

**E** EN 1992-1-1:2004  
**V** Evrokod 2

**R**  
**O**  
**P**  
**S**  
**K**  
**I**

# **PRORAČUN BETONSKIH KONSTRUKCIJA**

**S** DEO 1-1: OPŠTA PRAVILA  
**T** I PRAVILA ZA ZGRADE  
**A**  
**N**  
**D**  
**A**  
**R**  
**D**

**Beograd, februar 2006.**



Ovaj prevod na srpski jezik Evropskog standarda

## **EVROKODOVI ZA KONSTRUKCIJE**

**Evrokod 2: EN 1992-1-1:2004**

# **PRORAČUN BETONSKIH KONSTRUKCIJA**

**Deo 1-1: OPŠTA PRAVILA I PRAVILA ZA ZGRADE**

objavljuje se u okviru **PROJEKTA:**

### **ŠIRENJE IDEJA I ZNANJA O EVROPSKIM INTEGRACIJAMA KROZ STVARANJE USLOVA ZA HARMONIZACIJU NACIONALNE REGULATIVE SRBIJE I CRNE GORE SA EVROPSKIM NORMAMA I STANDARDIMA U OBLASTI GRAĐEVINARSTVA**

Realizacija Projekta omogućena je donacijom Fonda za evropske integracije, sredstvima Evropske unije, uz realizaciju Evropske agencije za rekonstrukciju i Evropskog pokreta u Srbiji, i uz podršku velikog broja naših značajnih institucija i građevinskih firmi koje su prikazane na kraju ovog Evrokoda.

#### **NOSIOCI PROJEKTA:**

**Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu i  
Jugoslovensko društvo građevinskih konstruktera JDGK**

#### **PROJEKTNI TIM**

za ovu fazu Projekta:

Profesor dr **DRAGAN BUĐEVAC**, rukovodilac Projekta,  
profesori dr **ŽIVOTA PERIŠIĆ**, dr **ALEKSANDAR PAKVOR** i dr **MIRKO AČIĆ**,  
v. profesor dr **MIHAJLO ĐURĐEVIĆ**, docent dr **ZLATKO MARKOVIĆ**,  
dr **ZORAN ĐORĐEVIĆ** i asistent mr **DRAGANA ČUKIĆ**

#### **EVROKOD 2**

##### **Deo 1-1:**

**Prevod:** dr **Života Perišić**

**Stručna redakcija:** dr **Života Perišić**, dr **Mirko Ačić**, dr **Aleksandar Pakvor**

**Izdavač:** Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu  
**Za izdavača:** Dekan, prof. dr Đorđe Vuksanović  
**Tehnička priprema:** DC Grafički centar  
**Štampa:** Intergraf MM  
**Tiraž:** 1500 primeraka

**ISBN 86-7518-058-6**

Beograd, februar 2006.

# P R E D G O V O R

uz prevod na srpski jezik Evropskog standarda

## EVROKOD 2: PRORAČUN BETONSKIH KONSTRUKCIJA

### Deo 1-1: OPŠTA PRAVILA I PRAVILA ZA ZGRADE

Ovaj prevod na srpski jezik **Evropskog standarda Evrokod 2: EN 1992-1-1:2004: Proračun betonskih konstrukcija, Deo 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade**, pripremljen je u okviru prve faze **Projekta usvajanja Evropskih standarda u građevinarstvu kao nacionalnih standarda Srbije i Crne Gore**, prema Sporazumu sklopljenom između Zavoda za standardizaciju Srbije i Crne Gore i nosilaca Projekta, **Gradjevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu i Jugoslovenskog društva građevinskih konstruktera JDGK**.

Realizacija prve faze Projekta omogućena je donacijom Fonda za evropske integracije Evropske agencije za rekonstrukciju, uz značajnu organizacionu i finansijsku podršku velikog broja naših firmi i institucija u oblasti građevinarstva. Te firme i institucije – sponzori Projekta – prikazani su na kraju Evrokoda. Svima koji su na bilo koji način pomogli realizaciju ovog izuzetno značajnog projekta za naše građevinarstvo, Projektni tim i ovim putem izražava veliku zahvalnost.

Osim ovog Dela 1-1 Evrokoda 2, prva faza Projekta obuhvata prevođenje i objavljivanje još 4 dela Evrokodova za konstrukcije: Evrokod O: Osnove proračuna konstrukcija, Deo 1-1 i Deo 1-8 Evrokoda 3: Proračun čeličnih konstrukcija i Deo 1-1 Evrokoda 4: Proračun spregnutih konstrukcija od čelika i betona. Svi ti Evrokodovi biće predstavljeni našim graditeljima na seminarima koji će se u toku marta meseca 2006. godine održati u Beogradu, Novom Sadu, Nišu i Podgorici.

Prema Pravilima Evropskog komiteta za standardizaciju **CEN**, zemlje članice CEN-a (od 01. januara 2006. to su 29 zemalja Evrope) obavezne su da svaki Evropski standard **EN**, u roku od godinu dana od usvajanja, doslovno prevedu na svoj jezik ili da odobre njegovu primenu u svojoj zemlji na jednom od zvaničnih jezika CEN-a: engleskom, francuskom ili nemačkom, bez ikakvih izmena u odnosu na originalni tekst. Izuzetno, pojedine odredbe koje se odnose na specifične uslove u pojedinim zemljama, kao što su opterećenja od snega i vetra, ili seizmička dejstva, kao i neke odredbe vezane za sigurnost i trajnost konstrukcija, svaka zemlja može da usvoji prema svojim uslovima i okolnostima, u posebnom **Nacionalnom aneksu**. Do kraja 2006. godine CEN planira da završi konverziju Evrokodova iz faze neobaveznih Evropskih predstandarda **ENV** u obavezne Evropske standarde **EN**. Predviđa se da će biti blizu 60 delova Evrokodova za konstrukcije, za sve vrste konstrukcija od različitih građevinskih materijala, i preko 500 Evropskih standarda za građevinske materijale i proizvode. Sledeće 3 godine je period koegzistencije, kada mogu paralelno da se koriste i novi Evropski i važeći nacionalni standardi, a 2010. godine u zemljama članicama moraće da se stave van snage svi nacionalni standardi koji nisu saglasni sa Evropskim standardima.

Detaljniji podaci o istorijatu, sadržaju, ciljevima i oblasti primene **EVROKODOVA ZA KONSTRUKCIJE** mogu se naći u prevodu predgovora ovog standarda, na stranicama koje slede.

Bez obzira što Srbija i Crna Gora još nije član CEN-a, usvajanje Evropskih standarda je uslov za ulazak u Evropske integracije i otuda proizilazi ogroman značaj usvajanja Evrokodova za konstrukcije za mogućnost povratka našeg građevinarstva na pozicije na kojima smo nekada bili, i koje bismo želeli da ponovo zauzmemo, kao i dugogodišnje opredeljenje Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu i Jugoslovenskog društva građevinskih konstruktera da se tog velikog posla poduhvate.

Prevod ovog Evropskog standarda na srpski jezik predat je odgovarajućim Komisijama Zavoda za standardizaciju Srbije i Crne Gore i može se sa sigurnošću očekivati da će u relativno kratkom vremenu biti i formalno odobren za primenu kao naš nacionalni standard.

Beograd, februar 2006.

**PROJEKTNI TIM**

---

**NAPOMENA:** Ovaj prevod Evropskog standarda ne može se koristiti za druge namene.  
Obrađivači ne snose nikakvu odgovornost za njegovu neovlašćenu primenu.



ICS 91.010.30; 91.080.40

Zamenjuje ENV 1992-1-1:1991, ENV 1992-1-3:1994, ENV 1992-1-4:1994, ENV 1992-1-5:1994, ENV 1992-1-6:1994, ENV 1992-3:1998

**Evrokod 2: PRORAČUN**  
**BETONSKIH KONSTRUKCIJA**  
**Deo 1-1: OPŠTA PRAVILA I PRAVILA ZA ZGRADE**

**Eurocode 2:** Design of concrete structures  
**Part 1-1:** General rules and rules for buildings

**Eurocode 2:** Calcul des structures en béton  
**Partie 1-1:** Règles générales et règles pour les bâtiments

**Eurocode 2:** Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken  
**Teil 1-1:** Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau

Ovaj Evropski standard odobrio je Evropski komitet za standardizaciju **CEN** (*European Committee for Standardization*) 16. aprila 2004.

Članice CEN-a obavezne su da se pridržavaju Internih pravila **CEN/CENELEC**-a, prema kojima ovom Evropskom standardu moraju da daju status nacionalnog standarda, bez ikakvih promena. Najnoviji podaci i bibliografske reference za takve nacionalne standarde mogu da se dobiju ako se zatraže od Centralnog sekretarijata (*Central Secretariat*) ili od članica CEN-a.

Ovaj Evropski standard postoji u tri službene verzije (na engleskom, francuskom i nemačkom). Verzija na nekom drugom jeziku, prevedena uz odgovornost članice CEN-a na njen sopstveni jezik, i prijavljena Centralnom sekretarijatu, ima isti status kao službene verzije.

Članice CEN-a su nacionalne organizacije za standarde: Austrije, Belgije, Češke Republike, Danske, Estonije, Finske, Francuske, Grčke, Holandije, Irske, Islanda, Italije, Kipra, Letonije, Litvanije, Luksemburga, Malte, Mađarske, Nemačke, Norveške, Poljske, Portugalije, Slovačke, Slovenije, Španije, Švajcarske, Švedske i Ujedinjenog Kraljevstva.



**EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION**  
**COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION**  
**EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG**

**EVROPSKI KOMITET ZA STANDARDIZACIJU**  
**Management Centre: rue de Stassart, 36 B-Brussels**

## SADRŽAJ

<b>PREDGOVOR</b>	<b>11</b>
· Istorijat programa Evrokodova za konstrukcije	11
· Status i oblast primene Evrokodova	12
· Nacionalni standardi kojima se uvode Evrokodovi	13
· Veze između Evrokodova i harmonizovanih tehničkih specifikacija (EN i ETA) za građevinske proizvode	13
· Dodatne informacije specifične za EN 1992-1-1	13
· Nacionalni aneks za EN 1992-1-1	14
<b>1. UVODNE ODREDBE</b>	<b>15</b>
<b>1.1 Oblast primene</b>	<b>15</b>
1.1.1 Oblast primene Evrokoda 2	15
1.1.2 Oblast primene Dela 1-1 Evrokoda 2	15
<b>1.2 Normativne reference</b>	<b>16</b>
1.2.1 Opšti referentni standardi	16
1.2.2 Drugi referentni standardi	17
<b>1.3 Pretpostavke</b>	<b>17</b>
<b>1.4 Razlika između principa i pravila za primenu</b>	<b>17</b>
<b>1.5 Definicije</b>	<b>17</b>
1.5.1 Opšta odredba	17
1.5.2 Dodatni pojmovi i definicije koje se koriste u ovom standardu	17
1.5.2.1 Prefabrikovane konstrukcije	17
1.5.2.2 Nearmirani ili slabo armirani betonski elementi	18
1.5.2.3 Kablovi bez prianjanja sa betonom i spoljašnji kablovi za prethodno naprezanje	18
1.5.2.4 Prethodno naprezanje	18
<b>1.6 Oznake</b>	<b>18</b>
· Velika slova latinice	18
· Mala slova latinice	19
· Mala grčka slova	21
<b>2. OSNOVE PRORAČUNA</b>	<b>23</b>
<b>2.1 Zahtevi</b>	<b>23</b>
2.1.1 Osnovni zahtevi	23
2.1.2 Upravljanje pouzdanošću	23
2.1.3 Proračunski eksploatacioni vek, trajnost i upravljanje kvalitetom	23
<b>2.2 Principi proračuna prema graničnim stanjima</b>	<b>23</b>
<b>2.3 Osnovne promenljive</b>	<b>24</b>
2.3.1 Dejstva i uticaji sredine	24
2.3.1.1 Opšta odredba	24
2.3.1.2 Termički uticaji	24
2.3.1.3 Diferencijalna sleganja/pomeranja	24
2.3.1.4 Prethodno naprezanje	25
2.3.2 Svojstva materijala i proizvoda	25
2.3.2.1 Opšte odredbe	25
2.3.2.2 Skupljanje i tečenje	25
2.3.3 Deformacije betona	26
2.3.4 Geometrijski podaci	26
2.3.4.1 Opšta odredba	26
2.3.4.2 Dodatni zahtevi za šipove betonirane na licu mesta	26
<b>2.4 Proračun metodom parcijalnih koeficijenata</b>	<b>27</b>

2.4.1	Opšta odredba	27
2.4.2	Proračunske vrednosti	27
2.4.2.1	Parcijalni koeficijent za dejstvo skupljanja	27
2.4.2.2	Parcijalni koeficijenti za prethodno naprezanje	27
2.4.2.3	Parcijalni koeficijent za opterećenja na zamor	27
2.4.2.4	Parcijalni koeficijenti za materijale	27
2.4.2.5	Parcijalni koeficijenti za materijale za temelje	28
2.4.3	Kombinacije dejstava	28
2.4.4	Proračun statičke ravnoteže	28
<b>2.5</b>	<b>Proračun na osnovu rezultata ispitivanja</b>	<b>29</b>
<b>2.6</b>	<b>Dodatni zahtevi za temelje</b>	<b>29</b>
<b>2.7</b>	<b>Zahtevi za elemente za pričvršćivanje na beton</b>	<b>29</b>
<b>3.</b>	<b>MATERIJALI</b>	<b>30</b>
<b>3.1</b>	<b>Beton</b>	<b>30</b>
3.1.1	Opšte odredbe	30
3.1.2	Čvrstoća	30
3.1.3	Elastična deformacija	33
3.1.4	Tečenje i skupljanje	33
3.1.5	Dijagram napon-dilatacija za nelinearnu analizu konstrukcija	36
3.1.6	Proračunske čvrstoće pri pritisku i pri zatezanju	37
3.1.7	Dijagrami napon-dilatacija za proračun poprečnih preseka	38
3.1.8	Čvrstoća pri zatezanju savijanjem	39
3.1.9	Utegnuti beton	40
<b>3.2</b>	<b>Čelik za armaturu</b>	<b>40</b>
3.2.1	Opšte odredbe	40
3.2.2	Svojstva	41
3.2.3	Čvrstoća	42
3.2.4	Karakteristike duktilnosti	42
3.2.5	Zavarivanje	43
3.2.6	Zamor	44
3.2.7	Proračunske pretpostavke	44
<b>3.3</b>	<b>Čelik za prethodno naprezanje</b>	<b>45</b>
3.3.1	Opšte odredbe	45
3.3.2	Svojstva	46
3.3.3	Čvrstoća	47
3.3.4	Karakteristike duktilnosti	48
3.3.5	Zamor	48
3.3.6	Proračunske pretpostavke	48
3.3.7	Kablovi za prethodno naprezanje u zaštitnim oblogama	49
<b>3.4</b>	<b>Konstruktivski elementi sistema za prethodno naprezanje</b>	<b>49</b>
3.4.1	Ankeri i nastavci	49
3.4.1.1	Opšte odredbe	49
3.4.1.2	Mehanička svojstva	50
3.4.1.2.1	Ankerovani kablovi	50
3.4.1.2.2	Ankeri i zone ankerovanja	50
3.4.2	Spoljašnji kablovi bez prijanjanja sa betonom	50
3.4.2.1	Opšte odredbe	50
3.4.2.2	Ankeri	50
<b>4.</b>	<b>TRAJNOST I ZAŠTITNI SLOJ BETONA DO ARMATURE</b>	<b>51</b>
<b>4.1</b>	<b>Opšte odredbe</b>	<b>51</b>
<b>4.2</b>	<b>Uslovi sredine</b>	<b>51</b>
<b>4.3</b>	<b>Zahtevi za obezbeđenje trajnosti</b>	<b>53</b>
<b>4.4</b>	<b>Metode proračuna</b>	<b>53</b>

