \cdot k_2 = 0,17$   
 $h_{cr} / (h-d) = 5,0$  cm  
 $k' = 1,0$

izraz (5) može se napisati kao:

$$\phi = \left\{ \frac{100000}{\sigma_s} - 85 \right\} \cdot \frac{4,71 \cdot f_{ct,eff}}{\sigma_s} \quad (6)$$

Odstupanja vrijednosti dobivenih prema izrazu (6) od onih prema tablicama 7.2N i 7.3N (prema HRN EN 1992-1-1 [3]) prihvatljivo su mala.

Promotre li se vrijednosti graničnih promjera iz tablice 2., može se uočiti kako granične vrijednosti promjera, pri istom naprezanju u armaturi, rastu s povećanjem razreda betona. Dakle, kod viših razreda betona granični iznos naprezanja je veći za isti promjer armature.

Kako bi se zadovoljilo granično stanje raspucavanja u preliminarnom proračunu, primjerice, za razred betona C30/37, pri armiranju grednog elementa šipkama promjera 12 mm, potrebno je da naprezanje u armaturi  $\sigma_s$ , za nazovistalnu kombinaciju opterećenja ne prelazi 320 N/mm<sup>2</sup>.

### 3.3. Granično stanje naprezanja

Ovim graničnim stanjem ograničavaju se naprezanja pri proračunskom opterećenju kako bi se spriječilo prekomjerno plastično deformiranje i raspucavanje armiranobetonskih konstrukcija. Takve pojave mogu ugroziti trajnost i uporabljivost građevine zbog čega se ograničava naprezanje ubetonu i čeličnoj armaturi. Kako bi se izbjegla pojava uzdužnih pukotina u betonu (nastali hod sila cijepanja), time i gubitka trajnosnih svojstava armiranobetonskog elementa uslijed utjecaja okoliša, treba ispuniti uvjete za naprezanje u betonu,  $\sigma_c$ :

a) za karakterističnu kombinaciju opterećenja:

$$\sigma_c \leq 0,6 \cdot f_{ck} \quad (7)$$

b) za nazovi stalnu kombinaciju opterećenja:

$$\sigma_c \leq 0,45 \cdot f_{ck} \quad (8)$$

Kako bi se ograničilo prekomjerno deformiranje armature, time i širina pukotina, treba ispuniti uvjete za naprezanje u čeliku,  $\sigma_s$ :

a) za karakterističnu kombinaciju opterećenja:

$$\sigma_s \leq 0,8 \cdot f_{yk} \quad (9)$$

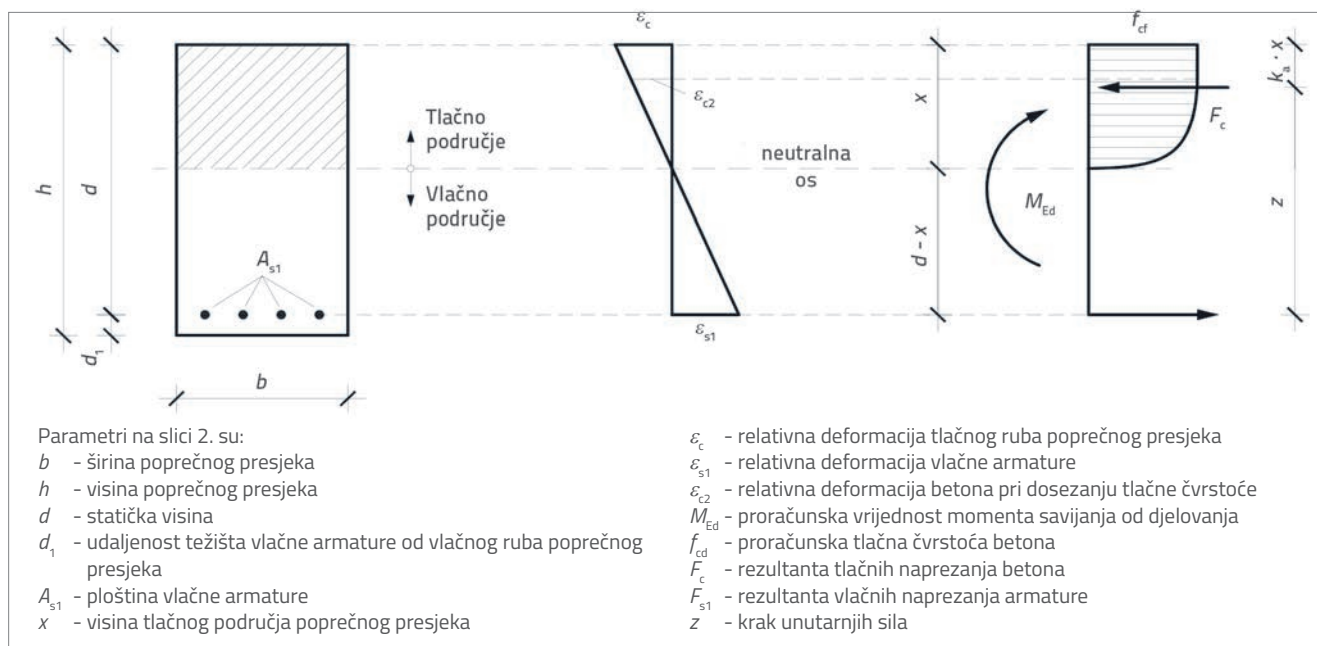
b) za nazovi stalnu kombinaciju opterećenja (iz uvjeta graničnog stanja raspucavanja (tablica 2.) dopušteno naprezanje ograničava se posebno za svaki razred betona i primijenjenu armaturu, primjerice:

$$\sigma_s \leq 0,64 \cdot f_{yk} \text{ za beton C30/37 i šipke promjera 12 mm} \quad (10)$$

## 4. Tablice za preliminarno dimenzioniranje AB elemenata

### 4.1. Granično stanje progiba

Postupak dimenzioniranja armiranobetonskih elemenata, prema graničnom stanju nosivosti, temelji se na ravnoteži sila unutar poprečnog presjeka elementa, odnosno na izjednačavanju momenta savijanja od opterećenja i momenta nosivosti poprečnog presjeka. Za potrebe dimenzioniranja pravokutnih poprečnih presjeka na savijanje izrađene su tablice [4, 5, 13]. Na temelju pretpostavljenih parova relativnih deformacija vlačno naprezane čelične armature i tlačno naprezanog betona, uz zadovoljenje ravnoteže unutarnjih sila u poprečnom presjeku (vidjeti sliku 2.), proračunavaju se sljedeće veličine potrebne za proračun ploštine vlačne armature:  $\xi$  – koeficijent položaja neutralne osi,  $\zeta$  – koeficijent kraka unutarnjih sila,  $\mu_{Rd}$  – bezdimenzijski moment savijanja poprečnog presjeka,  $\omega$  – mehanički koeficijent armiranja,  $\alpha_v$  – koeficijent punoće proračunskog dijagrama betona te  $k_a$  – koeficijent položaja



Slika 2. Presjek u polju pod utjecajem savijanja bez uzdužne sile s raspodjelom deformacija i napreznja te položaj rezultanti tlačnih i vlačnih napreznja, [5]

rezultante tlačnih napreznja betona. Detaljan postupak izrade takvih tablica prikazan je u radovima [4, 5, 13].

Veza između graničnog stanja nosivosti i uporabljivosti (progiba) jest koeficijent armiranja vlačnom armaturom o kojem ovisi i granična vitkost  $L_{eff}/d$ , kojom je zadovoljeno granično stanje progibanja armiranobetonskog elementa. Koeficijent armiranja vlačnom armaturom definiran je sljedećim izrazom:

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} = \omega \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yk}} \tag{11}$$

Uz pretpostavku uporabe čelika B500, uočljivo je kako koeficijent ovisi o razredu betona, odnosno o proračunskoj čvrstoći te o mehaničkom koeficijentu armiranja  $\omega$  koji je tablicama za dimenzioniranje (iz [4, 5, 13]) jednoznačno određen za svaki par deformacija  $\epsilon_c$  i  $\epsilon_{s1}$ .

Dakle, postojeće se tablice za dimenzioniranje (iz [4, 5, 13]) prema graničnom stanju nosivosti mogu proširiti koeficijentima armiranja za pojedini razred betona, kojima se određuje potrebni udio vlačne armature za zadovoljenje graničnog stanja nosivosti. Pri tome treba voditi računa o minimalnoj i maksimalnoj armaturi. Trebaju biti zadovoljeni sljedeći uvjeti za minimalnu armaturu (prema HRN EN 1992-1-1, t.9.3.1.1), [3]:

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d \tag{12}$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot \left( \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) \tag{13}$$

pri čemu je mjerodavna veća vrijednost, odnosno, koristeći izraz (11), veći iznos koeficijenta armiranja od sljedećih:

$$\rho_{min} = 0,0013 \tag{14}$$

$$\rho_{min} = 0,26 \cdot \left( \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) \tag{15}$$

Također, trebaju biti zadovoljeni uvjeti za maksimalnu armaturu: prema nacrtu nacionalnog dodatka HRN [10]

$$A_{s1,max} = 0,222 \cdot A_c \tag{16}$$

gdje je  $A_c = b \cdot h \approx b \cdot 1,1 \cdot d$

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \left( \frac{f_{cd}}{f_{yk}} \right) \text{ prema HRN EN 1992-1-1, t.5.6.3 [3]} \tag{17}$$

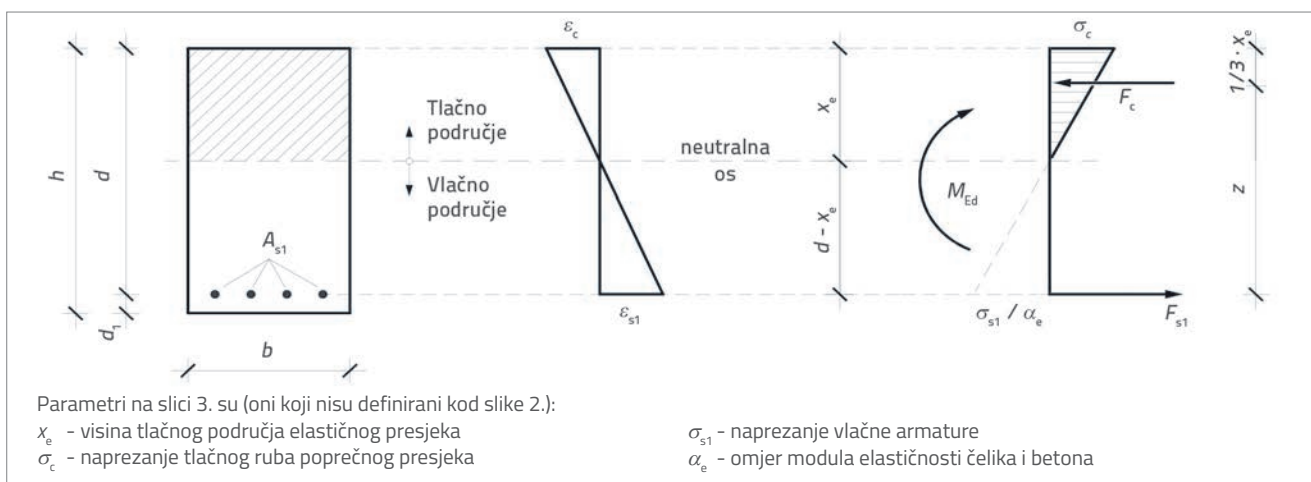
pri čemu je mjerodavna manja vrijednost, odnosno manji iznos koeficijenta armiranja od sljedećih:

$$\rho_{max} = 0,022 \cdot 1,1 = 0,0242 \tag{18}$$

$$\rho_{max} = \omega_{lim} \cdot \left( \frac{f_{cd}}{f_{yk}} \right) \tag{19}$$

Uvidom u cjelovite tablice za preliminarno dimenzioniranje, dane u prilogu, može se uočiti kako je uvjet minimalne armature (14) mjerodavan za razrede betona C12/15, C16/20 i C20/25, dok je za ostale razrede betona mjerodavan uvjet (15) minimalne armature.