# EN 1992-1-1:2004

4.4.1	Zaštitni sloj betona	53
4.4.1.1	Opšte odredbe	53
4.4.1.2	Minimalni zaštitni sloj, $c_{min}$	54
4.4.1.3	Vođenje računa u proračunu o odstupanjima u izvođenju	57
<b>5.</b>	<b>ANALIZA KONSTRUKCIJA</b>	<b>58</b>
<b>5.1</b>	<b>Opšte odredbe</b>	<b>58</b>
5.1.1	Opšti zahtevi	58
5.1.2	Posebni zahtevi za temelje	59
5.1.3	Slučajevi opterećenja i kombinacije dejstava	59
5.1.4	Utjecaji drugog reda	59
<b>5.2</b>	<b>Geometrijske imperfekcije</b>	<b>59</b>
<b>5.3</b>	<b>Idealizacija konstrukcije</b>	<b>62</b>
5.3.1	Konstrukcijski modeli za globalnu analizu	62
5.3.2	Geometrijski podaci	62
5.3.2.1	Efektivna širina flanši (sva granična stanja)	62
5.3.2.2	Efektivni rasponi greda i ploča u zgradama	63
<b>5.4</b>	<b>Linearna elastična analiza</b>	<b>65</b>
<b>5.5</b>	<b>Linearna elastična analiza sa ograničenom preraspodelom</b>	<b>65</b>
<b>5.6</b>	<b>Plastična analiza</b>	<b>66</b>
5.6.1	Opšte odredbe	66
5.6.2	Plastična analiza greda, ramova i ploča	66
5.6.3	Kapacitet rotacije	67
5.6.4	Analiza primenom modela sa pritisnutim štapovima i zategama	68
<b>5.7</b>	<b>Nelinearna analiza</b>	<b>69</b>
<b>5.8</b>	<b>Analiza uticaja drugog reda sa aksijalnim opterećenjem</b>	<b>69</b>
5.8.1	Definicije	69
5.8.2	Opšte odredbe	70
5.8.3	Uprošćeni kriterijumi za uticaje drugog reda	70
5.8.3.1	Kriterijum vitkosti za izdvojene elemente	70
5.8.3.2	Vitkost i efektivna dužina izdvojenih elemenata	71
5.8.3.3	Globalni uticaji drugog reda u zgradama	73
5.8.4	Tečenje	73
5.8.5	Metode analize	74
5.8.6	Generalna metoda	75
5.8.7	Metoda u kojoj se koristi nominalna krutost	75
5.8.7.1	Opšte odredbe	75
5.8.7.2	Nominalna krutost	75
5.8.7.3	Koeficijent povećanja momenta	77
5.8.8	Metoda u kojoj se koristi nominalna krivina	77
5.8.8.1	Opšte odredbe	77
5.8.8.2	Momenti savijanja	78
5.8.8.3	Krivina	78
5.8.9	Biaksijalno savijanje	79
<b>5.9</b>	<b>Bočna nestabilnost vitkih greda</b>	<b>81</b>
<b>5.10</b>	<b>Prethodno napregnuti elementi i konstrukcije</b>	<b>81</b>
5.10.1	Opšte odredbe	81
5.10.2	Sila prethodnog naprezanja za vreme zatezanja	82
5.10.2.1	Maksimalna sila zatezanja	82
5.10.2.2	Ograničenje napona u betonu	83
5.10.2.3	Merenja	83
5.10.3	Sila prethodnog naprezanja	83
5.10.4	Trenutni gubici prethodnog naprezanja pri prethodnom zatezanju kablova	85
5.10.5	Trenutni gubici prethodnog naprezanja pri naknadnom zatezanju kablova	85
5.10.5.1	Gubici usled trenutnih deformacija betona	85

5.10.5.2	Gubici usled trenja	85
5.10.5.3	Gubici u ankerima	86
5.10.6	Gubici prethodnog naprezanja koji zavise od vremena pri prethodnom i pri naknadnom zatezanju kablova	86
5.10.7	Uzimanje u obzir prethodnog naprezanja u analizi konstrukcija	87
5.10.8	Utjecaji prethodnog naprezanja u graničnom stanju nosivosti	88
5.10.9	Utjecaji prethodnog naprezanja u graničnom stanju upotrebljivosti i graničnom stanju zamora	88
<b>5.11</b>	<b>Analiza nekih posebnih konstrukcijskih elemenata</b>	<b>88</b>
<b>6.</b>	<b>GRANIČNA STANJA NOSIVOSTI</b>	<b>89</b>
<b>6.1</b>	<b>Savijanje sa ili bez aksijalne sile</b>	<b>89</b>
<b>6.2</b>	<b>Smicanje</b>	<b>90</b>
6.2.1	Generalni postupak proračuna	90
6.2.2	Elementi u kojima nije potrebna proračunska armatura za smicanje	91
6.2.3	Elementi u kojima je potrebna proračunska armatura za smicanje	94
6.2.4	Smicanje između rebra i flanši u T-presecima	97
6.2.5	Smicanje na kontaktu betona ugrađenih u različito vreme	98
<b>6.3</b>	<b>Torzija</b>	<b>101</b>
6.3.1	Opšte odredbe	101
6.3.2	Postupak proračuna	101
6.3.3	Ograničena torzija	103
<b>6.4</b>	<b>Probijanje</b>	<b>103</b>
6.4.1	Opšte odredbe	103
6.4.2	Raspodela opterećenja i osnovni kontrolni obim	104
6.4.3	Proračun napona smicanja od probijanja	107
6.4.4	Nosivost pri smicanju od probijanja ploča ili stopa stubova bez armature za smicanje	111
6.4.5	Nosivost pri smicanju od probijanja ploča ili stopa stubova sa armaturom za smicanje	112
<b>6.5</b>	<b>Proračun korišćenjem modela sa pritisnutim štapovima i zategama</b>	<b>113</b>
6.5.1	Opšta odredba	113
6.5.2	Pritisnuti štapovi	114
6.5.3	Zatege	114
6.5.4	Čvorovi	115
<b>6.6</b>	<b>Ankerovanje i nastavljanje preklapanjem</b>	<b>118</b>
<b>6.7</b>	<b>Lokalno opterećenje</b>	<b>118</b>
<b>6.8</b>	<b>Zamor</b>	<b>119</b>
6.8.1	Uslovi za proveru	119
6.8.2	Sile u preseku i naponi za proračun na zamor	119
6.8.3	Kombinacije dejstava	120
6.8.4	Postupak proračuna armature i čelika za prethodno naprezanje	121
6.8.5	Proračun na osnovu amplitude napona za ekvivalentno oštećenje od zamora	122
6.8.6	Drugi proračuni	123
6.8.7	Proračun betona pri pritisku ili pri smicanju	124
<b>7.</b>	<b>GRANIČNA STANJA UPOTREBLJIVOSTI</b>	<b>126</b>
<b>7.1</b>	<b>Opšte odredbe</b>	<b>126</b>
<b>7.2</b>	<b>Ograničenje napona</b>	<b>126</b>
<b>7.3</b>	<b>Kontrola prslina</b>	<b>127</b>
7.3.1	Opšta razmatranja	127
7.3.2	Minimalne površine armature	128
7.3.3	Kontrola prslina bez direktnog proračuna	131
7.3.4	Proračun širine prslina	132

# EN 1992-1-1:2004

<b>7.4</b>	<b>Kontrola ugiba</b>	<b>135</b>
7.4.1	Opšta razmatranja	135
7.4.2	Slučajevi kada se proračuni mogu izostaviti	135
7.4.3	Provera ugiba proračunom	137
<b>8.</b>	<b>KONSTRUKCIJSKI DETALJI ARMATURE I KABLOVA ZA PRETHODNO NAPREZANJE - OPŠTE ODREDBE</b>	<b>140</b>
<b>8.1</b>	<b>Opšte odredbe</b>	<b>140</b>
<b>8.2</b>	<b>Rastojanje šipki</b>	<b>140</b>
<b>8.3</b>	<b>Dopušteni prečnici valjaka za savijanje šipki</b>	<b>140</b>
<b>8.4</b>	<b>Ankerovanje podužne armature</b>	<b>141</b>
8.4.1	Opšte odredbe	141
8.4.2	Granična vrednost napona prijanjanja betona i čelika	142
8.4.3	Osnovna dužina ankerovanja	143
8.4.4	Proračunska dužina ankerovanja	144
<b>8.5</b>	<b>Ankerovanje uzengija i armature za smicanje</b>	<b>146</b>
<b>8.6</b>	<b>Ankerovanje sa zavarenim šipkama</b>	<b>146</b>
<b>8.7</b>	<b>Nastavljanje preklapanjem i mehanički nastavci</b>	<b>147</b>
8.7.1	Opšta odredba	147
8.7.2	Preklapanje	148
8.7.3	Dužina preklapanja	148
8.7.4	Poprečna armatura u zoni preklapanja	149
8.7.4.1	Poprečna armatura za zategnute šipke	149
8.7.4.2	Poprečna armatura za stalno pritisnute šipke	150
8.7.5	Nastavljanje preklapanjem zavarenih armaturnih mreža od rebrastih žica	150
8.7.5.1	Nastavljanje preklapanjem glavne armature	150
8.7.5.2	Nastavljanje preklapanjem sekundarne ili podeone armature	151
<b>8.8</b>	<b>Dodatna pravila za šipke velikih prečnika</b>	<b>152</b>
<b>8.9</b>	<b>Šipke u svežnjevima</b>	<b>153</b>
8.9.1	Opšte odredbe	153
8.9.2	Ankerovanje svežnjeva šipki	154
8.9.3	Nastavljanje preklapanjem svežnjeva šipki	154
<b>8.10</b>	<b>Kablovi za prethodno naprezanje</b>	<b>155</b>
8.10.1	Raspored kablova za prethodno naprezanje i cevi za kablove	155
8.10.1.1	Opšta odredba	155
8.10.1.2	Kablovi koji se prethodno zatežu	155
8.10.1.3	Cevi za kablove koji se naknadno zatežu	155
8.10.2	Ankerovanje kablova koji se prethodno zatežu	156
8.10.2.1	Opšta odredba	156
8.10.2.2	Prenošenje sile prethodnog naprezanja	157
8.10.2.3	Ankerovanje sile zatezanja u graničnom stanju nosivosti	158
8.10.3	Zone ankerovanja u elementima u kojima se kablovi naknadno zatežu	159
8.10.4	Ankeri i nastavci za kablove za prethodno naprezanje	159
8.10.5	Devijatori	160
<b>9.</b>	<b>KONSTRUKCIJSKI DETALJI ELEMENATA I POSEBNA PRAVILA</b>	<b>161</b>
<b>9.1</b>	<b>Opšte odredbe</b>	<b>161</b>
<b>9.2</b>	<b>Grede</b>	<b>161</b>
9.2.1	Podužna armatura	161
9.2.1.1	Minimalne i maksimalne površine armature	161
9.2.1.2	Drugi konstrukcijski detalji	162

9.2.1.3	Prekidanje podužne zategnute armature	162
9.2.1.4	Ankerovanje donje armature na krajnjim osloncima	163
9.2.1.5	Ankerovanje donje armature na srednjim osloncima	164
9.2.2	Armatura za smicanje	165
9.2.3	Armatura za torziju	166
9.2.4	Površinska armatura	167
9.2.5	Indirektni oslonci	167
<b>9.3</b>	<b>Pune ploče</b>	<b>167</b>
9.3.1	Armatura za savijanje	168
9.3.1.1	Opšte odredbe	168
9.3.1.2	Armatura u pločama u blizini oslonaca	168
9.3.1.3	Armatura u uglovima ploča	168
9.3.1.4	Armatura na slobodnim ivicama	168
9.3.2	Armatura za smicanje	169
<b>9.4</b>	<b>Ravne ploče</b>	<b>169</b>
9.4.1	Ploča nad unutrašnjim stubovima	169
9.4.2	Ploča nad ivičnim i ugaonim stubovima	170
9.4.3	Armatura za smicanje od probijanja	170
<b>9.5</b>	<b>Stubovi</b>	<b>171</b>
9.5.1	Opšta odredba	171
9.5.2	Podužna armatura	172
9.5.3	Poprečna armatura	172
<b>9.6</b>	<b>Zidovi</b>	<b>173</b>
9.6.1	Opšta odredba	173
9.6.2	Vertikalna armatura	173
9.6.3	Horizontalna armatura	173
9.6.4	Poprečna armatura	173
<b>9.7</b>	<b>Visoki nosači</b>	<b>174</b>
<b>9.8</b>	<b>Temelji</b>	<b>174</b>
9.8.1	Stope na šipovima	174
9.8.2	Temeljne stope stubova i zidova	175
9.8.2.1	Opšte odredbe	175
9.8.2.2	Ankerovanje šipki	175
9.8.3	Temeljne grede/zatege	176
9.8.4	Temeljne stope stubova na steni	177
9.8.5	Bušeni šipovi	177
<b>9.9</b>	<b>Zone sa diskontinuitetima u geometriji ili u dejstvima</b>	<b>178</b>
<b>9.10</b>	<b>Sistemi povezivanja delova konstrukcije zategama</b>	<b>178</b>
9.10.1	Opšte odredbe	178
9.10.2	Raspored zatega i sile u zategama	179
9.10.2.1	Opšta odredba	179
9.10.2.2	Zatege po obimu konstrukcije	179
9.10.2.3	Unutrašnje zatege	179
9.10.2.4	Horizontalne zatege za stubove i/ili zidove	180
9.10.2.5	Vertikalne zatege	181
9.10.3	Kontinuitet i ankerovanje zatega	181
<b>10.</b>	<b>DODATNA PRAVILA ZA PREFABRIKOVANE BETONSKE ELEMENTE I KONSTRUKCIJE</b>	<b>182</b>
<b>10.1</b>	<b>Opšta odredba</b>	<b>182</b>
10.1.1	Posebni pojmovi korišćeni u ovoj glavi	182
<b>10.2</b>	<b>Osnove proračuna, fundamentalni zahtevi</b>	<b>183</b>
<b>10.3</b>	<b>Materijali</b>	<b>183</b>
10.3.1	Beton	183
10.3.1.1	Čvrstoća	183
10.3.1.2	Tečenje i skupljanje	183
10.3.2	Čelik za prethodno naprezanje	184

## EN 1992-1-1:2004

10.3.2.1	Tehnološka svojstva čelika za prethodno naprezanje	184
<b>10.5</b>	<b>Analiza konstrukcija</b>	<b>184</b>
10.5.1	Opšte odredbe	184
10.5.2	Gubici prethodnog naprezanja	185
<b>10.9</b>	<b>Posebna pravila za proračun i konstrukcijske detalje</b>	<b>185</b>
10.9.1	Momenti uklještenja u pločama	185
10.9.2	Veze zidova i međuspratnih ploča	185
10.9.3	Međuspratni konstrukcijski sistemi	186
10.9.4	Spojnice i oslonci prefabrikovanih elemenata	188
10.9.4.1	Materijali	188
10.9.4.2	Opšta pravila za proračun i konstrukcijske detalje spojnica	188
10.9.4.3	Spojnice koje prenose sile pritiska	189
10.9.4.4	Spojnice koje prenose sile smicanja	190
10.9.4.5	Spojnice koje prenose momente savijanja ili sile zatezanja	190
10.9.4.6	Oslanjanje greda preko ispuštenih kratkih elemenata	190
10.9.4.7	Ankerovanje armature na osloncima	190
10.9.5	Ležišta	191
10.9.5.1	Opšte odredbe	191
10.9.5.2	Ležišta za spojene (neizdvojene) elemente	192
10.9.5.3	Ležišta za izdvojene elemente	194
10.9.6	Fundiranje montažnih stubova u betonskim stopama	194
10.9.6.1	Opšta odredba	194
10.9.6.2	Čaše za montažne stubove sa orebrenim površinama	194
10.9.6.3	Čaše za montažne stubove sa glatkim površinama	194
10.9.7	Sistemi povezivanja zategama	195
<b>11.</b>	<b>BETONSKE KONSTRUKCIJE OD LAKOG AGREGATA</b>	<b>196</b>
<b>11.1</b>	<b>Opšti princip</b>	<b>196</b>
11.1.1	Oblast primene	196
11.1.2	Posebne oznake	196
<b>11.2</b>	<b>Osnove proračuna</b>	<b>196</b>
<b>11.3</b>	<b>Materijali</b>	<b>197</b>
11.3.1	Beton	197
11.3.2	Elastična deformacija	197
11.3.3	Tečenje i skupljanje	199
11.3.4	Dijagrami napon-deformacija za nelinearnu analizu konstrukcija	199
11.3.5	Proračunske čvrstoće pri pritisku i pri zatezanju	199
11.3.6	Dijagrami napon-dilatacija za proračun preseka	200
11.3.7	Utegnuti beton	200
<b>11.4</b>	<b>Trajnost i zaštitni sloj betona</b>	<b>200</b>
11.4.1	Uslovi sredine	200
11.4.2	Zaštitni sloj i svojstva betona	200
<b>11.5</b>	<b>Analiza konstrukcija</b>	<b>200</b>
11.5.1	Kapacitet rotacije	200
<b>11.6</b>	<b>Granična stanja nosivosti</b>	<b>201</b>
11.6.1	Elementi u kojima nije potrebna proračunska armatura za smicanje	201
11.6.2	Elementi u kojima je potrebna proračunska armatura za smicanje	201
11.6.3	Torzija	201
11.6.3.1	Postupak proračuna	201
11.6.4	Probijanje	202
11.6.4.1	Nosivost pri smicanju od probijanja ploča ili stopa stubova bez armature za smicanje	202
11.6.4.2	Nosivost pri smicanju od probijanja ploča ili stopa stubova sa armaturom za smicanje	202
11.6.5	Lokalno opterećenje	202