Radi ograničenja samih tablica u području jednostrukog armiranja, uvjet (19) maksimalne armature mjerodavan je za razrede betona od C12/15 do C40/50 te za razrede betona od C55/67 do C70/85, dok je za ostale razrede betona mjerodavan uvjet (18) maksimalne armature. Za jednostruko armiranje, navedeni iznosi maksimalne armature ne smiju se prekoračiti. Maksimalni iznosi označeni su bojom u tablicama.



Slika 3. Elastični model jednostruko armiranog presjeka u polju pod utjecajem savijanja s raspodjelom deformacija i naprezanja te položaj rezultanti tlačnih i vlačnih naprezanja, [11]

Postupkom opisanim u točki 3.1 te primjenom izraza (1) i (2), za svaki se definirani razred betona i koeficijent armiranja  $\rho$ , može odrediti pripadajuća granična vitkost  $L_{\text{eff}}/d$  koju vitkost promatranog elementa ne smije prekoračiti. Time se osigurava zadovoljenje graničnog stanja progiba bez daljnjeg proračuna.

## 4.2. Granično stanje naprezanja

Prema [3, 5], za granično stanje naprezanja (GSU) koristi se linearni proračun elemenata osnovan na teoriji elastičnosti, za razliku od pojednostavljenog plastičnog proračuna (modela) korištenog za izradu tablice za dimenzioniranje poprečnih presjeka na granično stanje nosivosti.

Za dugotrajna djelovanja, smije se pretpostaviti smanjena krutost, koja odgovara raspucalim presjecima, zanemarujući vlačno očvršćenje i uključujući učinke puzanja. Omjer modula elastičnosti  $\alpha_e$ , određuje se prema [3, 6, 13]:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} \text{ za kratkotrajno opterećenje, tj. za } t = 0 \quad (20)$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,\text{eff}}} \text{ za dugotrajno opterećenje, tj. za } t = \infty \quad (21)$$

U daljnjim proračunima korišten je omjer modula elastičnosti  $\alpha_e$ , određen izrazom (21). U izrazu (21) korišten je efektivni modul elastičnosti betona koji se može odrediti iz sekantnog modula elastičnosti pomoću sljedećeg izraza:

$$E_{c,\text{eff}} = \frac{E_{cm}}{1,0 + \phi(\infty, t_0)} \quad (22)$$

Time se u obzir uzima djelovanje puzanja kod dugotrajnih opterećenja. Precizan proračun vrijednosti konačnog koeficijenta puzanja  $\phi(\infty, t_0)$ , složen je zbog velikog broja faktora o kojima ovisi. Kada nije zahtijevana veća točnost, iz dijagrama na slici 3.1, iz norme HRN EN 1992-1-1 [3], može se odrediti konačna vrijednost koeficijenta puzanja, uz uvjet da beton nije izložen tlačnom naprezanju većem od  $0,45 \cdot f_{ck}(t_0)$ , dakle, pri starosti

betona u vrijeme opterećenja [3]. Dodatno, u nedostatku preciznih proračuna predlaže se upotreba konačne vrijednosti faktora puzanja u iznosu  $\phi(\infty, t_0) = 2,0$  prema [12]. U radu [13], kod određivanja koeficijenta visine elastičnog tlačnog područja  $\xi_e$ , prikazan je utjecaj faktora puzanja u rasponu od  $\phi(\infty, t_0) = 1,0$  do  $\phi(\infty, t_0) = 4,0$  na njegovu vrijednost. Može se vidjeti kako odstupanja nisu velika, a budući da se preliminarnim proračunom nastoji maksimalno pojednostaviti postupak proračuna i ne traži se velika preciznost, u ovom se radu, kao i u radu [12] usvaja vrijednost  $\phi(\infty, t_0) = 2,0$ . Kod detaljnog proračuna graničnog stanja uporabljivosti, za dugotrajna djelovanja u obzir treba uzeti, osim puzanja i skupljanje betona. Deformacije od skupljanja uzimaju se u obzir jedino kod detaljnog proračuna progiba, onda kada nije ispunjen osnovni uvjet graničnih omjera  $L_{\text{eff}}/d$ . Kako se tablice za preliminarno dimenzioniranje temelje na ispunjenju osnovnog uvjeta graničnih omjera, utjecaj skupljanja se ovdje zanemaruje.

### 4.2.1. Koeficijent visine tlačnog područja za granično stanje uporabljivosti

Prema slici 3., iz uvjeta ravnoteže karakterističnih vrijednosti momenata:

$$M_{\text{Ek}} = M_{\text{Rk}} \quad (23)$$

te koristeći izraz ravnoteže momenata savijanja kod proračuna prema graničnom stanju nosivosti može se izvesti izraz za omjer naprezanja u betonu i karakteristične proračunske čvrstoće  $\sigma_c/f_{ck}$ :

$$\mu_k \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{ck} = F_c \cdot z \quad (24)$$

$$\mu_k \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{ck} = \frac{1}{2} \sigma_c \cdot x_e \cdot b \cdot \left( d - \frac{1}{3} x_e \right) \quad (25)$$

te se dobiva:

$$\frac{\sigma_c}{f_{ck}} = \frac{\mu_k}{\frac{\xi_e}{2} \cdot \left(1 - \frac{\xi_e}{3}\right)} \quad (26)$$

Jednako tako, može se izvesti izraz za omjer naprezanja u čeličnoj armaturi i karakteristične granice popuštanja čelika  $\sigma_{s1}/f_{yk}$ :

$$\mu_k \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{ck} = F_s \cdot z \quad (27)$$

$$\mu_k \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{ck} = A_{s1} \cdot \sigma_{s1} \cdot \left(d - \frac{1}{3} x_e\right) \quad (28)$$

te se dobiva:

$$\frac{\sigma_{s1}}{f_{yk}} = \frac{\mu_k}{\rho \cdot \frac{f_{yk}}{f_{ck}} \cdot \left(1 - \frac{\xi_e}{3}\right)} \quad (29)$$

Koeficijent visine elastičnog tlačnog područja  $\xi_e$  može se izraziti kao:

$$\xi_e = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_s}{\alpha_e \cdot \sigma_c}} \quad (30)$$

a koristeći izraze (26) i (29) može se zapisati kao:

$$\xi_e = \frac{1}{1 + \frac{\rho \cdot f_{yk}}{\alpha_e \cdot \frac{2\mu_k \cdot f_{ck}}{\xi_e}}} = \frac{1}{1 + \frac{\xi_e}{2\alpha_e \cdot \rho}} = \frac{1}{2\alpha_e \cdot \rho} \quad (31)$$

i izraziti u ovisnosti o koeficijentu armiranja  $\rho$  i omjeru modula elastičnosti  $\alpha_e$ :

$$\xi_e = \alpha_e \cdot \rho \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{2}{\alpha_e \cdot \rho}} - 1\right) \quad (32)$$

Koristeći izraz (32) može se jednoznačno odrediti koeficijent  $\xi_e$ , za svaki pojedini razred betona i koeficijent armiranja  $\rho$ . Treba voditi računa o razlici između koeficijenata visine tlačnog područja  $\xi$ , određenih tablicom za dimenzioniranje poprečnih presjeka na savijanje, i koeficijenata visine elastičnog tlačnog područja  $\xi_e$ . Naime, za razrede betona od C12/15 do C50/60, za svaki par deformacija, postoji jedan koeficijent  $\xi$ , ali po jedan koeficijent  $\xi_e$  za svaki razred posebno, radi omjera modula elastičnosti  $\alpha_e$ , koji je za svaki razred betona drukčiji. Za razrede betona > C50/60 svaki razred ima vlastite koeficijente  $\xi$  i  $\xi_e$ .

Koeficijentima  $k_{sc}$  i  $k_{ss}$  povezuje se pojednostavljeni plastični model presjeka za granično stanje nosivosti (slika 2.) i elastični model raspucalog presjeka za granično stanje uporabljivosti (slika 3.). Time se u izravan odnos dovode omjeri naprezanja  $\sigma_c/f_{ck}$  i  $\sigma_{s1}/f_{yk}$  s omjerom karakterističnog i proračunskog momenta savijanja  $M_{Ek}/M_{Ed}$ , što je i prikazano u nastavku teksta.