11.6.6	Zamor	203
<b>11.7</b>	<b>Granična stanja upotrebljivosti</b>	<b>203</b>
<b>11.8</b>	<b>Konstruktivski detalji armature – opšte odredbe</b>	<b>203</b>
11.8.1	Dopušteni prečnici valjaka za savijanje šipki	203
11.8.2	Granični napon prijanjanja	203
<b>11.9</b>	<b>Konstruktivski detalji elemenata i posebna pravila</b>	<b>203</b>
<b>11.10</b>	<b>Dodatna pravila za prefabrikovane betonske elemente i konstrukcije</b>	<b>203</b>
<b>11.12</b>	<b>Nearmirane i slabo armirane betonske konstrukcije</b>	<b>203</b>
<b>12.</b>	<b>NEARMIRANE I SLABO ARMIRANE BETONSKE KONSTRUKCIJE</b>	<b>204</b>
<b>12.1</b>	<b>Opšte odredbe</b>	<b>204</b>
<b>12.3</b>	<b>Materijali</b>	<b>204</b>
12.3.1	Beton: dodatne proračunske pretpostavke	205
<b>12.5</b>	<b>Analiza konstrukcija: granična stanja nosivosti</b>	<b>205</b>
<b>12.6</b>	<b>Granična stanja nosivosti</b>	<b>205</b>
12.6.1	Proračunska nosivost pri savijanju i aksijalnoj sili	205
12.6.2	Lokalni lom	206
12.6.3	Smicanje	206
12.6.4	Torzija	206
12.6.5	Granična stanja nosivosti usled deformacije konstrukcije (izvijanje)	207
12.6.5.1	Vitkost stubova i zidova	207
12.6.5.2	Uprošćena metoda proračuna za zidove i stubove	208
<b>12.7</b>	<b>Granična stanja upotrebljivosti</b>	<b>209</b>
<b>12.9</b>	<b>Konstruktivski detalji elemenata i posebna pravila</b>	<b>209</b>
12.9.1	Konstruktivski elementi	209
12.9.2	Nastavci betoniranja	209
12.9.3	Temeljne trake i temeljne stope	209

## ANEKSI

<b>A</b>	(Informativan)	<b>MODIFIKACIJA PARCIJALNIH KOEFICIJENATA ZA MATERIJALE</b>	<b>211</b>
<b>A.1</b>		<b>Opšte odredbe</b>	<b>211</b>
<b>A.2</b>		<b>Konstrukcije betonirane in-situ</b>	<b>211</b>
A.2.1		Smanjenje na osnovu kontrole kvaliteta i smanjenih tolerancija	211
A.2.2		Smanjenje na osnovu proračuna sa smanjenim ili merenim geometrijskim podacima	212
A.2.3		Smanjenje na osnovu utvrđivanja čvrstoće betona u završenoj konstrukciji	212
<b>A.3</b>		<b>Prefabrikovani proizvodi</b>	<b>214</b>
A.3.1		Opšta odredba	214
A.3.2		Parcijalni koeficijenti za materijale	214
<b>A.4</b>		<b>Prefabrikovani elementi</b>	<b>214</b>
<b>B</b>	(Informativan)	<b>DILATACIJE TEČENJA I SKUPLJANJA</b>	<b>215</b>
<b>B.1</b>		<b>Osnovne jednačine za određivanje koeficijenta tečenja</b>	<b>215</b>
<b>B.2</b>		<b>Osnovne jednačine za određivanje dilatacije skupljanja usled sušenja</b>	<b>216</b>
<b>C</b>	(Normativan)	<b>SVOJSTVA ARMATURE PODOBNE ZA PRIMENU PREMA OVOM EVROKODU</b>	<b>217</b>
<b>C.1</b>		<b>Opšta odredba</b>	<b>217</b>

## EN 1992-1-1:2004

	<b>C.2 Čvrstoća</b>	<b>219</b>
	<b>C.3 Podobnost za savijanje</b>	<b>219</b>
<b>D (Informativan)</b>	<b>DETALJNA METODA PRORAČUNA GUBITAKA USLED RELAKSACIJE ČELIKA ZA PRETHODNO NAPREZANJE</b>	<b>220</b>
	<b>D.1 Opšte odredbe</b>	<b>220</b>
<b>E (Informativan)</b>	<b>INDIKATIVNE KLASSE ČVRSTOĆE BETONA S OBZIROM NA TRAJNOST</b>	<b>222</b>
	<b>E.1 Opšte odredbe</b>	<b>222</b>
<b>F (Informativan)</b>	<b>PRORAČUN ZATEGNUTE ARMATURE ZA RAVNA STANJA NAPONA</b>	<b>223</b>
	<b>F.1 Opšte odredbe</b>	<b>223</b>
<b>G (Informativan)</b>	<b>INTERAKCIJA TLA I KONSTRUKCIJE</b>	<b>225</b>
	<b>G.1 Plitki fundamenti</b>	<b>225</b>
	G.1.1 Opšte odredbe	225
	G.1.2 Nivoi analize konstrukcije	226
	<b>G.2 Fundamenti na šipovima</b>	<b>226</b>
<b>H (Informativan)</b>	<b>GLOBALNI UTICAJI DRUGOG REDA U KONSTRUKCIJAMA</b>	<b>227</b>
	<b>H.1 Kriterijumi za zanemarivanje globalnih uticaja drugog reda</b>	<b>227</b>
	H.1.1 Opšta odredba	227
	H.1.2 Sistem za ukrućenje bez značajnih deformacija od smicanja	227
	H.1.3 Sistem za ukrućenje sa značajnim globalnim deformacijama od smicanja	228
	<b>H.2 Metode za proračun globalnih uticaja drugog reda</b>	<b>229</b>
<b>I (Informativan)</b>	<b>ANALIZA RAVNIH PLOČA I ZIDOVA ZA UKRUĆENJE OD SMICANJA</b>	<b>230</b>
	<b>I.1 Ravne ploče</b>	<b>230</b>
	I.1.1 Opšte odredbe	230
	I.1.2 Analiza metodom ekvivalentnih ramova	230
	I.1.3 Nepravilan raspored stubova	231
	<b>I.2 Zidovi za ukrućenje od smicanja</b>	<b>232</b>
<b>J (Informativan)</b>	<b>PRAVILA ZA KONSTRUKCIJSKE DETALJE ZA POSEBNE SLUČAJEVE</b>	<b>233</b>
	<b>J.1 Površinska armatura</b>	<b>233</b>
	<b>J.2 Uglovi ramova</b>	<b>234</b>
	J.2.1 Opšta odredba	234
	J.2.2 Uglovi ramova sa momentima savijanja koji izazivaju pritisak na unutrašnjoj konturi rama	234
	J.2.3 Uglovi ramova sa momentima savijanja koji izazivaju zatezanje na unutrašnjoj konturi rama	235
	<b>J.3 Kratki elementi</b>	<b>236</b>

## GLAVA 1

# UVODNE ODREDBE

### 1.1 OBLAST PRIMENE

#### 1.1.1 OBLAST PRIMENE EVROKODA 2

**(1)P** Evrokod 2 (*Eurocode 2*) primenjuje se za proračun zgrada i drugih građevinskih objekata (*buildings and civil engineering works*) od nearmiranog, armiranog i prethodno napregnutog betona. On je usaglašen sa principima i zahtevima za sigurnost i upotrebljivost konstrukcija i sa osnovama za njihov proračun i proveru koje su date u EN 1990: Osnove proračuna konstrukcija.

**(2)P** U Evrokodu 2 razmatraju se samo zahtevi koji se odnose na nosivost (*resistance*) (mehaničku otpornost), upotrebljivost (*serviceability*), trajnost (*durability*) i otpornost na požar (*fire resistance*) betonskih konstrukcija. Drugi zahtevi, na primer, oni koji se odnose na termičku ili zvučnu izolaciju, nisu razmatrani.

**(3)P** Evrokod 2 je namenjen da se koristi zajedno sa sledećim standardima:

**EN 1990:** Osnove proračuna konstrukcija (*Basis of structural design*)

**EN 1991:** Dejstva na konstrukcije (*Actions on structures*)

**hEN-ovi:** Harmonizovani Evropski standardi za građevinske proizvode relevantne za betonske konstrukcije  
(*Construction products relevant for concrete structures*)

**ENV 13670:** Izvođenje betonskih konstrukcija (*Execution of concrete structures*)

**EN 1997:** Geotehnički proračun (*Geotechnical design*)

**EN 1998:** Proračun seizmičke otpornosti konstrukcija, kada se betonske konstrukcije grade u seizmičkim područjima  
(*Design of structures for earthquake resistance, when concrete structures are built in seismic regions*).

**(4)P** Evrokod 2 je podeljen na sledeće delove:

**Deo 1-1:** Opšta pravila i pravila za zgrade (*General rules and rules for buildings*)

**Deo 1-2:** Proračun konstrukcija za dejstvo požara (*Structural fire design*)

**Deo 2:** Armiranobetonski i prethodno napregnuti betonski mostovi  
(*Reinforced and prestressed concrete bridges*)

**Deo 3:** Rezervoari i silosi (*Liquid retaining and containing structures*).

#### 1.1.2 OBLAST PRIMENE DELA 1-1 EVROKODA 2

**(1)P** Deo 1-1 Evrokoda 2 daje opšte osnove za proračun konstrukcija od nearmiranog, armiranog i prethodno napregnutog betona, spravljenog od agregata normalne zapremine mase i od lakog agregata, kao i specifična pravila za zgrade.

**(2)P** Deo 1 -1 obuhvata sledeće oblasti:

glava 1: Uvodne odredbe (*General*)

glava 2: Osnove proračuna (*Basis of design*)

glava 3: Materijali (*Materials*)

glava 4: Trajnost i zaštitni sloj betona do armature (*Durability and cover to reinforcement*)

glava 5: Analiza konstrukcija (*Structural analysis*)

## EN 1992-1-1:2004

- glava 6: Granična stanja nosivosti (*Ultimate limit states*) (*ULS*)
- glava 7: Granična stanja upotrebljivosti (*Serviceability limit states*) (*SLS*)
- glava 8: Konstrukcijski detalji armature i kablova za prethodno naprezanje – Opšte odredbe  
(*Detailing of reinforcement and prestressing tendons – General*)
- glava 9: Konstrukcijski detalji elemenata i posebna pravila  
(*Detailing of members and particular rules*)
- glava 10: Dodatna pravila za prefabrikovane betonske elemente i konstrukcije  
(*Additional rules for precast concrete elements and structures*)
- glava 11: Betonske konstrukcije od lakog agregata  
(*Lightweight aggregate concrete structures*)
- glava 12: Nearmirane i slabo armirane betonske konstrukcije  
(*Plain and lightly reinforced concrete structures*).

**(3)P** U glavama 1 i 2 date su odredbe kojima se dopunjavaju odredbe date u EN 1990: Osnove proračuna konstrukcija.

**(4)P** Ovaj Deo 1-1 ne obuhvata:

- korišćenje glatke armature;
- otpornost na dejstvo požara;
- posebne aspekte specijalnih vrsta zgrada (kao što su visoke zgrade) (*tall buildings*);
- posebne aspekte specijalnih vrsta građevinskih objekata, kao što su viadukti (*viaducts*), mostovi (*bridges*), brane (*dams*), reaktorski sudovi pod pritiskom (*pressure vessels*), platforme u moru (*offshore platforms*) ili rezervoari (*liquid-retaining structures*);
- elemente od betona bez finih frakcija agregata (*no-fine concrete*), betona sa uvučenim vazduhom (*aerated concrete*) i betona spravljenih sa teškim agregatom, kao i elemente sa preseccima od konstrukcijskog čelika (videti Evrokod 4 za spegnute konstrukcije od čelika i betona).

## 1.2 NORMATIVNE REFERENCE

**(1)P** Sledeći normativni dokumenti sadrže odredbe koje postaju sastavne odredbe ovog Evropskog standarda kada se on na njih poziva. Kada se radi o referentnim dokumentima koji su prestali da važe (*dated references*), eventualne kasnije promene ili revizije bilo kojeg od takvih dokumenata ne primenjuju se na ovaj standard. Međutim, potpisnici ugovornih dokumenata koji se zasnivaju na ovom Evropskom standardu podstiču se da istraže mogućnost primene najnovijih verzija normativnih dokumenata navedenih u daljem tekstu. Za referentne dokumente koji su u važnosti (*undated references*), važi poslednje izdanje normativnog dokumenta na koji se ovaj Evropski standard poziva.

### 1.2.1 OPŠTI REFERENTNI STANDARDI

- EN 1990:** Osnove proračuna konstrukcija (*Basis of structural design*)
- EN 1991-1-5:** Dejstva na konstrukcije: Termička dejstva  
(*Actions on structures: Thermal actions*)
- EN 1991-1-6:** Dejstva na konstrukcije: Dejstva u toku izvođenja  
(*Actions on structures: Actions during execution*).

## 1.2.2 DRUGI REFERENTNI STANDARDI

- EN 1997:** Geotehnički proračun (*Geotechnical design*)
- EN 197-1:** Cement: Sastav, tehničke specifikacije i kriterijumi za ocenu usaglašenosti za uobičajene cemente  
(*Cement: Composition, specification and conformity criteria for common cements*)
- EN 206-1:** Beton: Specifikacije, svojstva, proizvodnja i usaglašenost sa zahtevima  
(*Concrete: Specification, performance, production and conformity*)
- EN 12390:** Ispitivanje očvrstlog betona (*Testing hardened concrete*)
- EN 10080:** Čelik za armaturu za beton (*Steel for the reinforcement of concrete*)
- EN 10138:** Čelici za prethodno naprezanje (*Prestressing steels*)
- EN ISO 17760:** Dopušteni postupak zavarivanja armature  
(*Permitted welding process for reinforcement*)
- ENV 13670:** Izvođenje betonskih konstrukcija (*Execution of concrete structures*)
- EN 13791:** Ispitivanje betona (*Testing concrete*)
- EN ISO 15630:** Čelik za armaturu i prethodno naprezanje betona: Metode ispitivanja  
(*Steel for the reinforcement and prestressing of concrete: Test methods*).

## 1.3 PRETPOSTAVKE

**(1)P** Osim opštih pretpostavki koje su date u EN 1990, moraju da budu ispunjene i sledeće pretpostavke:

- Konstrukcije je proračunalo osoblje koje raspolaže potrebnom stručnošću i iskustvom.
- Adekvatan nadzor i kontrola kvaliteta obezbeđeni su u fabrikama, radionicama i na gradilištu.
- Konstrukciju izvodi osoblje koje raspolaže odgovarajućom veštinom i iskustvom.
- Građevinski materijali i proizvodi koriste se u skladu sa odredbama u ovom Evrokodu ili u odgovarajućim specifikacijama za materijale i proizvode.
- Konstrukcija će biti adekvatno održavana.
- Konstrukcija će se koristiti u skladu sa projektnim zadatkom.
- Ispunjeni su zahtevi za izvođenje (*workmanship*) dati u ENV 13670.