#### 4.2.2. Omjer naprezanja $\sigma_c/f_{ck}$

Koristeći sliku 2., iz ravnoteže presjeka, za proračunsku vrijednost momenta savijanja vrijedi:

$$M_{Ed} = f_{cd} \cdot \alpha_v \cdot b \cdot x \cdot (d - k_a \cdot x) \quad (33)$$

Koristeći sliku 3., iz ravnoteže presjeka, za karakterističnu vrijednost momenta savijanja vrijedi:

$$M_{Ek} = \frac{\sigma_c \cdot X_e}{2} \cdot b \cdot \left(d - \frac{X_e}{3}\right) \quad (34)$$

Prema izrazu (33), za proračunsku tlačnu čvrstoću betona vrijedi:

$$f_{cd} = \frac{M_{Ed}}{\alpha_v \cdot b \cdot x \cdot (d - k_a \cdot x)} \quad (35)$$

karakteristična tlačna čvrstoća betona:

$$f_{ck} = \frac{1,5 \cdot M_{Ed}}{\alpha_v \cdot b \cdot x \cdot (d - k_a \cdot x)} \quad (36)$$

Iz izraza (34) i (36) tada slijedi:

$$\frac{\sigma_c}{f_{ck}} = \frac{2}{1,5} \cdot \alpha_v \cdot \frac{x}{x_e} \cdot \frac{d - k_a \cdot x}{d - \frac{x_e}{3}} \cdot \frac{M_{Ek}}{M_{Ed}} \quad (37)$$

Uvedu li se koeficijenti  $\xi = x/d$  i  $\xi_e = x_e/d$ , izraz (37) se može zapisati kao:

$$\frac{\sigma_c}{f_{ck}} = \frac{2,0}{1,5} \cdot \alpha_v \cdot \frac{\xi}{\xi_e} \cdot \frac{1 - k_a \cdot \xi}{1 - \frac{\xi_e}{3}} \cdot \frac{M_{Ek}}{M_{Ed}} \quad (38)$$

Definira li se koeficijent:

$$k_{sc} = \frac{2,0}{1,5} \cdot \alpha_v \cdot \frac{\xi}{\xi_e} \cdot \frac{1 - k_a \cdot \xi}{1 - \frac{\xi_e}{3}} \quad (39)$$

vrijedi jednakost:

$$\frac{\sigma_c}{f_{ck}} = k_{sc} \cdot \frac{M_{Ek}}{M_{Ed}} \quad (40)$$

#### 4.2.3. Omjer naprezanja $\sigma_{s1}/f_{yk}$

Koristeći sliku 2., iz ravnoteže presjeka, za proračunsku vrijednost momenta savijanja vrijedi:

$$M_{Ed} = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot (d - k_a \cdot x) \quad (41)$$

Koristeći sliku 3., iz ravnoteže presjeka, za karakterističnu vrijednost momenta savijanja vrijedi:

$$M_{Ek} = \sigma_{s1} \cdot A_{s1} \cdot \left(d - \frac{x_e}{3}\right) \quad (42)$$

odnosno:



$$\sigma_{s1} = \frac{M_{Ek}}{A_{s1} \cdot \left(d - \frac{x_e}{3}\right)} \quad (43)$$

Prema izrazu (41), za proračunsku granicu popuštanja armaturnog čelika vrijedi:

$$f_{yd} = \frac{M_{Ed}}{A_{s1} \cdot (d - k_a \cdot x)} \quad (44)$$

Time je, uz parcijalni faktor sigurnosti za čelik  $\gamma_s = 1,15$  karakteristična granica popuštanja armaturnog čelika:

$$f_{yk} = \frac{1,15 \cdot M_{Ed}}{A_{s1} \cdot (d - k_a \cdot x)} \quad (45)$$

Iz izraza (43) i (45) tada slijedi:

$$\frac{\sigma_{s1}}{f_{yk}} = \frac{d - k_a \cdot x}{1,15 \cdot \left(d - \frac{x_e}{3}\right)} \cdot \frac{M_{Ek}}{M_{Ed}} \quad (46)$$

Uvedu li se koeficijenti  $\zeta$  i  $\zeta_e$ , izraz (46) se može zapisati kao:

$$\frac{\sigma_{s1}}{f_{yk}} = \frac{1}{1,15} \left( \frac{1 - k_a \cdot \xi}{1 - \xi_e/3} \right) \cdot \frac{M_{Ek}}{M_{Ed}} \quad (47)$$

Definira li se koeficijent:

$$k_{rs} = 0,87 \left( \frac{1 - k_a \cdot \xi}{1 - \xi_e/3} \right) \quad (48)$$

vrijedi jednakost:

$$\frac{\sigma_{s1}}{f_{yk}} = k_{rs} \cdot \frac{M_{Ek}}{M_{Ed}} \quad (49)$$

Budući da su koeficijenti  $k_{sc}$  i  $k_{ss}$  definirani parametrima iz tablice za dimenzioniranje (iz [4, 5, 13]) i dodatno, koeficijentom visine elastičnog tlačnog područja,  $\xi_e$  (definiran za svaki par deformacija  $\varepsilon_c$  i  $\varepsilon_{s1}$ ), mogu se, za svaki razred betona i parove deformacija  $\varepsilon_c$  i  $\varepsilon_{s1}$ , jednako tako odrediti i pripadajući koeficijenti  $k_{sc}$  i  $k_{ss}$ .

#### 4.2.4. Omjeri momenata savijanja $M_{Ek} / M_{Ed}$

Pomoću izraza (40) i (49) mogu se u izravan odnos dovesti omjeri naprezanja u betonu i armaturi s omjerom karakteristične

i proračunske vrijednosti momenata savijanja. U fazi preliminarnog proračuna lako se može procijeniti proračunska vrijednost momenta savijanja  $M_{Ed}$  i karakteristične vrijednosti momenata savijanja  $M_{Ek,QP}$  i  $M_{Ek,CA}$  za nazovistalnu (QP), odnosno karakterističnu (CA) kombinaciju opterećenja. Mogu se odrediti i njihovi međusobni omjeri, uz pretpostavke prema [12]:

- sva djelovanja istog su tipa, odnosno, njihov učinak na presjek promatranog elementa je jednak
- naprezanja za granično stanje nosivosti i granično stanje uporabljivosti proporcionalna su djelovanjima
- veći broj promjenljivih opterećenja, ako postoji, može se zamijeniti jednim, "ekvivalentnim" promjenljivim opterećenjem,  $Q$
- sva stalna opterećenja definirana su pomoću ukupnog stalnog opterećenja,  $G$ .

Tada vrijedi izraz:

$$\frac{M_{Ek}}{M_{Ed}} = \frac{G + \psi \cdot Q}{\gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot Q} = \frac{G + \psi \cdot Q}{1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q} = \frac{1 + \psi \cdot \frac{Q}{G}}{1,35 + 1,5 \cdot \frac{Q}{G}} \quad (50)$$

gdje je:

- $\gamma_G$  - parcijalni faktor sigurnosti za nepovoljno stalno opterećenje (GSN)
- $\gamma_Q$  - parcijalni faktor sigurnosti za nepovoljno uporabno opterećenje (GSN)
- $\psi$  - faktor kombinacije:  $\psi = \psi_2$  - za nazovistalnu kombinaciju (QP),  $\psi = 1,0$  - za karakterističnu kombinaciju (CA).

Prema vrijednostima faktora kombinacije  $\psi_2$ , propisanim normom niza HRN EN 1990 [1], mogu se odrediti omjeri  $M_{Ek} / M_{Ed}$ , dani tablicom 3. Vrijednost omjera ovisi i o omjeru uporabnog i stalnog opterećenja  $Q_k / G_k$ , pri čemu valja napomenuti kako su omjeri  $Q_k / G_k < 1,0$  tipični za konstrukcije izrađene "teškim materijalima" (beton i žiđe), a omjeri  $Q_k / G_k > 1,0$  tipični za konstrukcije izrađene "laganim materijalima" (drvo i čelik) [12]. Iz tablice 3. može se vidjeti kako omjeri  $M_{Ek,QP} / M_{Ed}$  imaju veliki raspon vrijednosti u ovisnosti o omjeru  $Q_k / G_k$ , dok kod omjera  $M_{Ek,CA} / M_{Ed}$  to nije slučaj. Također, najveća teoretski moguća vrijednost omjera  $M_{Ek,QP} / M_{Ed}$  iznosi 0,74 za slučaj  $Q_k = 0$ , jednako tako i za omjer  $M_{Ek,CA} / M_{Ed}$ . Nadalje, mogu se odrediti i međusobni omjeri karakterističnih vrijednosti momenata savijanja za nazovistalnu i karakterističnu kombinaciju (tablica 4.).

Tablica 3. Omjeri momenata savijanja  $M_{Ek} / M_{Ed}$  u ovisnosti o omjeru  $Q_k / G_k$  te faktoru kombinacije  $\psi$ , [12]

Kombinacija opterećenja	$\psi$	$Q_k / G_k$												
		0,05	0,1	0,2	0,33	0,4	0,5	0,75	1	1,5	2	4	10	
QP	0	0,74	0,70	0,67	0,61	0,54	0,51	0,48	0,40	0,35	0,28	0,23	0,14	0,06
	0,2	0,74	0,71	0,68	0,63	0,58	0,55	0,52	0,46	0,42	0,36	0,32	0,24	0,18
	0,3	0,74	0,71	0,69	0,64	0,60	0,57	0,55	0,49	0,46	0,40	0,37	0,30	0,24
	0,6	0,74	0,72	0,71	0,68	0,65	0,64	0,62	0,59	0,56	0,53	0,51	0,46	0,43
	0,8	0,74	0,73	0,72	0,70	0,69	0,68	0,67	0,65	0,63	0,61	0,60	0,57	0,55
CA	1	0,74	0,74	0,73	0,73	0,72	0,72	0,71	0,71	0,70	0,69	0,69	0,68	0,67

Tablica 4. Omjeri momenata savijanja  $M_{Ek,QP} / M_{Ek,CA}$  u ovisnosti o omjeru  $Q_k / G_k$  te faktoru kombinacije  $\psi$ , [12]

Kombinacija opterećenja	$\psi$	$Q_k / G_k$												
		0,05	0,1	0,2	0,33	0,4	0,5	0,75	1	1,5	2	4	10	
QP	0	1,00	0,95	0,91	0,83	0,75	0,71	0,67	0,57	0,50	0,40	0,33	0,20	0,09
	0,2	1,00	0,96	0,93	0,87	0,80	0,77	0,73	0,66	0,60	0,52	0,47	0,36	0,27
	0,3	1,00	0,97	0,94	0,88	0,83	0,80	0,77	0,70	0,65	0,58	0,53	0,44	0,36
	0,6	1,00	0,98	0,96	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83	0,80	0,76	0,73	0,68	0,64
	0,8	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,88	0,87	0,84	0,82
CA	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Konačno, sada se može, pomoću izraza (40) i (49) te uvjeta ograničenja naprezanja iz izraza (7) do (10), svakom koeficijentu  $k_{\sigma c}$  i  $k_{\sigma s}$ , u ovisnosti o promatranoj kombinaciji opterećenja, pridružiti omjer momenata savijanja  $M_{Ek} / M_{Ed}$ . Za ograničenje naprezanja u betonu za nazovistalnu kombinaciju (QP), tada vrijedi:

$$\frac{\sigma_c}{f_{ck}} = k_{\sigma c} \cdot \frac{M_{Ek,QP}}{M_{Ed}} = 0,45 \tag{51}$$

odnosno:

$$\frac{M_{Ek,QP}}{M_{Ed}} = \frac{0,45}{k_{\sigma c}} \tag{52}$$

Time se, svakom omjeru momenata savijanja  $M_{Ek} / M_{Ed}$ , kao ulaznom podatku, pridružuje par deformacija  $\epsilon_c$  i  $\epsilon_{s1}$  te svi, prethodno definirani, njima pripadajući parametri.