## 1.4 RAZLIKA IZMEĐU PRINCIPA I PRAVILA ZA PRIMENU

**(1)P** Važe pravila data u EN 1990.

## 1.5 DEFINICIJE

### 1.5.1 OPŠTA ODREDBA

**(1)P** Važe pojmovi i definicije date u EN 1990.

### 1.5.2 DODATNI POJMOVI I DEFINICIJE KOJE SE KORISTE U OVOM STANDARDU

**1.5.2.1 Prefabrikovane konstrukcije** (*Precast structures*). Prefabrikovane betonske konstrukcije karakterišu konstrukcijski elementi koji nisu proizvedeni u konačnom po-

ložaju u konstrukciji. U konstrukciji elementi se povezuju da bi se obezbedila zahtevana konstrukcijska celina.

- 1.5.2.2 Nearmirani ili slabo armirani betonski elementi** (*Plain or lightly reinforced concrete members*). Konstrukcijski betonski elementi bez armature (nearmirani beton) ili elementi koji imaju manje armature od minimalnih veličina definisanih u glavi 9.
- 1.5.2.3 Kablovi bez prijanjanja sa betonom i spoljašnji kablovi za prethodno napre-zanje** (*Unbonded and external tendons*). Kablovi za prethodno napre-zanje elemena-ta u kojima se kablovi naknadno zatežu u cevima koje ostaju trajno neinjektirane, i spoljašnji kablovi, koji su van betonskog preseka (oko kojih se posle zatez-anja može da ugradi beton, ili imaju zaštitnu oblogu).
- 1.5.2.4 Prethodno napre-zanje** (*Prestress*). Postupak prethodnog napre-zanja sastoji se u unošenju sila u betonsku konstrukciju zatezanjem kablova za prethodno napre-zanje u odnosu na betonski element. Pojam "prethodno napre-zanje" globalno se koristi da označi sve trajne uticaje postupka prethodnog napre-zanja, koji obuhva-taju sile u presecima i deformacije konstrukcije. Drugačiji načini prethodnog na-pre-zanja u ovom standardu nisu razmatrani.

## 1.6 OZNAKE

Za potrebe ovog standarda važe sledeće oznake:

**Napomena:** Oznake koje su korišćene zasnivaju se na ISO 3898:1987.

### VELIKA SLOVA LATINICE

<b>A</b>	incidentno dejstvo ( <i>accidental action</i> )
<b>A</b>	površina poprečnog preseka ( <i>cross sectional area</i> )
<b>A<sub>c</sub></b>	površina poprečnog preseka betona ( <i>cross sectional area of concrete</i> )
<b>A<sub>p</sub></b>	površina poprečnog preseka kabla ili kablova za prethodno napre-zanje ( <i>area of a prestressing tendon or tendons</i> )
<b>A<sub>s</sub></b>	površina poprečnog preseka armature ( <i>cross sectional area of reinforcement</i> )
<b>A<sub>s,min</sub></b>	minimalna površina poprečnog preseka armature ( <i>minimum cross sectional area of reinforcement</i> )
<b>A<sub>sw</sub></b>	površina poprečnog preseka armature za smicanje ( <i>cross sectional area of shear reinforcement</i> )
<b>D</b>	prečnik valjka za savijanje armature ( <i>diameter of mandrel</i> )
<b>D<sub>Ed</sub></b>	koeficijent oštećenja od zamora ( <i>fatigue damage factor</i> )
<b>E</b>	uticaj od dejstva ( <i>effect of action</i> )
<b>E<sub>c</sub>, E<sub>c(28)</sub></b>	tangentni modul elastičnosti betona normalne težine za napon $\sigma_c = 0$ u starosti od <b>28 dana</b> ( <i>tangent modulus of elasticity of normal weight concrete at a stress of <math>\sigma_c = 0</math> and at 28 days</i> )
<b>E<sub>c,eff</sub></b>	efektivni modul elastičnosti betona ( <i>effective modulus of elasticity of concrete</i> )
<b>E<sub>cd</sub></b>	proračunska vrednost modula elastičnosti betona ( <i>design value of modulus of elasticity of concrete</i> )
<b>E<sub>cm</sub></b>	sekantni modul elastičnosti betona ( <i>secant modulus of elasticity of concrete</i> )

<b><math>E_c(t)</math></b>	tangentni modul elastičnosti betona normalne težine za napon $\sigma_c$ u vremenu $t$ ( <i>tangent modulus of elasticity of normal weight concrete at a stress of <math>\sigma_c</math> and at time <math>t</math></i> )
<b><math>E_p</math></b>	proračunska vrednost modula elastičnosti čelika za prethodno naprezanje ( <i>design value of modulus of elasticity of prestressing steel</i> )
<b><math>E_s</math></b>	proračunska vrednost modula elastičnosti čelika za armaturu ( <i>design value of modulus of elasticity of reinforcing steel</i> )
<b><math>EI</math></b>	krutost na savijanje ( <i>bending stiffness</i> )
<b><math>EQU</math></b>	statička ravnoteža ( <i>static equilibrium</i> )
<b><math>F</math></b>	dejstvo ( <i>action</i> )
<b><math>F_d</math></b>	proračunska vrednost dejstva ( <i>design value of an action</i> )
<b><math>F_k</math></b>	karakteristična vrednost dejstva ( <i>characteristic value of an action</i> )
<b><math>G_k</math></b>	karakteristična vrednost stalnog dejstva ( <i>characteristic value of a permanent action</i> )
<b><math>GSN</math></b>	granično stanje nosivosti ( <i>ultimate limit state</i> ) (ULS)
<b><math>GSU</math></b>	granično stanje upotrebljivosti ( <i>serviceability limit state</i> ) (SLS)
<b><math>I</math></b>	momenat inercije površine betonskog preseka ( <i>second moment of area of concrete section</i> )
<b><math>L</math></b>	dužina ( <i>length</i> )
<b><math>M</math></b>	momenat savijanja ( <i>bending moment</i> )
<b><math>M_{Ed}</math></b>	proračunska vrednost momenta savijanja u preseku (unutrašnjeg momenta savijanja) ( <i>design value of the applied internal bending moment</i> )
<b><math>N</math></b>	aksijalna sila ( <i>axial force</i> )
<b><math>N_{Ed}</math></b>	proračunska vrednost aksijalne sile u preseku (unutrašnje aksijalne sile) (zatezanje ili pritisak) ( <i>design value of the applied axial force (tension or compression)</i> )
<b><math>P</math></b>	sila prethodnog naprezanja ( <i>prestressing force</i> )
<b><math>P_0</math></b>	početna sila na aktivnom kraju kabla, neposredno posle zatezanja ( <i>initial force at the active end of the tendon immediately after stressing</i> )
<b><math>Q_k</math></b>	karakteristična vrednost promenljivog dejstva ( <i>characteristic variable action</i> )
<b><math>Q_{fat}</math></b>	karakteristična vrednost opterećenja na zamor ( <i>characteristic fatigue load</i> )
<b><math>R</math></b>	nosivost (otpornost) ( <i>resistance</i> )
<b><math>S</math></b>	sile i momenti u preseku (unutrašnje sile i momenti) ( <i>internal forces and moments</i> )
<b><math>S</math></b>	statički momenat površine ( <i>first moment of area</i> )
<b><math>T</math></b>	momenat torzije ( <i>torsional moment</i> )
<b><math>T_{Ed}</math></b>	proračunska vrednost momenta torzije u preseku (unutrašnjeg momenta torzije) ( <i>design value of the applied torsional moment</i> )
<b><math>V</math></b>	sila smicanja ( <i>shear force</i> )
<b><math>V_{Ed}</math></b>	proračunska vrednost sile smicanja u preseku (unutrašnje sile smicanja) ( <i>design value of the applied shear force</i> )

#### **MALA SLOVA LATINICE**

<b><math>a</math></b>	rastojanje ( <i>distance</i> )
<b><math>a</math></b>	geometrijski podaci ( <i>geometrical data</i> )
<b><math>\Delta a</math></b>	tolerancija (dopušteno odstupanje geometrijskih podataka) ( <i>deviation for geometrical data</i> )
<b><math>b</math></b>	ukupna širina poprečnog preseka, ili aktivna sadejstvujuća širina flanše (ploče) grede <b>T</b> ili <b>L</b> preseka ( <i>overall width of a cross-section, or actual flange width in a T or L beam</i> )
<b><math>b_w</math></b>	širina rebra <b>T</b> , <b>I</b> ili <b>L</b> greda ( <i>width of the web on T, I or L beams</i> )

$d$	prečnik; visina preseka ( <i>diameter; depth</i> )
$d$	statička visina poprečnog preseka ( <i>effective depth of a cross-section</i> )
$d_g$	najveća nominalna dimenzija agregata ( <i>largest nominal maximum aggregate size</i> )
$e$	ekscentricitet ( <i>eccentricity</i> )
$f_c$	čvrstoća betona pri pritisku ( <i>compressive strength of concrete</i> )
$f_{cd}$	proračunska vrednost čvrstoće betona pri pritisku ( <i>design value of concrete compressive strength</i> )
$f_{ck}$	karakteristična vrednost čvrstoće betona pri pritisku na cilindar u starosti od <b>28 dana</b> ( <i>characteristic compressive cylinder strength of concrete at 28 days</i> )
$f_{cm}$	srednja vrednost čvrstoće betona pri pritisku na cilindar ( <i>mean value of concrete cylinder compressive strength</i> )
$f_{ctk}$	karakteristična vrednost čvrstoće betona pri aksijalnom zatezanju ( <i>characteristic axial tensile strength of concrete</i> )
$f_{ctm}$	srednja vrednost čvrstoće betona pri aksijalnom zatezanju ( <i>mean value of axial tensile strength of concrete</i> )
$f_p$	čvrstoća čelika za prethodno naprezanje pri zatezanju ( <i>tensile strength of prestressing steel</i> )
$f_{pk}$	karakteristična vrednost čvrstoće čelika za prethodno naprezanje pri zatezanju ( <i>characteristic tensile strength of prestressing steel</i> )
$f_{p0,1}$	granica razvlačenja (tečenja) čelika za prethodno naprezanje (napon pri kojem je nepovratna dilatacija 0,1%) ( <i>0,1% proof-stress of prestressing steel</i> )
$f_{p0,1k}$	karakteristična vrednost granice razvlačenja (tečenja) čelika za prethodno naprezanje (karakteristična vrednost napona pri kojem je nepovratna dilatacija 0,1%) ( <i>characteristic 0,1% proof-stress of prestressing steel</i> )
$f_{0,2k}$	karakteristična vrednost granice razvlačenja (tečenja) armature (karakteristična vrednost napona pri kojem je nepovratna dilatacija 0,2%) ( <i>characteristic 0,2% proof-stress of reinforcement</i> )
$f_t$	čvrstoća pri zatezanju armature ( <i>tensile strength of reinforcement</i> )
$f_{tk}$	karakteristična vrednost čvrstoće pri zatezanju armature ( <i>characteristic tensile strength of reinforcement</i> )
$f_y$	granica razvlačenja (tečenja) armature ( <i>yield strength of reinforcement</i> )
$f_{yd}$	proračunska vrednost granice razvlačenja (tečenja) armature ( <i>design yield strength of reinforcement</i> )
$f_{yk}$	karakteristična vrednost granice razvlačenja (tečenja) armature ( <i>characteristic yield strength of reinforcement</i> )
$f_{ywd}$	proračunska vrednost granice razvlačenja (tečenja) armature za smicanje ( <i>design yield strength of stirrups</i> )
$h$	visina ( <i>height</i> )
$h$	ukupna visina poprečnog preseka ( <i>overall depth of a cross-section</i> )
$i$	poluprečnik inercije ( <i>radius of gyration</i> )
$k$	koeficijent; faktor ( <i>coefficient; factor</i> )
$l$	(ili $L$ ) dužina; raspon ( <i>length; span</i> )
$m$	masa ( <i>mass</i> )
$r$	poluprečnik ( <i>radius</i> )
$1/r$	krivina u posmatranom preseku ( <i>curvature at a particular section</i> )
$t$	debljina ( <i>thickness</i> )
$t$	posmatrani trenutak vremena ( <i>time being considered</i> )
$t_0$	starost betona u trenutku opterećenja ( <i>the age of concrete at the time of loading</i> )
$u$	obim (perimetar) poprečnog preseka betona čija je površina $A_c$ ( <i>perimeter of concrete cross-section, having area <math>A_c</math></i> )

$u, v, w$	komponente pomeranja tačke ( <i>components of the displacement of a point</i> )
$x$	položaj (visina) neutralne ose u preseku ( <i>neutral axis depth</i> )
$x, y, z$	koordinatne ( <i>coordinates</i> )
$z$	krak unutrašnjih sila ( <i>lever arm of internal forces</i> )

### MALA GRČKA SLOVA

$\alpha$	ugao; odnos ( <i>angle; ratio</i> )
$\beta$	ugao; odnos; koeficijent ( <i>angle; ratio; coefficient</i> )
$\gamma$	parcijalni koeficijent ( <i>partial factor</i> )
$\gamma_A$	parcijalni koeficijent za incidentna dejstva <b>A</b> ( <i>partial factors for accidental actions, A</i> )
$\gamma_C$	parcijalni koeficijent za beton ( <i>partial factor for concrete</i> )
$\gamma_F$	parcijalni koeficijent za dejstva <b>F</b> ( <i>partial factor for actions, F</i> )
$\gamma_{F,fat}$	parcijalni koeficijent za dejstva na zamor ( <i>partial factor for fatigue actions</i> )
$\gamma_{C,fat}$	parcijalni koeficijent za zamor betona ( <i>partial factor for fatigue of concrete</i> )
$\gamma_G$	parcijalni koeficijent za stalna dejstva <b>G</b> ( <i>partial factor for permanent actions, G</i> )
$\gamma_M$	parcijalni koeficijent za svojstvo materijala, uzimajući u obzir nepouzdanosti u samom svojstvu materijala, u geometrijskom odstupanju i u proračunskom modelu koji se koristi ( <i>partial factor for a material property, taking account of uncertainties in the material property itself, in geometric deviation and in the design model used</i> )
$\gamma_P$	parcijalni koeficijent za dejstva od prethodnog napreznja <b>P</b> ( <i>partial factor for actions associated with prestressing, P</i> )
$\gamma_Q$	parcijalni koeficijent za promenljiva dejstva <b>Q</b> ( <i>partial factor for variable actions, Q</i> )
$\gamma_S$	parcijalni koeficijent za čelik za armaturu ili za prethodno napreznje ( <i>partial factor for reinforcing or prestressing steel</i> )
$\gamma_{S,fat}$	parcijalni koeficijent za čelik za armaturu ili za prethodno napreznje za opterećenje na zamor ( <i>partial factor for reinforcing or prestressing steel under fatigue loading</i> )
$\gamma_f$	parcijalni koeficijent za dejstva, ne uzimajući u obzir nepouzdanosti u proračunskom modelu ( <i>partial factor for actions without taking account of model uncertainties</i> )
$\gamma_g$	parcijalni koeficijent za stalna dejstva, ne uzimajući u obzir nepouzdanosti u proračunskom modelu ( <i>partial factor for permanent actions without taking account of model uncertainties</i> )
$\gamma_m$	parcijalni koeficijent za svojstvo materijala, uzimajući u obzir samo nepouzdanosti u svojstvu materijala ( <i>partial factors for a material property, taking account only of uncertainties in the material property</i> )
$\delta$	increment (priraštaj) neke veličine/odnos preraspodele ( <i>increment/redistribution ratio</i> )
$\zeta$	redukциони koeficijent /koeficijent raspodele ( <i>reduction factor/distribution coefficient</i> )
$\varepsilon_c$	dilatacija betona pri pritisku ( <i>compressive strain in the concrete</i> )
$\varepsilon_{c1}$	dilatacija betona pri najvećem naponu pritiska $f_c$ ( <i>compressive strain in the concrete at the peak stress <math>f_c</math></i> )
$\varepsilon_{cu}$	granična dilatacija betona pri pritisku ( <i>ultimate compressive strain in the concrete</i> )