### 4.3. Konačni oblik tablica za preliminarno dimenzioniranje

Tablice za preliminarno dimenzioniranje armiranobetonskih elemenata prema graničnom stanju nosivosti i uporabljivosti dane su u prilogu ovog rada. U tiskanoj verziji, zbog ograničenog prostora, prikazane su samo tablice za razrede betona C25/30, C30/37 i C35/45. U elektronskoj verziji rada prikazane su tablice za sve razrede betona do C50/60. U radu [13] provedena je opširna analiza primjene tablica za preliminarno dimenzioniranje te je utvrđeno da je s porastom razreda betona primjenljivost tih tablica sve manja. Zbog toga u ovom radu te tablice nisu prikazane. U prikazanim tablicama se može uočiti da je gornja granica tablice za svaki razred betona utvrđena teoretski najvećim mogućim omjerom momenata savijanja,  $M_{Ek,QP} / M_{Ed} = 0,74$ , međutim, radi postupka korištenja tablica (opisan u poglavlju 5), u svom konačnom obliku, tablice počinju najnižom vrijednosti bezdimenzijskog momenta savijanja,  $\mu_{Rd}$ . Donja granica tablice utvrđena je graničnim uvjetom:  $M_{Ed} \leq 1,5 \times M_{Rd,lim}$ . Tablicama za preliminarno dimenzioniranje je za svaki omjer momenata savijanja  $M_{Ek,QP} / M_{Ed}$  obuhvaćeno: 1) zadovoljenje graničnog stanja nosivosti odabirom pripadajućeg koeficijenta udjela vlačne armature  $\rho$ ; 2) zadovoljenje graničnih stanja

uporabljivosti, tj. graničnog stanja progiba odabirom pripadajuće najveće dopuštene vitkosti  $L_{eff} / d$ , graničnog stanja raspucavanja osiguranjem da najveći promjer šipke armature ne prelazi vrijednost danu u tablici te graničnog stanja naprezanja. Za nazovistalnu kombinaciju djelovanja, ograničenje naprezanja u armaturi osigurano je najvećim dopuštenim promjerom šipke armature za granično stanje raspucavanja, dok je ograničenje naprezanja u betonu osigurano odnosom prema izrazu (52). Za karakterističnu kombinaciju djelovanja, ograničenje naprezanja u armaturi, prema izrazu (9) osigurano je činjenicom da za najveći teoretski mogući omjer momenata,  $M_{Ek,CA} / M_{Ed} = 0,74$  te najveći koeficijent  $k_{\sigma s} = 0,96$ , za razred C90/105, omjer naprezanja u armaturi i granice popuštanja čelika iznosi:

$$\sigma_{s1} / f_{yk} = 0,96 \cdot 0,74 = 0,71 < 0,80 \tag{53}$$

što čini provjeru naprezanja u armaturi za karakterističnu kombinaciju suvišnom [12]. Dodatno, budući da naprezanje u armaturi rijetko prelazi vrijednost od 310 N/mm<sup>2</sup>, nema potrebe za redukcijom očitanih vrijednosti graničnih vitkosti iz tablice prema izrazu (3). Prema tome, vrijednosti očitanih vitkosti su na strani sigurnosti, za sve iznose naprezanja u armaturi. Za karakterističnu kombinaciju djelovanja, ograničenje naprezanja u betonu osigurava se na način kako slijedi. Tablice za preliminarno dimenzioniranje temelje se na ograničenju naprezanja u betonu prema nazovistalnoj (QP) kombinaciji, prema izrazu (8), koje iznosi 75 % dopuštenog naprezanja prema karakterističnoj (CA) kombinaciji djelovanja:

$$\frac{(\sigma_c / f_{ck})_{QP}}{(\sigma_c / f_{ck})_{CA}} = \frac{0,45}{0,60} = 0,75 \tag{54}$$

Prema tablici 4., za konstrukcije izrađene "teškim" materijalima (beton, zide) omjeri karakterističnih vrijednosti momenata savijanja  $M_{Ek,QP} / M_{Ek,CA}$  uglavnom su veći od 0,75 (označeno plavom bojom). Međutim, dogodi li se da je  $M_{Ek,QP} / M_{Ek,CA} < 0,75$ , za proračun je mjerodavna karakteristična kombinacija (CA). Kako bi se osiguralo ograničenje naprezanja prema izrazu (7), preliminarno dimenzioniranje se može početi sa sljedećim omjerom:

$$\frac{M_{Ek,QP}}{M_{Ed}} = 0,75 \cdot \frac{M_{Ek,CA}}{M_{Ed}} \quad (55)$$

koji je veći od stvarnog omjera  $M_{Ek,QP}/M_{Ed}$ , no ima za posljedicu da su svi očitani iznosi na strani sigurnosti [12].

## 5. Primjena tablica za preliminarno dimenzioniranje

### 5.1. Grede

U ovom poglavlju prikazan je postupak primjene tablica za preliminarno dimenzioniranje na konkretnom projektnom zadatku te usporedba dobivenih rezultata s onima dobivenim detaljnim proračunom grede prema graničnom stanju uporabljivosti.

#### 5.1.1. Zadatak

Treba odrediti najmanju potrebnu statičku visinu slobodno oslonjene, kontinuirano opterećene armiranobetonske grede T-presjeka te potrebnu količinu čelične armature za zadovoljenje graničnog stanja nosivosti i uporabljivosti. Greda je izrađena iz betona C30/37. Raspon grede je  $L = 400$  cm, debljina pojasnice  $h_f = 15$  cm, sudjelujuća širina pojasnice  $b_{eff} = 120$  cm, a širina hrpta grede je  $b_w = 25$  cm. Maksimalni momenti savijanja u polju grede su  $M_G = 100$  kNm,  $M_Q = 55$  kNm dok je  $\psi_2 = 0,3$ .

#### Prikaz postupka proračuna grede pomoću tablica za dimenzioniranje.

1) Odredi se stalno opterećenje  $G$  i uporabno opterećenje  $Q$ , za promatrani element na temelju pripadajuće površine s koje element preuzima opterećenje (uzeti u obzir i vlastitu težinu ploče nad gredom). U konkretnom slučaju, težina ploče uračunana je u moment savijanja od stalnog opterećenja  $M_G$ , no vlastita težina grede (hrpta) u prvom se određivanju omjera momenata ne uzima u obzir, budući da visina grede nije poznata. Nakon određivanja visine grede, cijeli proračun se može ponoviti s točnijom vlastitom težinom, no taj postupak brzo konvergira, pogotovo kod većih opterećenja gdje je udio težine hrpta grede u ukupnom opterećenju mali.

2) Odrede se momenti savijanja,  $M_{Ek,QP}$  i  $M_{Ed}$  za "normalizirani" raspon  $L_n$  neovisno o vrsti statičkog sustava

$$M_G = \frac{g \cdot L_n^2}{8}; \quad M_Q = \frac{q \cdot L_n^2}{8}$$

U konkretnom slučaju vrijednosti momenata savijanja su zadane kao ulazni podatak, tada slijedi:

$$M_{Ek,QP} = M_G + \psi_2 \cdot M_Q = 100 + 0,3 \cdot 55 = 116,5 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 1,35 \cdot M_G + 1,5 \cdot M_Q = 1,35 \cdot 100 + 1,5 \cdot 55 = 217,5 \text{ kNm}$$

3) U tablicu za dimenzioniranje "ulazi se" s omjerom  $M_{Ek,QP}/M_{Ed}$  i razredom betona kao jedinim ulaznim podacima

$$\frac{M_{Ek,QP}}{M_{Ed}} = \frac{116,5}{217,5} \approx 0,54$$

4) Očita se iz tablice (u radu se prikazuje dio tablice označen s Tablica A) pripadajuća dopuštena vitkost i najveći dopušteni promjer armature te na temelju vitkosti odredi najmanja potrebna statička visina  $d_{min}$ .

Tablica A C30/37

$\varepsilon_c$ [‰]	$\varepsilon_{s1}$ [‰]	$\mu_{Rd}$	$\omega$	$M_{Ek,QP}/M_{Ed}$	$\rho$ [%]	$L_{eff}/d$	$\phi_{max}$ [mm]
-3,5	6,5	0,242	0,283	0,57	1,30	14,5	16
-3,5	6,0	0,253	0,298	0,56	1,37	14,3	18
-3,5	5,5	0,264	0,315	0,54	1,45	14,1	19
-3,5	5,0	0,276	0,333	0,52	1,53	13,9	21
-3,5	4,5	0,290	0,354	0,51	1,63	13,8	23

Iz tablice A očitano je:  $L_{eff}/d = 14,1$  time je:

$$d_{min} = \frac{L_n}{s \cdot (L_{eff}/d)} = \frac{400}{0,8 \cdot 14,1} = 35,5 \text{ cm} \rightarrow d = 36 \text{ cm}$$

pri čemu je "s" faktor redukcije vitkosti prema točki 3.1 za grede T-presjeka kod kojih je  $b_{eff} > 3 \cdot b_w$ , kao što je ovdje slučaj.

5) Odredi se najmanja potrebna širina tlačnog područja grede na temelju očitane bezdimenzijske vrijednosti momenta savijanja  $\mu_{Rd}$  i usporedi s onom iz ulaznih podataka

$$b_{min} = \frac{M_{Ed}}{\mu_{Rd} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{21750}{0,264 \cdot 36^2 \cdot 2,0} = 32 \text{ cm}$$

$b_{ef} = 120 \text{ cm} > b_{min} = 32 \text{ cm}$  - sudjelujuća širina zadovoljava proračun.

U slučaju da gornji uvjet nije zadovoljen, potrebno je ili povećati statičku visinu presjeka kako bi se zadovoljio gornji izraz, ili povećati armaturu (po potrebi i dvostruko armirati), pri čemu je nužno provesti detaljni proračun.

6) Odredi se najmanja potrebna količina armature na temelju odabrane statičke visine  $d$  i širine grede iz ulaznih podataka,  $b_{eff}$

$$\mu_{Rd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{21750}{120 \cdot 36^2 \cdot 2,0} \approx 0,069$$

Za prvi jednak ili veći  $\mu_{Rd}$  treba očitati iz tablice (u radu se prikazuje dio tablice označen s Tablica B) udio vlačne armature  $\rho$  (%).

Iz tablice B je očitano:  $\rho = 0,34 \% = 0,0034$

Tablica B C30/37

$\varepsilon_c$ [‰]	$\varepsilon_{s1}$ [‰]	$\mu_{Rd}$	$\omega$	$M_{Ek,QP} / M_{Ed}$	$\rho$ [%]	$L_{eff} / d$	$\phi_{r,max}$ [mm]
-2,1	20,0	0,063	0,065		0,30	28,0	
-2,2	20,0	0,066	0,069		0,32	28,0	
-2,3	20,0	0,070	0,073	→	0,34	28,0	
-2,4	20,0	0,074	0,077		0,36	28,0	
-2,5	20,0	0,078	0,081		0,37	28,0	

$$A_{s,1} = \rho \cdot b_{eff} \cdot d = 0,0034 \cdot 120 \cdot 36 = 14,69 \text{ cm}^2$$

U slučaju da se prvi jednak ili veći očitani bezdimenzijski moment savijanja  $\mu_{Rd}$  nalazi u području dvostrukog armiranja, odnosno ako vrijedi da je  $\mu_{Rd} > \mu_{Rd,lim}$ , tada je presjek potrebno dvostruko armirati, te se proračun elementa ne može provesti tablicama za preliminarno dimenzioniranje.