$\varepsilon_u$	dilatacija armature ili čelika za prethodno naprezanje pri maksimalnom opterećenju ( <i>strain of reinforcement or prestressing steel at maximum load</i> )
$\varepsilon_{uk}$	karakteristična vrednost dilatacije armature ili čelika za prethodno naprezanje pri maksimalnom opterećenju ( <i>characteristic strain of reinforcement or prestressing steel at maximum load</i> )
$\theta$	ugao ( <i>angle</i> )
$\lambda$	vitkost ( <i>slenderness ratio</i> )
$\mu$	koeficijent trenja između kablova i cevi ili kanala za kablove ( <i>coefficient of friction between the tendons and their ducts</i> )
$\nu$	Poasonov koeficijent (odnos) ( <i>Poisson's ratio</i> )
$\nu$	koeficijent redukcije čvrstoće betona sa prslinama od smicanja ( <i>strength reduction factor for concrete cracked in shear</i> )
$\xi$	odnos graničnih vrednosti napona prijanjanja čelika za prethodno naprezanje i čelika za armaturu ( <i>ratio of bond strength of prestressing and reinforcing steel</i> )
$\rho$	zapreminska masa betona posle sušenja u peći u $\text{kg/m}^3$ ( <i>oven-dry density of concrete in <math>\text{kg/m}^3</math></i> )
$\rho_{1000}$	gubitak napona usled relaksacije ( $\text{u}\%$ ), posle <b>1000 časova</b> od zatezanja, na srednjoj temperaturi od <b>20°C</b> ( <i>value of relaxation loss in %, at 1000 hours after tensioning and at a mean temperature of 20°C</i> )
$\rho_l$	odnos površine podužne armature i površine betonskog preseka (koeficijent armature) (izražen u procentima označava procenat površine podužne armature u betonskom preseku) ( <i>reinforcement ratio for longitudinal reinforcement</i> )
$\rho_w$	odnos površine armature za smicanje i površine betona (koeficijent armature za smicanje) (izražen u procentima označava procenat površine armature za smicanje u betonu) ( <i>reinforcement ratio for shear reinforcement</i> )
$\sigma_c$	napon pritiska u betonu ( <i>compressive stress in the concrete</i> )
$\sigma_{cp}$	napon pritiska u betonu od aksijalne sile prethodnog naprezanja ( <i>compressive stress in the concrete from axial load of prestressing</i> )
$\sigma_{cu}$	napon pritiska u betonu pri graničnoj dilataciji pritiska $\varepsilon_{cu}$ ( <i>compressive stress in the concrete at the ultimate compressive strain <math>\varepsilon_{cu}</math></i> )
$\tau$	napon smicanja od torzije ( <i>torsional shear stress</i> )
$\emptyset$	prečnik šipke armature ili cevi kabla za prethodno naprezanje ( <i>diameter of a reinforcing bar or of a prestressing duct</i> )
$\emptyset_n$	ekvivalentni prečnik svežnja šipki armature ( <i>equivalent diameter of a bundle of reinforcing bars</i> )
$\varphi(t, t_0)$	koeficijent tečenja, kojim se definiše odnos deformacije tečenja od vremena $t_0$ do vremena $t$ i elastične deformacije u starosti betona od <b>28 dana</b> ( <i>creep coefficient, defining creep between times <math>t</math> and <math>t_0</math>, related to elastic deformation at 28 days</i> )
$\varphi(\infty, t_0)$	konačna vrednost koeficijenta tečenja ( <i>final value of creep coefficient</i> )
$\psi$	koeficijenti kojima se određuju reprezentativne vrednosti promenljivih dejstava ( <i>factors defining representative values of variable actions</i> )
	$\psi_0$ za kombinacije dejstava ( <i>for combination values</i> )
	$\psi_1$ za česta dejstva ( <i>for frequent values</i> )
	$\psi_2$ za kvazi-stalna dejstva ( <i>for quasi-permanent values</i> )

## GLAVA 2 OSNOVE PRORAČUNA

### 2.1 ZAHTEVI

#### 2.1.1 OSNOVNI ZAHTEVI

(1)P Proračun betonskih konstrukcija mora da bude u skladu sa opštim pravilima datim u EN 1990.

(2)P Dodatne odredbe za betonske konstrukcije, date u ovoj glavi, moraju isto tako da se primene.

(3) Može da se smatra da će osnovni zahtevi, dati u EN 1990 glava 2, za betonske konstrukcije biti zadovoljeni ako su, istovremeno, ispunjeni sledeći uslovi:

- proračun je sproveden prema graničnim stanjima (*limit state design*) sa metodom parcijalnih koeficijenata (*partial factor method*), prema EN 1990,
- dejstva na konstrukciju usvojena su u skladu sa EN 1991,
- kombinacije dejstava su u skladu sa EN 1990, i
- nosivost (otpornost) (*resistance*), trajnost i upotrebljivost zadovoljavaju odredbe ovog standarda.

**Napomena:** Zahtevi otpornosti na dejstvo požara (videti EN 1990 glava 5 i EN 1992-1-2), mogu da uslove veće dimenzije elementa od onih koje zahteva nosivost konstrukcije na normalnoj temperaturi.

#### 2.1.2 UPRAVLJANJE POUZDANOŠĆU

(1) Pravila za upravljanje pouzdanošću (*reliability management*) data su u EN 1990 glava 2.

(2) Može da se smatra da proračun sa parcijalnim koeficijentima koji su dati u ovom Evrokodu (videti 2.4), i parcijalnim koeficijentima datim u aneksima EN 1990, obezbeđuje konstrukciju čija je klasa pouzdanosti **RC2**.

**Napomena:** Za više informacija videti EN 1990 Aneke B i C.

#### 2.1.3 PRORAČUNSKI EKSPLOATACIONI VEK, TRAJNOST I UPRAVLJANJE KVALITETOM

(1) Pravila koja se odnose na proračunski eksploatacioni vek (*design working life*), trajnost (*durability*) i upravljanje kvalitetom (*quality management*) data su u EN 1990 glava 2.

### 2.2 PRINCIPI PRORAČUNA PREMA GRANIČNIM STANJIMA

(1) Pravila za proračun prema graničnim stanjima data su u EN 1990 glava 3.

## 2.3 OSNOVNE PROMENLJIVE

### 2.3.1 DEJSTVA I UTICAJI SREDINE

#### 2.3.1.1 OPŠTA ODREDBA

(1) Dejstva koja treba da se primene u proračunu data su u odgovarajućim delovima EN 1991.

**Napomena 1:** Odgovarajući delovi EN 1991 za korišćenje u proračunu su:

**EN 1991-1-1:** Zapreminske mase, sopstvena težina i stalna opterećenja  
(*Densities, self-weight and imposed loads*)

**EN 1991-1-2:** Dejstva požara (*Fire actions*)

**EN 1991-1-3:** Opterećenja od snega (*Snow loads*)

**EN 1991-1-4:** Opterećenja od vetra (*Wind loads*)

**EN 1991-1-5:** Termička dejstva (*Thermal actions*)

**EN 1991-1-6:** Dejstva za vreme izvođenja (*Actions during execution*)

**EN 1991-1-7:** Incidentna dejstva usled udara i eksplozija  
(*Accidental actions due to impact and explosions*)

**EN 1991-2:** Saobraćajna opterećenja na mostovima (*Traffic loads on bridges*)

**EN 1991-3:** Dejstva izazvana kranovima i drugim mašinama  
(*Actions induced by cranes and other machinery*)

**EN 1991-4:** Dejstva u silosima i rezervoarima (*Actions in silos and tanks*).

**Napomena 2:** Dejstva specifična za ovaj standard data su u odgovarajućim glavama.

**Napomena 3:** Dejstva usled pritiska zemlje i vode mogu se uzeti iz EN 1997.

**Napomena 4:** Kada se uzimaju u obzir diferencijalna (neravnomerna) pomeranja, mogu da se koriste odgovarajuće procenjene vrednosti predviđenih pomeranja.

**Napomena 5:** Druga dejstva, kada su od značaja, mogu da se definišu u projektnom zadatku za određeni projekat.

#### 2.3.1.2 TERMIČKI UTICAJI

(1) Termičke uticaje (*thermal effects*) treba uzeti u obzir u proveru graničnih stanja upotrebljivosti.

(2) U graničnim stanjima nosivosti o termičkim uticajima treba voditi računa samo kada su od značaja (na primer, u uslovima zamora, u proračunu stabilnosti kada su uticaji po teoriji drugog reda značajni, itd.). U drugim slučajevima o termičkim uticajima u graničnim stanjima nosivosti ne mora da se vodi računa, pod uslovom da su duktilnost i kapacitet rotacije elemenata dovoljni.

(3) Kada su termički uticaji uzeti u obzir, treba da se smatraju za promenljiva dejstva i primene sa odgovarajućim parcijalnim koeficijentom i koeficijentom  $\psi$ .

**Napomena:** Koeficijent  $\psi$  je definisan u odgovarajućem aneksu EN 1990 i EN 1991-1-5.

#### 2.3.1.3 DIFERENCIJALNA SLEGANJA/POMERANJA

(1) Diferencijalna (nejednaka) sleganja/pomeranja (*differential settlements/movements*) konstrukcije usled sleganja (*subsidence*) tla treba da se smatraju za stalno dejstvo,  $G_{set}$ , i da se uzmu u obzir kao stalno dejstvo u kombinacijama dejstava. Generalno,  $G_{set}$  je skup veličina koje odgovaraju razlikama sleganja/pomeranja (u odnosu na neki referentni nivo) između pojedinačnih temelja ili delova temelja,  $d_{set,i}$  (gde je  $i$  broj pojedinačnih temelja ili delova temelja).

**Napomena:** Kada se diferencijalna sleganja uzimaju u obzir, mogu da se koriste odgovarajuće procenjene vrednosti predviđenih sleganja.

(2) Uticaji diferencijalnih sleganja generalno treba da se uzmu u obzir u proveru graničnih stanja upotrebljivosti.

(3) U graničnim stanjima nosivosti uticaje diferencijalnih sleganja/pomeranja treba da se uzme u obzir samo kada su od značaja (na primer, u uslovima zamora, u proračunu stabilnosti kada su uticaji drugog reda značajni, itd). U drugim slučajevima o uticajima diferencijalnih sleganja/ pomeranja u graničnim stanjima nosivosti ne mora da se vodi računa, pod uslovom da su duktilnost i kapacitet rotacije elemenata dovoljni.

(4) Kada su diferencijalna sleganja uzeta u obzir, treba ih primeniti sa parcijalnim koeficijentom sigurnosti za uticaje sleganja.

**Napomena:** Vrednost parcijalnog koeficijenta sigurnosti za uticaje sleganja definisana je u odgovarajućem aneksu EN 1990.

#### 2.3.1.4 PRETHODNO NAPREZANJE

(1)P Prethodno naprezanje (*prestress*) koje se razmatra u ovom Evrokodu ostvaruje se kablovima (*tendons*) od čelika visoke otpornosti (*high-strength steel*) (sastavljenim od žica, užadi ili šipki) (*wires, strands or bars*).

(2) Kablovi za prethodno naprezanje mogu da budu u betonskom preseku. Kablovi mogu da se prethodno zatežu (*pre-tensioned*), kada se prijanjanje (*bond*) betona i kablova ostvaruje betoniranjem posle zatezanja (*bonded tendons*), ili mogu da se zatežu posle betoniranja (*post-tensioned*), kada se prijanjanje betona i kablova naknadno ostvaruje injektiranjem (*bonded tendons*) ili kablovi trajno ostaju bez prijanjanja sa betonom (*unbonded tendons*).

(3) Kablovi za prethodno naprezanje mogu da budu i van konstrukcije (spoljašnji kablovi) (*external tendons*), pri čemu se kontakt između kablova i konstrukcije ostvaruje samo na devijatorima (*deviators*) i u ankerima (*anchorages*).

(4) Odredbe koje se odnose na prethodno naprezanje date su u 5.10.

#### 2.3.2 SVOJSTVA MATERIJALA I PROIZVODA

##### 2.3.2.1 OPŠTE ODREDBE

(1) Odredbe za svojstva građevinskih materijala i proizvoda date su u EN 1990 glava 4.

(2) Odredbe za beton, armaturu i čelik za prethodno naprezanje date su u glavi 3 ili u odgovarajućem standardu za proizvod (*Product Standard*).

##### 2.3.2.2 SKUPLJANJE I TEČENJE

(1) Skupljanje i tečenje (*shrinkage and creep*) su svojstva betona koja zavise od vremena (*time-dependent*). Uticaji skupljanja i tečenja, generalno, treba da se uzmu u obzir u proračunu graničnih stanja upotrebljivosti.

(2) Uticaji skupljanja i tečenja treba da se uzmu u obzir u graničnim stanjima nosivosti samo kada su od značaja, na primer, u proračunu graničnih stanja stabilnosti, kada su zna-

čajni uticaji drugog reda. U drugim slučajevima o uticajima skupljanja i tečenja u graničnim stanjima nosivosti ne mora da se vodi računa, pod uslovom da su duktilnost i kapacitet rotacije elemenata dovoljni.

(3) Kada se tečenje uzima u obzir, proračunski uticaji tečenja treba da se sračunaju za kvazi-stalnu kombinaciju dejstava, nezavisno od razmatrane situacije, stalne, prolazne ili incidentne.

**Napomena:** U najvećem broju slučajeva uticaji tečenja mogu da se odrede uzimajući u obzir stalno opterećenje i srednju vrednost prethodnog naprezanja.

### 2.3.3 DEFORMACIJE BETONA

(1)P U proračunu moraju da se uzmu u obzir uticaji deformacije usled temperature, tečenja i skupljanja betona .

(2) Uticaje usled tih deformacija konstrukcija normalno može da prihvati ukoliko su zadovoljena pravila za primenu data u ovom standardu. Osim toga, treba obratiti pažnju da se:

- smanje na najmanju meru deformacije i prsline usled preranog pomeranja i tečenja i skupljanja, primenom pogodne kompozicije betonske mešavine
- minimizira sprečavanje deformacija dispozicijom ležišta ili dilatacionih razdelnica (*bearings or joints*)
- uzmu u proračunu u obzir uticaji usled sprečenih deformacija, ukoliko su deformacije sprečene.

Formatted: Spanish (Spain-Modern Sort)

(3) U konstrukcijama zgrada uticaji temperature i skupljanja mogu da se zanemare u globalnoj analizi ukoliko su dilatacione razdelnice raspoređene na rastojanjima ne većim od  $d_{joint}$ , da bi se omogućile rezultujuće deformacije.

**Napomena:** Veličina  $d_{joint}$  je predmet Nacionalnog aneksa. Preporučena veličina je **30 m**. Za prefabrikovane betonske konstrukcije ova vrednost može da bude veća nego za konstrukcije koje se betoniraju na licu mesta, jer se deo tečenja i skupljanja obavlja pre montaže elemenata.

### 2.3.4 GEOMETRIJSKI PODACI

#### 2.3.4.1 OPŠTA ODREDBA

(1) Pravila za geometrijske podatke data su u EN 1990 glava 4.

#### 2.3.4.2 DODATNI ZAHTEVI ZA ŠIPOVE BETONIRANE NA LICU MESTA

(1)P U proračunu moraju da se uzmu u obzir nepouzdanosti u pogledu poprečnog preseka i postupka betoniranja šipova koji se izvode na licu mesta (*cast in place piles*).

(2)P U nedostatku drugih odredaba, u proračunu šipova koji se betoniraju na licu mesta, bez stalne obloge (*permanent casing*), za prečnik šipa treba da se uzmu sledeće veličine:

- |      |                                         |                               |
|------|-----------------------------------------|-------------------------------|
| – za | $d_{nom} < 400 \text{ mm}$              | $d = d_{nom} - 20 \text{ mm}$ |
| – za | $400 \leq d_{nom} \leq 1000 \text{ mm}$ | $d = 0,95 d_{nom}$            |
| – za | $d_{nom} > 1000 \text{ mm}$             | $d = d_{nom} - 50 \text{ mm}$ |

gde je  $d_{nom}$  nominalni prečnik šipa.

## 2.4 PRORAČUN METODOM PARCIJALNIH KOEFICIJENATA

### 2.4.1 OPŠTA ODREDBA

(1) Pravila za primenu metode parcijalnih koeficijenata data su u EN 1990 glava 6.