Preliminarnim proračunom dobivena je potrebna statička visina grede  $d = 36$  cm, površina vlačne armature  $A_{s1} = 14,69 \text{ cm}^2$ , te je odabran profil armature  $\phi 16$ . Odabranim dimenzijama elementa, vrstom i količinom armature, greda zadovoljava granično stanje nosivosti i sve uvjete graničnog stanja uporabljivosti.

### 5.1.2. Provjera rezultata

Rezultati preliminarnog proračuna iz prethodne točke provjereni su detaljnim proračunom grede na granično stanje uporabljivosti provedenim prema [6]. Zbog opsežnosti postupka, navedeni su samo konačni rezultati.

#### Granično stanje nosivosti

- potrebna količina armature

$$A_{s1,req} = 14,48 \text{ cm}^2 < A_{s1,prov} = 14,69 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

#### Granično stanje uporabljivosti

- širina pukotina za **kratkotrajno** djelovanje:

$$w_{k,t=0} = 0,17 \text{ mm} < w_{max} = 0,3 \text{ mm} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

- širina pukotina za **dugotrajno** djelovanje

$$w_{k,t=\infty} = 0,13 \text{ mm} < w_{max} = 0,3 \text{ mm} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

- ukupni progib od **kratkotrajnog** djelovanja:

$$v_{tot,t=0} = 0,87 \text{ cm} < v_{lim} = L / 250 = 400 / 250 = 1,6 \text{ cm} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

- ukupni progib od **dugotrajnog** djelovanja:

$$v_{tot,t=\infty} = 1,05 \text{ cm} < v_{lim} = L / 250 = 400 / 250 = 1,6 \text{ cm} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

U radu [13] provedena je detaljnija analiza rezultata preliminarnog proračuna. Zadan je niz armiranobetonskih greda s pripadajućim ulaznim podacima, analogno zadatku u točki 5.1.1. Detaljnim je proračunom potvrđeno da svi rezultati zadovoljavaju granično stanje nosivosti i sve uvjete graničnog stanja uporabljivosti. Dodatno, za iste je ulazne podatke detaljnim proračunom određena minimalna potrebna statička visina i pripadajuća armatura. Provedenom usporedbom može se vidjeti, da odstupanja postoje, kao i u prethodnom primjeru, ali su razlike značajno manje kod greda pravokutnih presjeka i greda T-presjeka kod kojih je  $b_{eff} \leq 3 \cdot b_w$ . Uzrok tomu je faktor redukcije koji se u tim slučajevima ne uzima u obzir.

Kod greda T-presjeka kojima je  $b_{eff} > 3 \cdot b_w$ , primjenom tablica, ostvaruju se presjeci statičkih visina prosječno 30 % većih od minimalno potrebnih. Međutim, time se ostvaruje i potreba za mnogo manje armature (prosječno 25 %). Primjenom tablica na ovakve presjeke, trebalo bi voditi računa o odstupanju kako se preliminarnim proračunom ne bi dobila prevelika ukupna težina objekta, te kasnije, pri provođenju detaljnih proračuna, treba uzeti u obzir ekonomske i estetske parametre pri odabiru konačnih dimenzija i armature elemenata.

Kod greda T-presjeka kojima je  $b_{eff} \leq 3 \cdot b_w$  i pravokutnih presjeka, primjenom tablica, ostvaruju se presjeci manjih ili nikakvih odstupanja od minimalno potrebnih, uz eventualno nešto veću armaturu od najmanje potrebne za zadovoljenje graničnih stanja.

### 5.1. Ploče

Kako je naznačeno u točki 3.2, posebne mjere za ograničenje širine pukotina nisu potrebne za armiranobetonske ploče debljine do 20 cm koje su naprezane savijanjem bez značajnog uzdužnog osnog vlaka. Pri tome, najveći razmak šipki glavne armature i šipki razdjelne armature (koja nije manja od 20 % glavne armature) ne smije biti veći od vrijednosti propisanih točkom 9.2.1.1 norme HRN EN 1992-1-1 [3] ili točkom 5.5.1 iz [5].

Dakle, prilikom dimenzioniranja ploče, radi ispunjenja uvjeta graničnog stanja uporabljivosti, njezina visina se određuje isključivo na temelju kontrole deformacije (progiba), osim u slučaju tankih ploča (ploča na točkastim osloncima) gdje je za dimenzioniranje može biti mjerodavna kontrola proboja ploče [11]. Dodatno, valja uzeti u obzir i dugotrajna vremenska djelovanja na beton.

Prema tome, primjena tablica za preliminarno dimenzioniranje ploče, radi uzimanja u obzir kontrole naprezanja, za zadovoljenje graničnog stanja raspucavanja, daje rezultate koji su značajno na strani sigurnosti, čime se ostvaruju visine ploča koje nisu ekonomične. Dakle, tablice za preliminarno dimenzioniranje, opisane ovim radom, nisu primjenjive za dimenzioniranje armiranobetonskih ploča.

## 6. Zaključak

Prilikom projektiranja armiranobetonskih konstrukcija, u ranijim fazama projekta, često je potrebno provesti preliminarno dimenzioniranje konstrukcijskih elemenata. To je posebice potrebno kod složenijih konstrukcija kako bi se utvrdile pripremne, osnovne dimenzije elemenata pomoću kojih se može nastaviti u detaljni proračun.

Ovim radom opisan je postupak izrade tablica i njihova primjena na dimenzioniranje armiranobetonskih greda, različitih presjeka, prema graničnim stanjima nosivosti i uporabljivosti, u skladu s normama niza HRN EN 1990 [1] i HRN EN 1992-1-1 [3]. Prikazane su tablice za razrede betona do C50/60. U radu [13] provedena je opširna analiza primjene tablica za preliminarno dimenzioniranje te je utvrđeno da je s porastom razreda betona primjenljivost tih tablica sve manja. Zbog toga u ovom radu te tablice nisu prikazane.

Kako je primjerima dokazano, na temelju dobivenih rezultata, tablicama dimenzionirane grede zadovoljavaju uvjete

graničnog stanja nosivosti i graničnog stanja uporabljivosti. Odstupanja rezultata od onih detaljnog proračuna su mala za grede pravokutnog presjeka i grede T-presjeka kojima širina pojasnice ne prelazi trostruku širinu hrpta. Za grede T-presjeka kod kojih je pojasnica šira, odstupanja su veća. Kod armiranobetonskih ploča, primjena tablica daje rezultate koji su značajno na strani sigurnosti, stoga na njih nisu primjenjive.

Općenito, uzrok odstupanja rezultata leži u potrebi za ispunjenjem osnovnih, konzervativnih uvjeta za pojedino granično stanje uporabljivosti, budući da se njima izbjegava potreba za detaljnim proračunom.

No, odstupanja se mogu prihvatiti kao zadovoljavajuća, ima li se na umu kako se radi o preliminarnom dimenzioniranju, te je daljnji, detaljni proračun nužan. Dodatno, korištenjem tablica za preliminarno dimenzioniranje izbjegava se pristup "pokušaja i pogrešaka" kod proračuna elemenata nepoznatih dimenzija te se osigurava brz i jednostavan preliminarni proračun za mali broj ulaznih podataka.

## LITERATURA

- [1] HRN EN 1990:2011, Eurokod: Osnove projektiranja konstrukcija, Eurocode: Basis of structural design. European Committee for Standardization, Brussels
- [2] HRN EN 1991-1-1:2012, Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-1: Opća djelovanja – Obujamske težine, vlastite težine i uporabna opterećenja za zgrade, Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-1: General actions – Densities, self-weight, imposed loads for buildings. European Committee for Standardization, Bruxelles
- [3] HRN EN 1992-1-1:2013, Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija – Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade, Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, European Committee for Standardization, Bruxelles
- [4] Kišiček, T.: Sorić, Z., Galić, J.: Tablice za dimenzioniranje armiranobetonskih presjeka, Građevinar 62 (2010) 11, pp. 1001-1010.
- [5] Sorić, Z., Kišiček T.: Betonske konstrukcije 1, Skripta Građevinskog fakulteta, Zagreb, 2011.
- [6] Sorić, Z., Kišiček T., Betonske konstrukcije 2, Skripta Građevinskog fakulteta, Zagreb, 2012.
- [7] Institution of Structural Engineers, Manual for the design of reinforced concrete building structures to EC2, London, March 2000.
- [8] Tomičić, I.: Betonske konstrukcije, DHGK, Zagreb, 1996.
- [9] Eurocode 2 – Commentary, European Concrete Platform ASBL, Bruxelles, June 2008
- [10] HRN EN 1992-1-1:2013/NA:2013, Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija – Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade – Nacionalni dodatak, Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, National Annex
- [11] Biasioli, F., Mancini G.: Eurocode 2 – Worked example, Bruxelles, 2011
- [12] Biasioli, F.: Progetto agli stati limite degli elementi inflessi, un approccio olistico, Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Politecnico di Torino, 2011.
- [13] Petrić, I.: Tablice za preliminarno dimenzioniranje armiranobetonskih presjeka, diplomski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2012.
- [14] HRN EN 1990:2011/NA2011, Eurokod: Osnove projektiranja konstrukcija, Eurocode: Basis of structural design – National Annex
- [15] HRN EN 1991-1-1:2012/NA:2012, Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-1: Opća djelovanja – Obujamske težine, vlastite težine i uporabna opterećenja za zgrade – Nacionalni dodatak, Eurocode 1: Actions on Structures – Part 1-1: General actions – Densities, self-weight, imposed loads for buildings – National Annex

**Prilog 1. Tablice za preliminarno dimenzioniranje armiranobetonskih presjeka**  
**Tablica P.1. za preliminarno dimenzioniranje armiranobetonskih presjeka – razredi betona C12/15, C16/20 i C20/25**