### 2.4.2 PRORAČUNSKE VREDNOSTI

#### 2.4.2.1 PARCIJALNI KOEFICIJENT ZA DEJSTVO SKUPLJANJA

(1) Kada se u graničnom stanju nosivosti zahteva uzimanje u obzir dejstava skupljanja, treba da se koristi parcijalni koeficijent  $\gamma_{SH}$ .

**Napomena:** Vrednost  $\gamma_{SH}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **1,0**.

#### 2.4.2.2 PARCIJALNI KOEFICIJENTI ZA PRETHODNO NAPREZANJE

(1) U najvećem broju situacija prethodno naprezanje je predviđeno da deluje povoljno na nosivost konstrukcije, tako da u proračunu graničnog stanja nosivosti treba da se koristi koeficijent  $\gamma_{P,fav}$ . Za proračunsku silu prethodnog naprezanja može da se uzme srednja vrednost sile prethodnog naprezanja (videti EN 1990 glava 4).

**Napomena:** Vrednost  $\gamma_{P,fav}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost za stalne i prolazne proračunske situacije je **1,0**. Ta vrednost može se koristiti i za proračun na zamor.

(2) U proračunu graničnog stanja stabilnosti konstrukcija sa spoljašnjim prethodnim naprežanjem, kada porast sile prethodnog naprezanja može da bude nepovoljan, treba da se koristi  $\gamma_{P,unfav}$ .

**Napomena:** Vrednost  $\gamma_{P,unfav}$  za granično stanje stabilnosti, koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost za globalnu analizu je **1,3**.

(3) U proveru lokalnih uticaja isto tako treba da se koristi koeficijent  $\gamma_{P,unfav}$ .

**Napomena:** Vrednost  $\gamma_{P,unfav}$  za lokalne uticaje, koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **1,2**. Lokalni uticaji ankerovanja kablova koji se prethodno zatežu razmatraju se u 8.10.2.

#### 2.4.2.3 PARCIJALNI KOEFICIJENT ZA OPTEREĆENJA NA ZAMOR

(1) Parcijalni koeficijent za opterećenja na zamor je  $\gamma_{F,fat}$ .

**Napomena:** Vrednost  $\gamma_{F,fat}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **1,0**.

#### 2.4.2.4 PARCIJALNI KOEFICIJENTI ZA MATERIJALE

(1) U proračunu graničnih stanja nosivosti treba da se koriste parcijalni koeficijenti za materijale,  $\gamma_c$  i  $\gamma_s$ .

**Napomena:** Vrednosti  $\gamma_c$  i  $\gamma_s$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti za stalne i prolazne i za incidentne proračunske situacije date su u tabeli 2.1N. Te vrednosti ne važe za proračun na dejstvo požara, za koji treba da se koriste odredbe EN 1992-1-2.

Za proračun na zamor, za vrednosti  $\gamma_{c,fat}$  i  $\gamma_{s,fat}$ , preporučene su vrednosti parcijalnih koeficijenata za stalne proračunske situacije, date u tabeli 2.1N.

Tabela 2.1N: Parcijalni koeficijenti za materijale za granična stanja nosivosti

Proračunske situacije	$\gamma_c$ za beton	$\gamma_s$ za čelik za armaturu	$\gamma_s$ za čelik za prethodno naprezanje
Stalne i prolazne	1,5	1,15	1,15
Incidentne	1,2	1,0	1,0

(2) U proračunu graničnog stanja upotrebljivosti za parcijalne koeficijente za materijale treba da se koriste vrednosti koje su date u odgovarajućim odredbama ovog Evrokoda.

**Napomena:** Vrednosti  $\gamma_c$  i  $\gamma_s$  za granično stanje upotrebljivosti, koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost za proračunske situacije koje nisu obuhvaćene posebnim odredbama ovog Evrokoda za oba koeficijenta je 1,0.

(3) Manje vrednosti koeficijenata  $\gamma_c$  i  $\gamma_s$  mogu da se usvoje ako se dokažu merama preduzetim za smanjenje nepouzdanosti sračunate nosivosti.

**Napomena:** Objašnjenje je dato u informativnom Aneksu A.

#### 2.4.2.5 PARCIJALNI KOEFICIJENTI ZA MATERIJALE ZA TEMELJE

(1) Proračunske vrednosti nosivosti tla treba da se sračunaju prema EN 1997.

(2) Pri određivanju proračunske nosivosti šipova izvedenih u tlu bez stalne obloge, parcijalni koeficijent za beton  $\gamma_c$ , dat u 2.4.2.4 (1), treba da se pomnoži sa koeficijentom  $k_f$ .

**Napomena:** Vrednost  $k_f$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je 1,1.

#### 2.4.3 KOMBINACIJE DEJSTAVA

(1) Generalni postupci za kombinacije dejstava (*combinations of actions*) za granična stanja nosivosti i za granična stanja upotrebljivosti dati su u EN 1990, glava 6.

**Napomena 1:** Detaljni izrazi za kombinacije dejstava dati su u normativnim aneksima EN 1990, odnosno u Aneksu A1 za zgrade, A2 za mostove, itd., sa odgovarajućim preporučenim vrednostima parcijalnih koeficijenata i reprezentativnim vrednostima dejstava datim u napomenama.

**Napomena 2:** Kombinacija dejstava za proračun na zamor data je u 6.8.3.

(2) Za svako stalno dejstvo na čitavoj konstrukciji treba da se primeni ili donja ili gornja proračunska vrednost (onu koja daje nepovoljniji uticaj), (na primer, sopstvena težina konstrukcije).

**Napomena:** Može da bude nekih izuzetaka od ovog pravila (na primer, u proračunu statičke ravnoteže, videti EN 1990 glava 6). U takvim slučajevima može se primeniti različit skup parcijalnih koeficijenata (skup A). Primer koji se odnosi na zgrade dat je u Aneksu A1 u EN 1990.

#### 2.4.4 PRORAČUN STATIČKE RAVNOTEŽE

(1) Postupak utvrđivanja pouzdanosti (*reliability format*) u proračunu statičke ravnoteže (*verification of static equilibrium*) važi i za proračunske situacije statičke ravnoteže (EQU), na primer, za ankere na osloncima ili proračun odizanja ležišta kontinualnih greda.

**Napomena:** Informacije su date u Aneksu A u EN 1990.

## 2.5 PRORAČUN NA OSNOVU REZULTATA ISPITIVANJA

(1) U proračunu konstrukcija ili konstrukcijskih elemenata mogu da se koriste rezultati ispitivanja.

**Napomena:** Informacije su date u EN 1990 glava 5 i Aneks D.

## 2.6 DODATNI ZAHTEVI ZA TEMELJE

(1)P Kada od interakcije tle-konstrukcija (*soil-structure interaction*) značajno zavise uticaji usled dejstava na konstrukciju, svojstva tla i uticaji interakcije moraju da se uzmu u obzir prema EN 1997-1.

(2) Ako mogu da se očekuju značajna diferencijalna sleganja, njihov efekat na uticaje od dejstava na konstrukciju treba da se proveri.

**Napomena 1:** Aneks G može da se koristi za modeliranje interakcije tle-konstrukcija.

**Napomena 2:** Jednostavne metode, u kojima se ne vodi računa o uticajima deformacije tla, normalno zadovoljavaju u većini proračuna konstrukcija.

(3) Betonski temelji treba da se proračunaju prema EN 1997-1.

(4) Kada je to od značaja, proračunom treba da se obuhvate i uticaji takvih fenomena kao što su sleganje tla (*subsidence*), bubrenje (*heave*), zamrzavanje (*freezing*), i topljenje (*thawing*), erozija (*erosion*), itd.

## 2.7 ZAHTEVI ZA ELEMENTE ZA PRIČVRŠĆIVANJE NA BETON

(1) Kada se elementi pričvršćuju na beton (*fastenings*), treba da se razmotre lokalni uticaji i uticaji na konstrukciju.

**Napomena:** Zahtevi za proračun elemenata za pričvršćivanje na beton dati su u Tehničkoj specifikaciji "Proračun elemenata za pričvršćivanje na beton" (u fazi nacрта). Ta Tehnička specifikacija će obuhvatiti proračun sledećih tipova elemenata za pričvršćivanje na beton (*fasteners*):

**elementi koji se postavljaju pre betoniranja** (*cast-in fasteners*), kao što su:

- ankeri sa glavama (*headed anchors*),
- šine-kanali (*channel bars*),

i **naknadno ugrađeni elementi** (*post-installed fasteners*), kao što su:

- ekspanzivni ankeri (*expansion anchors*),
- upušteni ankeri (*undercut anchors*),
- zavrtnji za beton (*concrete screws*),
- ankeri sa prijanjanjem (*bonded anchors*),
- ekspanzivni ankeri sa prijanjanjem (*bonded expansion anchors*) i
- upušteni ankeri sa prijanjanjem (*bonded undercut anchors*).

Svojstva elemenata za pričvršćivanje na beton treba da ispunjavaju zahteve CEN standarda ili da budu definisana odgovarajućim Evropskim tehničkim odobrenjem (*European Technical Approval*).

Tehnička specifikacija "Proračun elemenata koji se pričvršćuju na beton" obuhvata lokalno unošenje opterećenja u konstrukciju.

Opterećenja i dopunski proračunski zahtevi, dati u Aneksu A tih Tehničkih specifikacija, treba da se uzmu u obzir u proračunu konstrukcije.

## GLAVA 3 MATERIJALI

### 3.1 BETON

#### 3.1.1 OPŠTE ODREDBE

(1)P U sledećim odredbama dati su principi i pravila za beton uobičajene (*normal concrete*) i visoke čvrstoće (*high strength concrete*).

(2)P Pravila za beton od lakog agregata (*lightweight aggregate concrete*) data su u glavi 11.

#### 3.1.2 ČVRSTOĆA

(1)P Čvrstoća betona pri pritisku (*compressive strength of concrete*) označava se klasama čvrstoće betona, koje odgovaraju karakterističnoj vrednosti (vrednosti sa fraktinom 5%) čvrstoće betona pri pritisku na cilindar  $f_{ck}$ , ili čvrstoće betona pri pritisku na kocku  $f_{ck,cube}$ , prema EN 206-1.

(2)P Klase čvrstoće betona u ovom standardu zasnivaju se na karakterističnoj vrednosti čvrstoće betona pri pritisku na cilindar  $f_{ck}$ , određenoj u starosti betona od **28 dana**. Maksimalna klasa čvrstoće betona u ovom standardu je  $C_{max}$ .

**Napomena:** Vrednost  $C_{max}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **C90/105**.

(3)P Karakteristične vrednosti čvrstoće  $f_{ck}$  i odgovarajuće mehaničke karakteristike potrebne za proračun date su u tabeli 3.1.

(4) U izvesnim slučajevima (na primer, pri prethodnom naprezanju) može da bude potrebno da se čvrstoća betona pri pritisku odredi u starosti betona manjoj ili većoj od 28 dana, na uzorcima betona koji su negovani na način koji se razlikuje od onog koji je propisan u EN 12390.

Ako je čvrstoća betona pri pritisku određena u starosti  $t > 28$  dana, vrednosti  $\alpha_{cc}$  i  $\alpha_{ct}$  koje su definisane u 3.1.6 (1)P i 3.1.6 (2)P treba redukovati sa koeficijentom  $k_t$ .

**Napomena:** Vrednost  $k_t$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **0,85**.

(5) Ako je potrebno da se propišu vrednosti čvrstoće betona pri pritisku  $f_{ck}(t)$  u različitim starostima betona, za veći broj faza građenja (na primer, uklanjanje oplata, unošenje sile prethodnog naprezanja), mogu da se koriste odnosi:

$$f_{ck}(t) = f_{cm}(t) - 8 \text{ (MPa)} \quad \text{za} \quad 3 < t < 28 \text{ dana}$$
$$f_{ck}(t) = f_{ck} \quad \text{za} \quad t \geq 28 \text{ dana.}$$

Tačnije vrednosti treba da se odrede ispitivanjem, posebno za  $t \leq 3$  dana.

(6) Čvrstoća betona pri pritisku u starosti  $t$  zavisi od vrste cementa, temperature i uslova nege betona. Za srednju temperaturu od **20°C** i negu prema EN 12390, srednja vrednost čvrstoće betona pri pritisku u različitim starostima  $f_{cm}(t)$  može da se odredi prema izrazima (3.1) i (3.2):

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm} \quad (3.1)$$

sa

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ s \left[ 1 - \left( \frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right\} \quad (3.2)$$

gde je:

- $f_{cm}(t)$  srednja vrednost čvrstoće betona pri pritisku u starosti od  $t$  dana  
 $f_{cm}$  srednja vrednost čvrstoće betona pri pritisku u starosti od **28 dana**, prema tabeli 3.1  
 $\beta_{cc}(t)$  koeficijent koji zavisi od starosti betona  $t$   
 $t$  starost betona u **danima**  
 $s$  koeficijent koji zavisi od vrste cementa i iznosi:  
 = **0,20** za cement klase čvrstoće **CEM 42,5 R, CEM 52,5 N i CEM 52,5 R** (klasa **R**)  
 = **0,25** za cement klase čvrstoće **CEM 32,5 R, CEM 42,5 N** (klasa **N**)  
 = **0,38** za cement **CEM 32,5 N** (klasa **S**).

**Napomena:**  $\exp \{ \}$  ima isto značenje kao  $e^{( )}$ .

Kada beton ne zadovoljava propisane uslove za čvrstoću pri pritisku u starosti od 28 dana, izrazi (3.1) i (3.2) ne mogu da se koriste.

Ova odredba ne može da se primenjuje retroaktivno, da bi se naknadno dokazalo da je porastom čvrstoće betona u toku vremena dostignuta zahtevana čvrstoća pri pritisku koja je bila podbačena.

Za slučajevne termičke nege elementa (*heat curing*) videti 10.3.1.1 (3).

**(7)P** Čvrstoća betona pri zatezanju (*axial tensile strength*) odgovara najvećem naponu dostignutom pri aksijalnom zatezanju. Za čvrstoću betona pri zatezanju savijanjem (*flexural tensile strength*) videti 3.1.8 (1).

**(8)** Kada je čvrstoća betona pri zatezanju određena kao čvrstoća betona pri zatezanju pritiskom po izvodnici (*splitting tensile strength*)  $f_{ct,sp}$ , može da se smatra da je približna vrednost odgovarajuće čvrstoće betona pri aksijalnom zatezanju:

$$f_{ct} = 0,9 f_{ct,sp} \quad (3.3)$$

**(9)** Porast čvrstoće betona pri zatezanju sa vremenom veoma mnogo zavisi od nege i uslova sušenja (gubitka vlage), kao i od dimenzija konstrukcijskog elementa. Kao prva aproksimacija može da se pretpostavi da je zavisnost čvrstoće betona pri zatezanju od vremena  $f_{ctm}(t)$  data izrazom:

$$f_{ctm}(t) = [\beta_{cc}(t)]^\alpha \cdot f_{ctm} \quad (3.4)$$

gde  $\beta_{cc}(t)$  sledi iz izraza (3.2) i

$$\alpha = 1 \quad \text{za } t < 28$$

$$\alpha = 2/3 \quad \text{za } t \geq 28 \text{ dana. Veličine } f_{ctm} \text{ date su u tabeli 3.1.}$$

**Napomena:** Kada je promena čvrstoće pri zatezanju u toku vremena od značaja, preporučuje se da se sprovedu ispitivanja sa uzimanjem u obzir uslova sredine i dimenzija konstrukcijskog elementa.