$\varepsilon_s$ [%]	$\varepsilon_{st}$ [%]	$H_{st}$	$\sigma_s$	C12/15			C16/20			C20/25			
				$M_{Ed,OP} / M_{Ed}$	$\rho$ [%]	$L_{eff} / d$	$\phi_{max}$ [mm]	$M_{Ed,OP} / M_{Ed}$	$\rho$ [%]	$L_{eff} / d$	$\phi_{max}$ [mm]	$M_{Ed,OP} / M_{Ed}$	$\rho$ [%]
-0.1	20.0	0.000	0.000		0.13	28.0		0.13	28.0		0.13	28.0	
-0.2	20.0	0.001	0.001		0.13	28.0		0.13	28.0		0.13	28.0	
-0.3	20.0	0.002	0.002		0.13	28.0		0.13	28.0		0.13	28.0	
-0.4	20.0	0.004	0.004		0.13	28.0		0.13	28.0		0.13	28.0	
-0.5	20.0	0.006	0.006		0.13	28.0		0.13	28.0		0.13	28.0	
-0.6	20.0	0.008	0.008		0.13	28.0		0.13	28.0		0.13	28.0	
-0.7	20.0	0.010	0.010		0.13	28.0		0.13	28.0		0.13	28.0	
-0.8	20.0	0.013	0.013		0.13	28.0		0.13	28.0		0.13	28.0	
-0.9	20.0	0.016	0.016		0.13	28.0		0.13	28.0		0.13	28.0	
-1.0	20.0	0.020	0.020		0.13	28.0		0.13	28.0		0.13	28.0	
-1.1	20.0	0.023	0.023		0.13	28.0		0.13	28.0		0.13	28.0	
-1.2	20.0	0.027	0.027		0.13	28.0		0.13	28.0		0.13	28.0	
-1.3	20.0	0.030	0.031		0.13	28.0		0.13	28.0		0.13	28.0	
-1.4	20.0	0.034	0.035		0.13	28.0		0.13	28.0		0.13	28.0	
-1.5	20.0	0.038	0.039		0.13	28.0		0.13	28.0		0.13	28.0	
-1.6	20.0	0.042	0.043		0.13	28.0		0.13	28.0		0.13	28.0	
-1.7	20.0	0.046	0.048		0.13	28.0		0.13	28.0		0.15	28.0	
-1.8	20.0	0.050	0.052		0.13	28.0		0.13	28.0		0.16	28.0	
-1.9	20.0	0.055	0.056		0.13	28.0		0.14	28.0		0.17	28.0	
-2.0	20.0	0.059	0.061		0.13	28.0		0.15	28.0		0.19	28.0	
-2.1	20.0	0.063	0.065		0.13	28.0		0.16	28.0		0.20	28.0	
-2.2	20.0	0.066	0.069		0.13	28.0		0.17	28.0		0.21	28.0	
-2.3	20.0	0.070	0.073		0.13	28.0		0.18	28.0		0.22	28.0	
-2.4	20.0	0.074	0.077		0.14	28.0		0.19	28.0		0.24	28.0	
-2.5	20.0	0.078	0.081		0.15	28.0		0.20	28.0		0.25	28.0	
-2.6	20.0	0.082	0.086		0.16	28.0		0.21	28.0		0.26	28.0	
-2.7	20.0	0.085	0.090		0.16	28.0		0.22	28.0		0.27	28.0	
-2.8	20.0	0.089	0.094		0.17	28.0	4	0.23	28.0		0.29	27.4	
-2.9	20.0	0.093	0.098		0.18	28.0	4	0.24	28.0	4	0.30	26.0	
-3.0	20.0	0.096	0.101		0.19	28.0	4	0.25	26.7	4	0.31	24.8	4
-3.1	20.0	0.100	0.105		0.19	28.0	4	0.26	25.5	4	0.32	23.7	4
-3.2	20.0	0.103	0.109		0.20	26.8	4	0.27	24.4	4	0.33	22.7	4
-3.3	20.0	0.106	0.113		0.21	25.7	5	0.28	23.4	4	0.35	21.9	4
-3.4	20.0	0.110	0.117	0.74	0.21	24.7	5	0.29	22.6	5	0.36	21.1	4
-3.5	20.0	0.113	0.121	0.73	0.22	23.8	5	0.30	21.8	5	0.37	20.5	5
-3.5	19.5	0.115	0.123	0.72	0.23	23.2	5	0.30	21.3	5	0.38	20.1	5
-3.5	19.0	0.118	0.126	0.71	0.23	22.6	5	0.31	20.8	5	0.39	19.7	5
-3.5	18.5	0.120	0.129	0.70	0.24	22.1	6	0.32	20.4	5	0.39	19.3	5
-3.5	18.0	0.123	0.132	0.69	0.24	21.5	6	0.32	19.9	5	0.40	18.9	5
-3.5	17.5	0.126	0.135	0.68	0.25	21.0	6	0.33	19.5	6	0.41	18.6	5

-3,5	17,0	0,128	0,138	0,68	0,25	20,5	6	0,74	0,34	19,1	6	0,42	18,3	6
-3,5	16,5	0,131	0,142	0,67	0,26	20,0	6	0,73	0,35	18,7	6	0,43	18,0	6
-3,5	16,0	0,134	0,145	0,66	0,27	19,5	7	0,72	0,36	18,3	6	0,45	17,7	6
-3,5	15,5	0,138	0,149	0,65	0,27	19,1	7	0,71	0,37	17,9	6	0,46	17,6	6
-3,5	15,0	0,141	0,153	0,64	0,28	18,6	7	0,69	0,38	17,6	7	0,74	17,4	7
-3,5	14,5	0,145	0,157	0,63	0,29	18,2	7	0,68	0,39	17,3	7	0,73	17,2	7
-3,5	14,0	0,148	0,162	0,62	0,30	17,8	8	0,67	0,40	17,0	7	0,72	17,0	7
-3,5	13,5	0,152	0,167	0,61	0,31	17,4	8	0,66	0,41	16,9	8	0,70	16,9	7
-3,5	13,0	0,157	0,172	0,60	0,32	17,0	8	0,65	0,42	16,7	8	0,69	16,7	8
-3,5	12,5	0,161	0,177	0,59	0,33	16,7	9	0,64	0,43	16,5	8	0,68	16,5	8
-3,5	12,0	0,166	0,183	0,58	0,34	16,4	9	0,63	0,45	16,4	9	0,67	16,4	9
-3,5	11,5	0,171	0,189	0,57	0,35	16,2	9	0,62	0,46	16,2	9	0,66	16,2	9
-3,5	11,0	0,176	0,195	0,56	0,36	16,0	10	0,61	0,48	16,0	9	0,64	16,0	9
-3,5	10,5	0,181	0,202	0,55	0,37	15,8	10	0,60	0,50	15,8	10	0,63	15,8	10
-3,5	10,0	0,187	0,210	0,54	0,39	15,7	11	0,58	0,51	15,7	10	0,62	15,7	10
-3,5	9,5	0,194	0,218	0,53	0,40	15,5	11	0,57	0,53	15,5	11	0,61	15,5	11
-3,5	9,0	0,200	0,227	0,52	0,42	15,3	12	0,56	0,56	15,3	12	0,59	15,3	12
-3,5	8,5	0,207	0,236	0,51	0,43	15,1	13	0,55	0,58	15,1	12	0,58	15,1	12
-3,5	8,0	0,215	0,246	0,50	0,45	15,0	13	0,54	0,60	15,0	13	0,57	15,0	13
-3,5	7,5	0,223	0,258	0,48	0,47	14,8	14	0,52	0,63	14,8	14	0,55	14,8	14
-3,5	7,0	0,232	0,270	0,47	0,50	14,6	15	0,51	0,66	14,6	15	0,54	14,6	15
-3,5	6,5	0,242	0,283	0,46	0,52	14,5	16	0,50	0,70	14,5	16	0,52	14,5	16
-3,5	6,0	0,253	0,298	0,45	0,55	14,3	17	0,48	0,73	14,3	17	0,51	14,3	17
-3,5	5,5	0,264	0,315	0,44	0,58	14,1	19	0,47	0,77	14,1	18	0,50	14,1	19
-3,5	5,0	0,276	0,333	0,43	0,61	13,9	20	0,46	0,82	13,9	20	0,48	13,9	20
-3,5	4,5	0,290	0,354	0,41	0,65	13,8	22	0,44	0,87	13,8	22	0,47	13,8	22
-3,5	4,3	0,296	0,364	0,41	0,67	13,7	23	0,44	0,89	13,7	23	0,46	13,7	23
-3,5	4,0	0,304	0,378	0,40	0,70	13,6	24	0,43	0,93	13,6	24	0,45	13,6	24
-3,5	3,8	0,311	0,388	0,40	0,71	13,5	25	0,43	0,95	13,5	25	0,45	13,5	25
-3,5	3,6	0,317	0,399	0,39	0,73	13,5	25	0,42	0,98	13,5	26	0,44	13,5	26
-3,5	3,4	0,324	0,411	0,39	0,76	13,4	25	0,41	1,01	13,4	27	0,44	13,4	27
-3,5	3,2	0,331	0,423	0,38	0,78	13,3	25	0,41	1,04	13,3	28	0,43	13,3	29
-3,5	3,0	0,338	0,436	0,38	0,80	13,2	25	0,40	1,07	13,2	29	0,42	13,2	30
-3,5	2,8	0,346	0,450	0,37	0,83	13,2	25	0,40	1,10	13,2	30	0,42	13,2	31
-3,5	2,6	0,354	0,464	0,37	0,85	13,1	25	0,39	1,14	13,1	30	0,41	13,1	33
-3,5	2,4	0,362	0,480	0,36	0,88	13,0	25	0,39	1,18	13,0	30	0,41	13,0	34
-3,5	2,2	0,370	0,497	0,36	0,91	13,0	25	0,38	1,22	13,0	30	0,40	13,0	35
-3,5	2,0	0,379	0,515	0,35	0,95	12,9	25	0,38	1,26	12,9	30	0,39	12,9	35
-3,5	1,8	0,388	0,535	0,35	0,98	12,8	25	0,37	1,31	12,8	30	0,39	12,8	35
-3,5	1,6	0,397	0,556	0,34	1,02	12,8	25	0,37	1,36	12,8	30	0,38	12,8	35
-3,5	1,4	0,406	0,578	0,34	1,06	12,7	25	0,36	1,42	12,7	30	0,38	12,7	35
-3,5	1,2	0,416	0,603	0,34	1,11	12,6	25	0,36	1,48	12,6	30	0,37	12,6	35
-3,5	1,0	0,426	0,630	0,33	1,16	12,6	25	0,35	1,54	12,6	30	0,37	12,6	35
-3,5	0,8	0,436	0,659	0,33	1,21	12,5	25	0,35	1,62	12,5	30	0,36	12,5	35

Tablica 2P. za preliminarno dimenzioniranje armiranobetonskih presjeka – razredi betona C25/30, C30/37 i C35/45