Tabela 3.1: Čvrstoće i deformacijske karakteristike betona

	Klase čvrstoće betona															Analitički izraz/objašnjenje
	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90		
$f_{ek}$ (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90		
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105		
$f_{cm}$ (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ek} + 8$ (MPa)	
$f_{ctm}$ (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ek}^{2/3} \leq C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln(1 + (f_{cm}/10))$ $> C50/60$	
$f_{ctk,0,05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ctk,0,05} = 0,7 \cdot f_{ctm}$ 5% fraktil	
$f_{ctk,0,95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ctk,0,95} = 1,3 \cdot f_{ctm}$ 95% fraktil	
$E_{cm}$ (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22[(f_{cm}/10)^{0,3}$ ( $f_{cm}$ u MPa)]	
$\epsilon_{c1}$ (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	videti sliku 3.2 $\epsilon_{c1}$ (‰) = 0,7 $f_{cm}^{0,31} < 2,8$	
$\epsilon_{cu1}$ (‰)					3,5					3,2	3,0	2,8	2,8	2,8	videti sliku 3.2 za $f_{ek} \geq 50$ MPa $\epsilon_{cu1}$ (‰) = 2,8 + 27[(98 - $f_{cm}$ )/100] <sup>4</sup>	
$\epsilon_{c2}$ (‰)					2,0					2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	videti sliku 3.3 za $f_{ek} \geq 50$ MPa $\epsilon_{c2}$ (‰) = 2,0 + 0,085 ( $f_{ek} - 50$ ) <sup>0,53</sup>	
$\epsilon_{cu2}$ (‰)					3,5					3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	videti sliku 3.3 za $f_{ek} \geq 50$ MPa $\epsilon_{cu2}$ (‰) = 2,6 + 35[(90 - $f_{ek}$ )/100] <sup>4</sup>	
$n$					2,0					1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	za $f_{ek} \geq 50$ MPa $n = 1,4 + 23,4[(90 - f_{ek})/100]^4$	
$\epsilon_{c3}$ (‰)					1,75					1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	videti sliku 3.4 za $f_{ek} \geq 50$ MPa $\epsilon_{c3}$ (‰) = 1,75 + 0,55[( $f_{ek} - 50$ )/40]	
$\epsilon_{cu3}$ (‰)					3,5					3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	videti sliku 3.4 za $f_{ek} \geq 50$ MPa $\epsilon_{cu3}$ (‰) = 2,6 + 35[(90 - $f_{ek}$ )/100] <sup>4</sup>	

### 3.1.3 ELASTIČNA DEFORMACIJA

(1) Elastične deformacije betona (*elastic deformations of concrete*) u velikoj meri zavise od njegovog sastava (posebno od agregata). Vrednosti date u ovom standardu treba smatrati kao indikativne za generalne primene. Ukoliko je u pitanju konstrukcija koja je osetljiva na odstupanja od ovih generalnih vrednosti, elastične deformacije treba posebno da se odrede.

(2) Modul elastičnosti (*modul of elasticity*) betona zavisi od modula elastičnosti njegovih komponenata. Približne vrednosti modula elastičnosti betona  $E_{cm}$ , koji se definiše kao sekantni modul između napona  $\sigma_c = 0$  i  $0,4 f_{cm}$ , za betone sa agregatom od kvarcita date su u tabeli 3.1. Za agregate od krečnjaka te vrednosti treba da se smanje za **10%** a za agregate od peščara za **30%**. Za bazaltne agregate date vrednosti treba da se povećaju za **20%**.

**Napomena:** U Nacionalnom aneksu određene zemlje može da se ukaže na dodatne nekontradiktorne podatke.

(3) Promena modula elastičnosti betona u toku vremena može da se odredi prema izrazu:

$$E_{cm}(t) = [f_{cm}(t)/f_{cm}]^{0,3} E_{cm} \quad (3.5)$$

gde su:  $E_{cm}(t)$  i  $f_{cm}(t)$  vrednosti u starosti od  $t$  dana a  
 $E_{cm}$  i  $f_{cm}$  vrednosti određene u starosti od **28 dana**.

Odnos između  $f_{cm}(t)$  i  $f_{cm}$  dat je izrazom (3.1).

(4) Može da se uzme da je Poasonov koeficijent (*Poisson's ratio*) jednak **0,2** za beton bez prslina a jednak **0** za beton sa prslinama.

(5) Ukoliko se ne raspolaze tačnijim podacima, može da se uzme da je koeficijent linearne termičke dilatacije (*linear coefficient of thermal expansion*)  $10 \times 10^{-6} K^{-1}$ .

### 3.1.4 TEČENJE I SKUPLJANJE

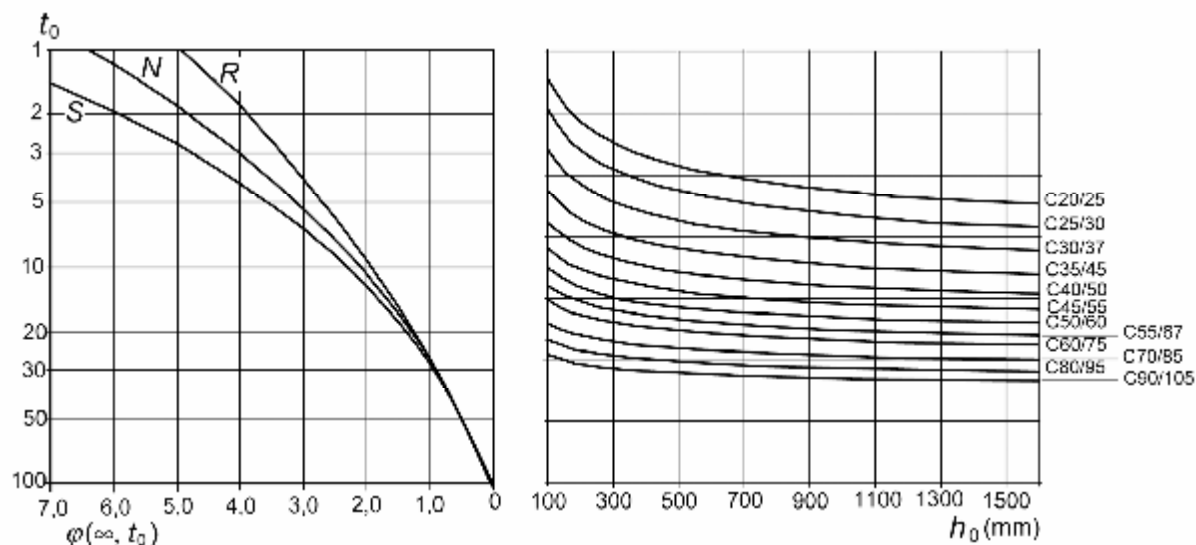
(1)P Tečenje i skupljanje betona (*creep and shrinkage of the concrete*) zavise od vlažnosti sredine, dimenzija elementa i sastava betona. Tečenje zavisi i od zrelosti betona (*maturity of concrete*) u vreme kada je prvi put opterećen, kao i od trajanja i intenziteta opterećenja.

(2) Koeficijent tečenja (*creep coefficient*)  $\varphi(t, t_0)$  je funkcija tangentskog modula elastičnosti betona (*tangent modulus*)  $E_c$ , za čiju se vrednost može da se uzme da je jednaka **1,05**  $E_{cm}$ . Kada se ne zahteva velika tačnost, može da se smatra da koeficijent tečenja odgovara vrednostima koje se dobijaju sa slike 3.1, pod uslovom da beton u trenutku opterećenja, u starosti  $t_0$ , nije izložen naponu pritiska većem od **0,45**  $f_{ck}(t_0)$ .

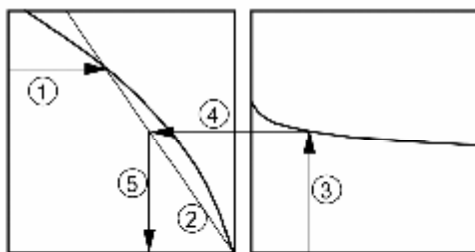
**Napomena:** Za dalje informacije, uključujući zavisnost tečenja betona od vremena, može da se koristi Aneks B.

(3) Konačna vrednost dilatacije tečenja betona  $\varepsilon_{cc}(\infty, t_0)$  u vremenu  $t = \infty$ , pri konstantnom naponu pritiska  $\sigma_c$  kojem je beton izložen u starosti  $t_0$ , data je izrazom:

$$\varepsilon_{cc}(\infty, t_0) = \varphi(\infty, t_0)(\sigma_c/E_c) \quad (3.6)$$

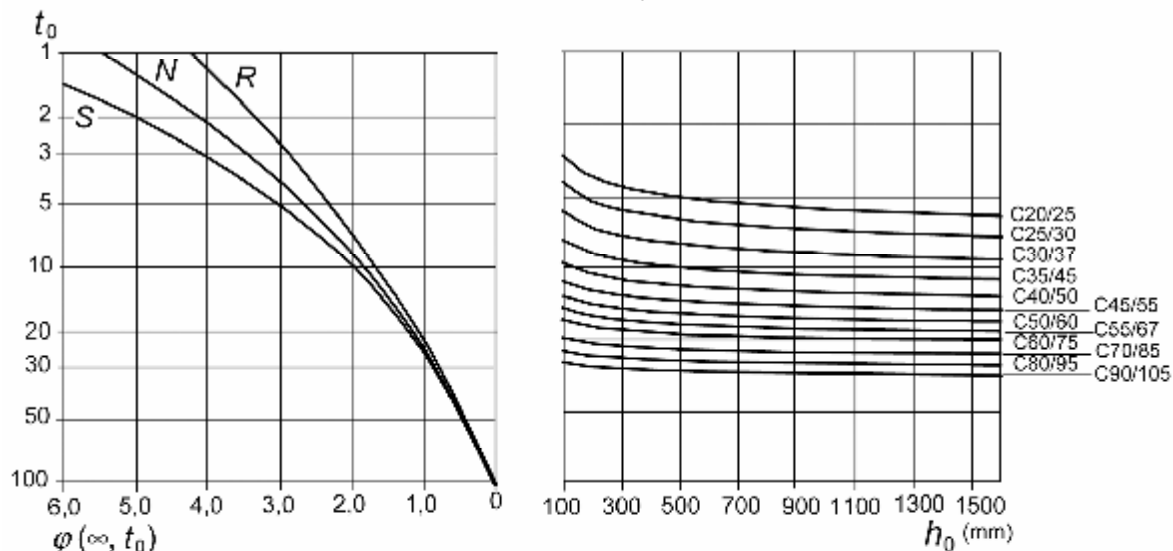


a) Inside conditions - RH = 50%  
 Uslovi unutrašnje sredine - RH = 50%



**Note:**  
 - intersection point between lines 4 and 5 can also be above point 1  
 - for  $t_0 > 100$  it is sufficiently accurate to assume  $t_0 = 100$  (and use the tangent line)

**Napomena:**  
 - presečna tačka linija 4 i 5 može da bude i iznad tačke 1  
 - za  $t_0 > 100$  dovoljno je tačno da se pretpostavi  $t_0 = 100$  (i koristi tangenta)



b) Outside conditions - RH = 80%  
 Uslovi spoljašnje sredine - RH = 80%

**Slika 3.1: Određivanje koeficijenta tečenja  $\varphi(\infty, t_0)$  za beton u normalnim uslovima sredine**

(4) Kada je napon pritiska u betonu u starosti  $t_0$  veći od  $0,45 f_{ck}(t_0)$ , treba da se uzme u obzir nelinearnost tečenja. Tako veliki naponi mogu da nastanu pri prethodnom zatezanju, na primer, u prefabrikovanim betonskim elementima na nivou kablova za prethodno naprezanje.

U takvim slučajevima odgovarajući nominalni nelinearni koeficijent tečenja (*non-linear notional creep coefficient*) može da se dobije iz izraza:

$$\varphi_k(\infty, t_0) = \varphi(\infty, t_0) \exp(1,5 (k_\sigma - 0,45)) \quad (3.7)$$

gde je:

$\varphi_k(\infty, t_0)$  nominalni nelinearni koeficijent tečenja, kojim se zamenjuje  $\varphi(\infty, t_0)$ ,  
 $k_\sigma$  odnos napon/čvrstoća  $\sigma_c/f_{cm}(t_0)$ , gde je  $\sigma_c$  napon pritiska a  $f_{cm}(t_0)$  srednja vrednost čvrstoće betona pri pritisku u trenutku opterećenja.

(5) Vrednosti date na slici 3.1 važe za temperature sredine između  $-40^\circ\text{C}$  i  $+40^\circ\text{C}$  i srednju relativnu vlažnost između  $\text{RH} = 40\%$  i  $\text{RH} = 100\%$ . Korišćene su sledeće oznake:

$\varphi(\infty, t_0)$  konačni koeficijent tečenja  
 $t_0$  starost betona u trenutku opterećenja u danima  
 $h_0$  nominalna dimenzija poprečnog preseka (*notional size*) =  $2A_c/u$ , gde je  $A_c$  površina poprečnog preseka betona a  $u$  obim dela preseka koji je izložen sušenju  
**S** klasa **S**, prema 3.1.2 (6)  
**N** klasa **N**, prema 3.1.2 (6)  
**R** klasa **R**, prema 3.1.2 (6).

(6) Ukupna dilatacija skupljanja sastoji se od dve komponente, dilatacije skupljanja usled sušenja (*drying shrinkage strain*) i sopstvene (autogene) dilatacije skupljanja (*autogenous shrinkage strain*). Dilatacija skupljanja usled sušenja odigrava se sporo, s obzirom da zavisi od migracije vode kroz očvrslil beton. Sopstvena dilatacija skupljanja odigrava se u toku očvršćavanja betona: njen najveći deo se, prema tome, obavlja prvih dana posle betoniranja. Sopstveno skupljanje je linearna funkcija čvrstoće betona. Ono treba posebno da se uzme u obzir kada se novi beton ugrađuje na kontaktu sa očvrslim betonom. Prema tome, veličina ukupne dilatacije skupljanja  $\varepsilon_{cs}$  sledi iz izraza:

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} \quad (3.8)$$

gde je:

$\varepsilon_{cs}$  ukupna dilatacija skupljanja  
 $\varepsilon_{cd}$  dilatacija skupljanja usled sušenja  
 $\varepsilon_c$  sopstvena dilatacija skupljanja.

Konačna vrednost dilatacije skupljanja usled sušenja  $\varepsilon_{cd,\infty}$ , jednaka je  $k_h \times \varepsilon_{cd,0}$ .  $\varepsilon_{cd,0}$  može da se uzme iz tabele 3.2 (očekivane srednje vrednosti, sa koeficijentom varijacije od oko 30%).

**Napomena:** Izraz za  $\varepsilon_{cd,0}$  dat je u Aneksu B.

Promena dilatacije skupljanja usled sušenja u toku vremena data je izrazom:

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} \quad (3.9)$$

gde je:

$k_h$  koeficijent koji zavisi od nominalne dimenzije poprečnog preseka  $h_0$ , prema tabeli 3.3.

**Tabela 3.2: Nominalne veličine nesprečenog skupljanja usled sušenja  $\varepsilon_{cd,0}$  (u ‰) za beton sa cementom CEM klase N**

$f_{ck}/f_{ck,cube}$ (MPa)	Relativna vlažnost (u ‰)					
	20	40	60	80	90	100
20/25	0,62	0,58	0,49	0,30	0,17	0,00
40/50	0,48	0,46	0,38	0,24	0,13	0,00
60/75	0,38	0,36	0,30	0,19	0,10	0,00
80/95	0,30	0,28	0,24	0,15	0,08	0,00
90/105	0,27	0,25	0,21	0,13	0,07	0,00

**Tabela 3.3: Vrednosti  $k_h$  u izrazu (3.9)**

$h_0$	$k_h$
100	1,0
200	0,85
300	0,75
$\geq 500$	0,70

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04\sqrt{h_0^3}} \quad (3.10)$$

gde je:

- $t$  starost betona u posmatranom trenutku vremena, u danima
- $t_s$  starost betona (u danima) na početku skupljanja usled sušenja (ili bubrenja). Normalno je to na kraju nege betona
- $h_0$  nominalna dimenzija poprečnog preseka (mm)  
 $= 2 A_c / u$

gde je:

- $A_c$  površina poprečnog preseka betona
- $u$  obim dela poprečnog preseka koji je izlozen sušenju.

Sopstvena dilatacija skupljanja dobija se iz izraza:

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \varepsilon_{ca}(\infty) \quad (3.11)$$

gde je:

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5 (f_{ck} - 10) 10^{-6} \quad (3.12)$$

i

$$\varepsilon_{as}(t) = 1 - \exp(-0,2t^{0,5}) \quad (3.13)$$

gde je  $t$  u danima.