$\epsilon_s$ [‰]	$\epsilon_{s1}$ [‰]	$\mu_{rel}$	$\omega$	C25/30				C30/37				C35/45				
				$M_{Ed,OP} / M_{Ed}$	$\rho$ [%]	$L_{eff} / d$	$\phi_{max}$ [mm]	$M_{Ed,OP} / M_{Ed}$	$\rho$ [%]	$L_{eff} / d$	$\phi_{max}$ [mm]	$M_{Ed,OP} / M_{Ed}$	$\rho$ [%]	$L_{eff} / d$	$\phi_{max}$ [mm]	
-0.1	20.0	0.000	0.000		0.14	28.0			0.15	28.0			0.17	28.0		
-0.2	20.0	0.001	0.001		0.14	28.0			0.15	28.0			0.17	28.0		
-0.3	20.0	0.002	0.002		0.14	28.0			0.15	28.0			0.17	28.0		
-0.4	20.0	0.004	0.004		0.14	28.0			0.15	28.0			0.17	28.0		
-0.5	20.0	0.006	0.006		0.14	28.0			0.15	28.0			0.17	28.0		
-0.6	20.0	0.008	0.008		0.14	28.0			0.15	28.0			0.17	28.0		
-0.7	20.0	0.010	0.010		0.14	28.0			0.15	28.0			0.17	28.0		
-0.8	20.0	0.013	0.013		0.14	28.0			0.15	28.0			0.17	28.0		
-0.9	20.0	0.016	0.016		0.14	28.0			0.15	28.0			0.17	28.0		
-1.0	20.0	0.020	0.020		0.14	28.0			0.15	28.0			0.17	28.0		
-1.1	20.0	0.023	0.023		0.14	28.0			0.15	28.0			0.17	28.0		
-1.2	20.0	0.027	0.027		0.14	28.0			0.15	28.0			0.17	28.0		
-1.3	20.0	0.030	0.031		0.14	28.0			0.15	28.0			0.17	28.0		
-1.4	20.0	0.034	0.035		0.14	28.0			0.16	28.0			0.19	28.0		
-1.5	20.0	0.038	0.039		0.15	28.0			0.18	28.0			0.21	28.0		
-1.6	20.0	0.042	0.043		0.17	28.0			0.20	28.0			0.23	28.0		
-1.7	20.0	0.046	0.048		0.18	28.0			0.22	28.0			0.26	28.0		
-1.8	20.0	0.050	0.052		0.20	28.0			0.24	28.0			0.28	28.0		
-1.9	20.0	0.055	0.056		0.22	28.0			0.26	28.0			0.30	28.0		
-2.0	20.0	0.059	0.061		0.23	28.0			0.28	28.0			0.33	28.0		
-2.1	20.0	0.063	0.065		0.25	28.0			0.30	28.0			0.35	28.0		
-2.2	20.0	0.066	0.069		0.26	28.0			0.32	28.0			0.37	28.0		
-2.3	20.0	0.070	0.073		0.28	28.0			0.34	28.0			0.39	28.0		
-2.4	20.0	0.074	0.077		0.30	28.0			0.36	28.0			0.42	28.0		
-2.5	20.0	0.078	0.081		0.31	28.0			0.37	28.0			0.44	27.0		
-2.6	20.0	0.082	0.086		0.33	28.0			0.39	26.7			0.46	25.4		
-2.7	20.0	0.085	0.090		0.34	26.9			0.41	25.2			0.48	24.0		
-2.8	20.0	0.089	0.094		0.36	25.4			0.43	23.9			0.50	22.9		
-2.9	20.0	0.093	0.098		0.37	24.2			0.45	22.9			0.52	21.9		
-3.0	20.0	0.096	0.101		0.39	23.1			0.47	21.9			0.54	21.1		
-3.1	20.0	0.100	0.105		0.40	22.1			0.48	21.1			0.57	20.5		
-3.2	20.0	0.103	0.109		0.42	21.3			0.50	20.4			0.59	20.0		
-3.3	20.0	0.106	0.113		0.43	20.6			0.52	19.9			0.61	19.7		
-3.4	20.0	0.110	0.117		0.45	20.0			0.54	19.4			0.63	19.4		
-3.5	20.0	0.113	0.121		0.46	19.5	5		0.55	19.1			0.65	19.1		
-3.5	19.5	0.115	0.123		0.47	19.2	5		0.57	18.9			0.66	18.9		
-3.5	19.0	0.118	0.126		0.48	18.9	5		0.58	18.8			0.68	18.8		
-3.5	18.5	0.120	0.129		0.49	18.6	5		0.59	18.6			0.69	18.6		
-3.5	18.0	0.123	0.132		0.51	18.4	5		0.61	18.4			0.71	18.4		
-3.5	17.5	0.126	0.135		0.52	18.3	5		0.62	18.3			0.72	18.3		



-35	17,0	0,128	0,138	0,53	18,1	6	0,64	18,1	0,74	18,1	6	0,74	18,1
-35	16,5	0,131	0,142	0,54	17,9	6	0,65	17,9	0,76	17,9	6	0,76	17,9
-35	16,0	0,134	0,145	0,55	17,7	6	0,67	17,7	0,78	17,7	6	0,78	17,7
-35	15,5	0,138	0,149	0,57	17,6	6	0,69	17,6	0,80	17,6	6	0,80	17,6
-35	15,0	0,141	0,153	0,59	17,4	7	0,70	17,4	0,82	17,4	6	0,82	17,4
-35	14,5	0,145	0,157	0,60	17,2	7	0,72	17,2	0,84	17,2	7	0,84	17,2
-35	14,0	0,148	0,162	0,62	17,0	7	0,74	17,0	0,87	17,0	7	0,87	17,0
-35	13,5	0,152	0,167	0,64	16,9	8	0,77	16,9	0,89	16,9	7	0,89	16,9
-35	13,0	0,157	0,172	0,66	16,7	8	0,79	16,7	0,92	16,7	8	0,92	16,7
-35	12,5	0,161	0,177	0,68	16,5	8	0,81	16,5	0,95	16,5	8	0,95	16,5
-35	12,0	0,166	0,183	0,70	16,4	9	0,84	16,4	0,98	16,4	8	0,98	16,4
-35	11,5	0,171	0,189	0,72	16,2	9	0,87	16,2	1,01	16,2	9	1,01	16,2
-35	11,0	0,176	0,195	0,75	16,0	10	0,90	16,0	1,05	16,0	9	1,05	16,0
-35	10,5	0,181	0,202	0,78	15,8	10	0,93	15,8	1,09	15,8	10	1,09	15,8
-35	10,0	0,187	0,210	0,80	15,7	11	0,97	15,7	1,13	15,7	10	1,13	15,7
-35	9,5	0,194	0,218	0,84	15,5	11	1,00	15,5	1,17	15,5	11	1,17	15,5
-35	9,0	0,200	0,227	0,87	15,3	12	1,04	15,3	1,22	15,3	12	1,22	15,3
-35	8,5	0,207	0,236	0,91	15,1	13	1,09	15,1	1,27	15,1	13	1,27	15,1
-35	8,0	0,215	0,246	0,94	15,0	13	1,13	15,0	1,32	15,0	13	1,32	15,0
-35	7,5	0,223	0,258	0,99	14,8	14	1,18	14,8	1,38	14,8	14	1,38	14,8
-35	7,0	0,232	0,270	1,03	14,6	15	1,24	14,6	1,45	14,6	15	1,45	14,6
-35	6,5	0,242	0,283	1,09	14,5	16	1,30	14,5	1,52	14,5	16	1,52	14,5
-35	6,0	0,253	0,298	1,14	14,3	18	1,37	14,3	1,60	14,3	18	1,60	14,3
-35	5,5	0,264	0,315	1,21	14,1	19	1,45	14,1	1,69	14,1	19	1,69	14,1
-35	5,0	0,276	0,333	1,28	13,9	21	1,53	13,9	1,79	13,9	21	1,79	13,9
-35	4,5	0,290	0,354	1,36	13,8	23	1,63	13,8	1,90	13,8	23	1,90	13,8
-35	4,3	0,296	0,364	1,40	13,7	24	1,68	13,7	1,96	13,7	24	1,96	13,7
-35	4,0	0,304	0,378	1,45	13,6	25	1,74	13,6	2,03	13,6	25	2,03	13,6
-35	3,8	0,311	0,388	1,49	13,5	26	1,79	13,5	2,08	13,5	27	2,08	13,5
-35	3,6	0,317	0,399	1,53	13,5	27	1,84	13,5	2,14	13,5	28	2,14	13,5
-35	3,4	0,324	0,411	1,57	13,4	29	1,89	13,4	2,20	13,4	29	2,20	13,4
-35	3,2	0,331	0,423	1,62	13,3	30	1,95	13,3	2,27	13,3	31	2,27	13,3
-35	3,0	0,338	0,436	1,67	13,2	31	2,01	13,2	2,34	13,2	32	2,34	13,2
-35	2,8	0,346	0,450	1,72	13,2	33	2,07	13,2	2,41	13,2	34	2,41	13,2
-35	2,6	0,354	0,464	1,78	13,1	34	2,14	13,1	2,49	13,1	36	2,49	13,1
-35	2,4	0,362	0,480	1,84	13,0	36	2,21	13,0	2,58	13,0	38	2,58	13,0
-35	2,2	0,370	0,497	1,91	13,0	38	2,29	13,0	2,67	13,0	40	2,67	13,0
-35	2,0	0,379	0,515	1,97	12,9	40	2,37	12,9	2,76	12,9	42	2,76	12,9
-35	1,8	0,388	0,535	2,05	12,8	41	2,46	12,8	2,87	12,8	44	2,87	12,8
-35	1,6	0,397	0,556	2,13	12,8	41	2,56	12,8	2,98	12,8	47	2,98	12,8
-35	1,4	0,406	0,578	2,22	12,7	41	2,66	12,7	3,10	12,7	50	3,10	12,7
-35	1,2	0,416	0,603	2,31	12,6	41	2,77	12,6	3,24	12,6	51	3,24	12,6
-35	1,0	0,426	0,630	2,41	12,6	41	2,90	12,6	3,38	12,6	51	3,38	12,6
-35	0,8	0,436	0,659	2,53	12,5	41	3,03	12,5	3,54	12,5	51	3,54	12,5

Tablica P3. za preliminarno dimenzioniranje armiranobetonskih presjeka – razredi betona C40/50, C45/55 i C50/60

$\epsilon_s$ [‰]	$\epsilon_{s1}$ [‰]	$\mu_{rel}$	$\omega$	C40/500			C45/55			C50/60		
				$M_{loc,op} / M_{Ed}$	$\rho$ [%]	$L_{eff}/d$	$\phi_{max}$ [mm]	$M_{loc,op} / M_{Ed}$	$\rho$ [%]	$L_{eff}/d$	$\phi_{max}$ [mm]	$M_{loc,op} / M_{Ed}$
-0.1	2.0	0.000	0.000	0.18	28.0	28.0	0.20	28.0	28.0	0.21	28.0	28.0
-0.2	2.0	0.001	0.001	0.18	28.0	28.0	0.20	28.0	28.0	0.21	28.0	28.0
-0.3	2.0	0.002	0.002	0.18	28.0	28.0	0.20	28.0	28.0	0.21	28.0	28.0
-0.4	2.0	0.004	0.004	0.18	28.0	28.0	0.20	28.0	28.0	0.21	28.0	28.0
-0.5	2.0	0.006	0.006	0.18	28.0	28.0	0.20	28.0	28.0	0.21	28.0	28.0
-0.6	2.0	0.008	0.008	0.18	28.0	28.0	0.20	28.0	28.0	0.21	28.0	28.0
-0.7	2.0	0.010	0.010	0.18	28.0	28.0	0.20	28.0	28.0	0.21	28.0	28.0
-0.8	2.0	0.013	0.013	0.18	28.0	28.0	0.20	28.0	28.0	0.21	28.0	28.0
-0.9	2.0	0.016	0.016	0.18	28.0	28.0	0.20	28.0	28.0	0.21	28.0	28.0
-1.0	2.0	0.020	0.020	0.18	28.0	28.0	0.20	28.0	28.0	0.21	28.0	28.0
-1.1	2.0	0.023	0.023	0.18	28.0	28.0	0.20	28.0	28.0	0.21	28.0	28.0
-1.2	2.0	0.027	0.027	0.18	28.0	28.0	0.20	28.0	28.0	0.21	28.0	28.0
-1.3	2.0	0.030	0.031	0.19	28.0	28.0	0.21	28.0	28.0	0.24	28.0	28.0
-1.4	2.0	0.034	0.035	0.22	28.0	28.0	0.24	28.0	28.0	0.27	28.0	28.0
-1.5	2.0	0.038	0.039	0.24	28.0	28.0	0.27	28.0	28.0	0.30	28.0	28.0
-1.6	2.0	0.042	0.043	0.27	28.0	28.0	0.30	28.0	28.0	0.33	28.0	28.0
-1.7	2.0	0.046	0.048	0.29	28.0	28.0	0.33	28.0	28.0	0.37	28.0	28.0
-1.8	2.0	0.050	0.052	0.32	28.0	28.0	0.36	28.0	28.0	0.40	28.0	28.0
-1.9	2.0	0.055	0.056	0.35	28.0	28.0	0.39	28.0	28.0	0.43	28.0	28.0
-2.0	2.0	0.059	0.061	0.37	28.0	28.0	0.42	28.0	28.0	0.46	28.0	28.0
-2.1	2.0	0.063	0.065	0.40	28.0	28.0	0.45	28.0	28.0	0.50	28.0	28.0
-2.2	2.0	0.066	0.069	0.42	28.0	28.0	0.48	28.0	28.0	0.53	28.0	28.0
-2.3	2.0	0.070	0.073	0.45	28.0	28.0	0.51	28.0	28.0	0.56	27.3	28.0
-2.4	2.0	0.074	0.077	0.47	27.5	27.5	0.53	26.4	26.4	0.59	25.5	28.0
-2.5	2.0	0.078	0.081	0.50	25.8	25.8	0.56	24.8	24.8	0.62	24.1	28.0
-2.6	2.0	0.082	0.086	0.52	24.3	24.3	0.59	23.5	23.5	0.66	22.9	28.0
-2.7	2.0	0.085	0.090	0.55	23.1	23.1	0.62	22.5	22.5	0.69	22.0	28.0
-2.8	2.0	0.089	0.094	0.57	22.1	22.1	0.65	21.6	21.6	0.72	21.5	28.0
-2.9	2.0	0.093	0.098	0.60	21.3	21.3	0.67	21.0	21.0	0.75	21.0	28.0
-3.0	2.0	0.096	0.101	0.62	20.7	20.7	0.70	20.6	20.6	0.78	20.6	28.0
-3.1	2.0	0.100	0.105	0.65	20.3	20.3	0.73	20.3	20.3	0.81	20.3	28.0
-3.2	2.0	0.103	0.109	0.67	20.0	20.0	0.75	20.0	20.0	0.84	20.0	28.0
-3.3	2.0	0.106	0.113	0.69	19.7	19.7	0.78	19.7	19.7	0.87	19.7	28.0
-3.4	2.0	0.110	0.117	0.72	19.4	19.4	0.81	19.4	19.4	0.90	19.4	28.0
-3.5	2.0	0.113	0.121	0.74	19.1	19.1	0.83	19.1	19.1	0.92	19.1	28.0
-3.5	1.95	0.115	0.123	0.76	18.9	18.9	0.85	18.9	18.9	0.94	18.9	28.0
-3.5	1.90	0.118	0.126	0.77	18.8	18.8	0.87	18.8	18.8	0.97	18.8	28.0
-3.5	1.85	0.120	0.129	0.79	18.6	18.6	0.89	18.6	18.6	0.99	18.6	28.0
-3.5	1.80	0.123	0.132	0.81	18.4	18.4	0.91	18.4	18.4	1.01	18.4	28.0
-3.5	1.75	0.126	0.135	0.83	18.3	18.3	0.93	18.3	18.3	1.03	18.3	28.0
-3.5	1.70	0.129	0.139	0.85	18.1	18.1	0.95	18.1	18.1	1.05	18.1	28.0

-3,5	17,0	0,128	0,136	17,0	0,83	18,1	0,95	18,1	0,98	17,9	0,95	18,1	1,06	16,1
-3,5	16,5	0,131	0,142	17,9	0,87	17,9	0,98	17,9	0,98	17,9	0,98	17,9	1,09	17,9
-3,5	16,0	0,134	0,145	17,7	0,89	17,7	1,00	17,7	1,00	17,7	1,00	17,7	1,11	17,7
-3,5	15,5	0,138	0,149	17,6	0,91	17,6	1,03	17,6	1,03	17,6	1,03	17,6	1,14	17,6
-3,5	15,0	0,141	0,153	17,4	0,94	17,4	1,06	17,4	1,06	17,4	1,06	17,4	1,17	17,4
-3,5	14,5	0,145	0,157	17,2	0,97	17,2	1,09	17,2	1,09	17,2	1,09	17,2	1,21	17,2
-3,5	14,0	0,148	0,162	17,0	0,99	17,0	1,12	17,0	1,12	17,0	1,12	17,0	1,24	17,0
-3,5	13,5	0,152	0,167	16,9	1,02	16,9	1,15	16,9	1,15	16,9	1,15	16,9	1,28	16,9
-3,5	13,0	0,157	0,172	16,7	1,05	16,7	1,18	16,7	1,18	16,7	1,18	16,7	1,32	16,7
-3,5	12,5	0,161	0,177	16,5	1,09	16,5	1,22	16,5	1,22	16,5	1,22	16,5	1,36	16,5
-3,5	12,0	0,166	0,183	16,4	1,12	16,4	1,26	16,4	1,26	16,4	1,26	16,4	1,40	16,4
-3,5	11,5	0,171	0,189	16,2	1,16	16,2	1,30	16,2	1,30	16,2	1,30	16,2	1,45	16,2
-3,5	11,0	0,176	0,195	16,0	1,20	16,0	1,35	16,0	1,35	16,0	1,35	16,0	1,50	16,0
-3,5	10,5	0,181	0,202	15,8	1,24	15,8	1,40	15,8	1,40	15,8	1,40	15,8	1,55	15,8
-3,5	10,0	0,187	0,210	15,7	1,29	15,7	1,45	15,7	1,45	15,7	1,45	15,7	1,61	15,7
-3,5	9,5	0,194	0,218	15,5	1,34	15,5	1,50	15,5	1,50	15,5	1,50	15,5	1,67	15,5
-3,5	9,0	0,200	0,227	15,3	1,39	15,3	1,56	15,3	1,56	15,3	1,56	15,3	1,74	15,3
-3,5	8,5	0,207	0,236	15,1	1,45	15,1	1,63	15,1	1,63	15,1	1,63	15,1	1,81	15,1
-3,5	8,0	0,215	0,246	15,0	1,51	15,0	1,70	15,0	1,70	15,0	1,70	15,0	1,89	15,0
-3,5	7,5	0,223	0,258	14,8	1,58	14,8	1,78	14,8	1,78	14,8	1,78	14,8	1,97	14,8
-3,5	7,0	0,232	0,270	14,6	1,66	14,6	1,86	14,6	1,86	14,6	1,86	14,6	2,07	14,6
-3,5	6,5	0,242	0,283	14,5	1,74	14,5	1,96	14,5	1,96	14,5	1,96	14,5	2,17	14,5
-3,5	6,0	0,253	0,298	14,3	1,83	14,3	2,06	14,3	2,06	14,3	2,06	14,3	2,29	14,3
-3,5	5,5	0,264	0,315	14,1	1,93	14,1	2,17	14,1	2,17	14,1	2,17	14,1	2,41	14,1
-3,5	5,0	0,276	0,333	13,9	2,04	13,9	2,30	13,9	2,30	13,9	2,30	13,9	2,56	13,9
-3,5	4,5	0,290	0,354	13,8	2,17	13,8	2,44	13,8	2,44	13,8	2,44	13,8	2,72	13,8
-3,5	4,3	0,296	0,364	13,7	2,23	13,7	2,51	13,7	2,51	13,7	2,51	13,7	2,79	13,7
-3,5	4,0	0,304	0,378	13,6	2,32	13,6	2,61	13,6	2,61	13,6	2,61	13,6	2,90	13,6
-3,5	3,8	0,311	0,388	13,5	2,38	13,5	2,68	13,5	2,68	13,5	2,68	13,5	2,98	13,5
-3,5	3,6	0,317	0,399	13,5	2,45	13,5	2,75	13,5	2,75	13,5	2,75	13,5	3,06	13,5
-3,5	3,4	0,324	0,411	13,4	2,52	13,4	2,83	13,4	2,83	13,4	2,83	13,4	3,15	13,4
-3,5	3,2	0,331	0,423	13,3	2,59	13,3	2,92	13,3	2,92	13,3	2,92	13,3	3,24	13,3
-3,5	3,0	0,338	0,436	13,2	2,67	13,2	3,01	13,2	3,01	13,2	3,01	13,2	3,34	13,2
-3,5	2,8	0,346	0,450	13,2	2,76	13,2	3,10	13,2	3,10	13,2	3,10	13,2	3,45	13,2
-3,5	2,6	0,354	0,464	13,1	2,85	13,1	3,20	13,1	3,20	13,1	3,20	13,1	3,56	13,1
-3,5	2,4	0,362	0,480	13,0	2,95	13,0	3,31	13,0	3,31	13,0	3,31	13,0	3,68	13,0
-3,5	2,2	0,370	0,497	13,0	3,05	13,0	3,43	13,0	3,43	13,0	3,43	13,0	3,81	13,0
-3,5	2,0	0,379	0,515	12,9	3,16	12,9	3,55	12,9	3,55	12,9	3,55	12,9	3,95	12,9
-3,5	1,8	0,388	0,535	12,8	3,28	12,8	3,69	12,8	3,69	12,8	3,69	12,8	4,10	12,8
-3,5	1,6	0,397	0,556	12,8	3,41	12,8	3,83	12,8	3,83	12,8	3,83	12,8	4,26	12,8
-3,5	1,4	0,406	0,578	12,7	3,55	12,7	3,99	12,7	3,99	12,7	3,99	12,7	4,43	12,7
-3,5	1,2	0,416	0,603	12,6	3,70	12,6	4,16	12,6	4,16	12,6	4,16	12,6	4,62	12,6
-3,5	1,0	0,426	0,630	12,6	3,86	12,6	4,34	12,6	4,34	12,6	4,34	12,6	4,83	12,6
-3,5	0,8	0,436	0,659	12,5	4,04	12,5	4,55	12,5	4,55	12,5	4,55	12,5	5,05	12,5