### 3.1.5 DIJAGRAM NAPON-DILATACIJA ZA NELINEARNU ANALIZU KONSTRUKCIJA

(1) Odnos  $\sigma_c$  i  $\varepsilon_c$ , prikazan na dijagramu na slici 3.2 (napon pritiska i odgovarajuća dilatacija prikazani su u apsolutnim vrednostima), za kratkotrajno jednoaksijalno opterećenje dat je izrazom (3.14):

$$\frac{\sigma_c}{f_{cm}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta} \quad (3.14)$$

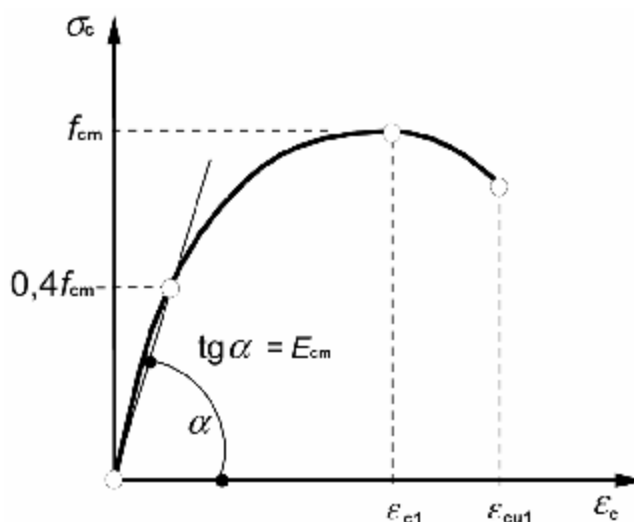
gde je:

$$\eta = \varepsilon_c / \varepsilon_{c1}$$

$\varepsilon_{c1}$  dilatacija pri najvećem naponu, prema tabeli 3.1

$$k = 1,1 E_{cm} \times |\varepsilon_{c1}| / f_{cm} \quad (f_{cm} \text{ prema tabeli 3.1}).$$

Izraz (3.14) važi za  $0 < |\varepsilon_c| < |\varepsilon_{cu1}|$ , gde je  $\varepsilon_{cu1}$  nominalna granična dilatacija (*nominal ultimate strain*).



**Slika 3.2: Šematski prikaz dijagrama napon-dilatacija za analizu konstrukcija (korišćenje veličine  $0,4 f_{cm}$  za definisanje  $E_{cm}$  je aproksimacija)**

(2) Drugačiji idealizovani dijagrami napon-dilatacija mogu da se primene, ukoliko adekvatno prikazuju ponašanje posmatranog betona.

### 3.1.6 PRORAČUNSKE ČVRSTOĆE PRI PRITISKU I PRI ZATEZANJU

(1)P Vrednost proračunske čvrstoće betona pri pritisku (*design compressive strength*)  $f_{cd}$ , definisana je kao:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c \quad (3.15)$$

gde je:

$\gamma_c$  parcijalni koeficijent sigurnosti za beton, videti 2.4.2.4, i

$\alpha_{cc}$  koeficijent kojim se uzimaju u obzir uticaji dugotrajnosti dejstva na čvrstoću betona pri pritisku i nepovoljni uticaji usled načina na koji deluje opterećenje.

**Napomena:** Vrednost  $\alpha_{cc}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, treba da bude između 0,8 i 1,0 i data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je 1,0.

(2)P Vrednost proračunske čvrstoće betona pri zatezanju (*design tensile strength*)  $f_{ctd}$ , definisana je kao:

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} f_{ctk,0,05} / \gamma_c \quad (3.16)$$

gde je:

- $\gamma_c$  parcijalni koeficijent sigurnosti za beton, videti 2.4.2.4, i
- $\alpha_{ct}$  koeficijent kojim se uzimaju u obzir uticaji dugotrajnosti dejstva na čvrstoću betona pri zatezanju i nepovoljni uticaji usled načina na koji deluje opterećenje.

**Napomena:** Vrednost  $\alpha_{ct}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **1,0**.

### 3.1.7 DIJAGRAMI NAPON-DILATACIJA ZA PRORAČUN POPREČNIH PRESEKA

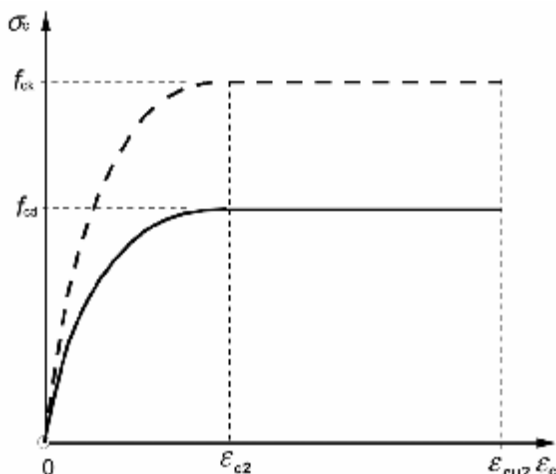
(1) Za proračun poprečnih preseka može da se koristi dijagram napon-dilatacija u obliku parabola-pravougaonik (*parabola-rectangle diagram*), prikazan na slici 3.3 (dilatacija koja odgovara pritisku prikazana je sa pozitivnim znakom):

$$\sigma_c = f_{cd} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] \quad \text{za} \quad 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2} \quad (3.17)$$

$$\sigma_c = f_{cd} \quad \text{za} \quad \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2} \quad (3.18)$$

gde je:

- $n$  eksponent dat u tabeli 3.1
- $\varepsilon_{c2}$  dilatacija koja odgovara maksimalnoj čvrstoći, prema tabeli 3.1
- $\varepsilon_{cu2}$  granična dilatacija, prema tabeli 3.1.

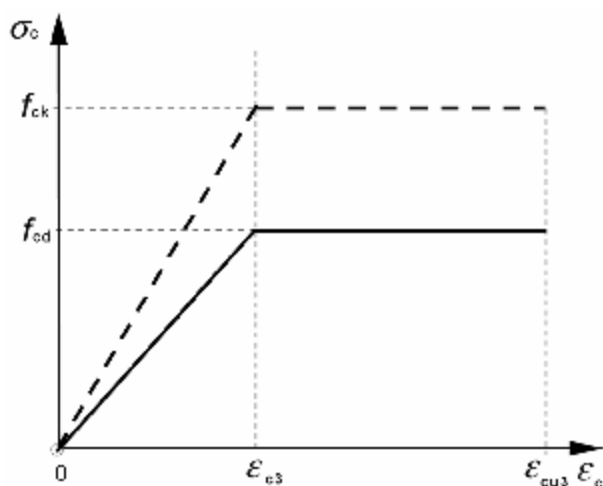


**Slika 3.3: Dijagram parabola-pravougaonik za beton pri pritisku**

(2) Drugačiji, uprošćeni dijagrami napon-dilatacija, mogu da se koriste ukoliko su ekvivalentni ili na strani sigurnosti u odnosu na dijagram koji je definisan u (1) u prethodnom tekstu, na primer, bilinearni dijagram (*bi-linear stress-strain relation*) na slici 3.4 (napon pritiska i odgovarajuća dilatacija prikazani su u apsolutnim vrednostima), sa vrednostima  $\varepsilon_{c3}$  i  $\varepsilon_{cu3}$  prema tabeli 3.1.

(3) Može da se pretpostavi i pravougaoni dijagram napona (*rectangular stress distribution*) (kao na slici 3.5). Koeficijent  $\lambda$ , kojim se definiše efektivna visina pritisnute zone (*effec-*

tive height of the compressive zone), i koeficijent  $\eta$ , kojim se definiše odgovarajuća efektivna čvrstoća, dati su sledećim izrazima:



Slika 3.4: Bilinearni dijagram napon-dilatacija

$$\lambda = 0,8 \quad \text{za} \quad f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \quad (3.19)$$

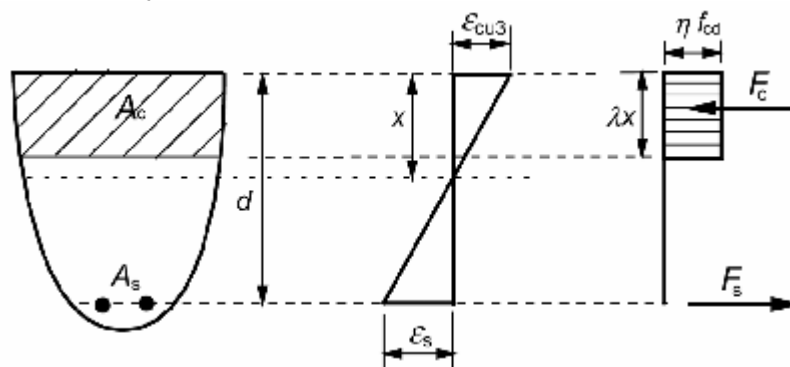
$$\lambda = 0,8 - (f_{ck} - 50)/400 \quad \text{za} \quad 50 < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa} \quad (3.20)$$

i

$$\eta = 0,8 \quad \text{za} \quad f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \quad (3.21)$$

$$\eta = 0,8 - (f_{ck} - 50)/200 \quad \text{za} \quad 50 < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa} \quad (3.22)$$

**Napomena:** Ako se širina pritisnute zone smanjuje u smeru najviše pritisnute ivice preseka, vrednost  $\eta \cdot f_{cd}$  treba da se smanji za 10%.



Slika 3.5: Pravougaoni dijagram napona

### 3.1.8 ČVRSTOĆA PRI ZATEZANJU SAVIJANJEM

(1) Srednja vrednost čvrstoće armiranobetonских elemenata pri zatezanju savijanjem (*flexural tensile strength*) zavisi od srednje vrednosti čvrstoće betona pri aksijalnom zatezanju i visine poprečnog preseka. Može da se koristi sledeći odnos:

$$f_{ctm,fl} = \max \{ (1,6 - h/1000) f_{ctm}; f_{ctm} \} \quad (3.23)$$

gde je:

## EN 1992-1-1:2004

$h$  ukupna visina elementa u mm

$f_{ctm}$  srednja vrednost čvrstoće betona pri aksijalnom zatezanju, prema tabeli 3.1.

Odnos dat izrazom (3.23) važi i za karakteristične vrednosti čvrstoće pri zatezanju.

### 3.1.9 UTEGNUTI BETON

(1) Utezanjem betona (*confinement of concrete*) menja se efektivni odnos napon-dilatacija: beton pri opterećenju do loma dostiže veće čvrstoće i veće kritične dilatacije. Za potrebe proračuna može da se smatra da utezanje betona nema uticaja na ostala osnovna svojstva materijala.

(2) Ukoliko se ne raspolaze preciznijim podacima, može da se koristi dijagram napon-dilatacija na slici 3.6 (dilatacija usled napona pritiska prikazana je sa pozitivnim znakom), sa povećanim karakterističnim vrednostima čvrstoće i dilatacijama, prema izrazima:

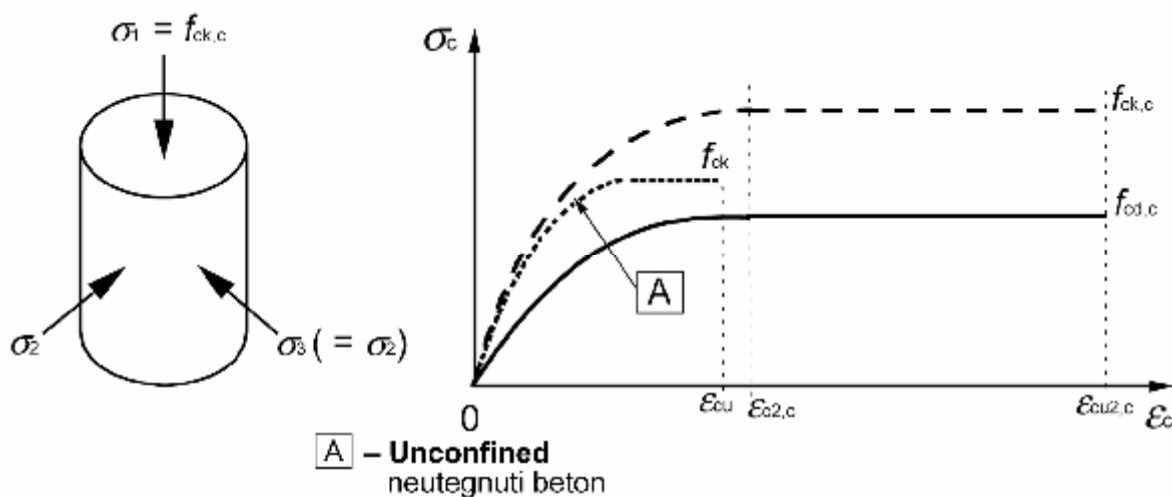
$$f_{ck,c} = f_{ck} (1,000 + 5,0 \sigma_2 / f_{ck}) \quad \text{za } \sigma_2 \leq 0,05 f_{ck} \quad (3.24)$$

$$f_{ck,c} = f_{ck} (1,125 + 2,50 \sigma_2 / f_{ck}) \quad \text{za } \sigma_2 > 0,05 f_{ck} \quad (3.25)$$

$$\varepsilon_{c2,c} = \varepsilon_{c2} (f_{ck,c} / f_{ck})^2 \quad (3.26)$$

$$\varepsilon_{cu2,c} = \varepsilon_{cu2} + 0,2 \sigma_2 / f_{ck} \quad (3.27)$$

gde je  $\sigma_2$  ( $= \sigma_3$ ) efektivni bočni napon pritiska u GSN usled utezanja a  $\varepsilon_{c2}$  i  $\varepsilon_{cu2}$  slede iz tabele 3.1. Utezanje se može ostvariti adekvatno zatvorenim uzengijama ili poprečnom armaturom (*cross ties*), za koju se u proračunu pretpostavlja da dostiže granicu razvlačenja usled poprečnih dilatacija izduženja betona.



Slika 3.6: Dijagram napon-dilatacija za utegnuti beton

## 3.2 ČELIK ZA ARMATURU

### 3.2.1 OPŠTE ODREDBE

(1)P U odredbama koje slede dati su principi i pravila za armaturu u obliku šipki (*bars*), ispravljenih žica isporučenih u koturovima (*de-coiled rods*), zavarenih armaturnih mreža

(*welded fabric*) i lestvičastih nosača (armaturnih nosača sa ortogonalnom ispunom) (*lattice girders*). Ove odredbe ne važe za šipke sa posebnom zaštitom površine (premazima) (*coated bars*).

**(2)P** Zahtevi u pogledu svojstava armature odnose se na materijal ugrađen u očvršli beton. Ako postupci na gradilištu mogu da utiču na zahtevana svojstva armature, ta svojstva moraju da se provere posle takvih postupaka.

**(3)P** Kada se koriste drugačije vrste armature, koje nisu saglasne sa EN 10080, mora da se dokaže da svojstva armature ispunjavaju zahteve date u 3.2.2 do 3.2.6 i u Aneksu C.

**(4)P** Zahtevana svojstva čelika za armiranje moraju da se dokažu koristeći metode ispitivanja propisane u EN 10080.

**Napomena:** EN 10080 se poziva na granicu razvlačenja (*yield strength*)  $R_e$  koja odgovara karakterističnim minimalnim i maksimalnim vrednostima određenim u proizvodnji sa dugotrajno kontrolisanim nivoom kvaliteta. Nasuprot tome, karakteristična vrednost granice razvlačenja (*characteristic yield stress*)  $f_{yk}$  je vrednost koja se odnosi samo na armaturu koja se koristi u konkretnoj konstrukciji. Ne postoji direktan odnos između  $f_{yk}$  i karakteristične vrednosti  $R_e$ . Međutim, metode za određivanje vrednosti i proveru granice razvlačenja, koje su date u EN 10080, obezbeđuju dovoljnu sigurnost za određivanje  $f_{yk}$ .

**(5)** Pravila za primenu lestvičastih armaturnih nosača sa ortogonalnom ispunom od armature (*lattice girders*) (videti EN 10080 za definiciju), važe samo za nosače od rebraste armature. Takvi nosači sa drugačijim vrstama armature mogu da budu predmet odgovarajućeg Evropskog tehničkog odobrenja ETA.

### 3.2.2 SVOJSTVA

**(1)P** Ponašanje čelika za armaturu definišu sledeća svojstva:

- karakteristična vrednost granice razvlačenja (*yield strength*) ( $f_{yk}$  ili  $f_{0,2k}$ )
- maksimalna stvarna granica razvlačenja (*maximum actual yield strength*) ( $f_{y,max}$ )
- čvrstoća pri zatezanju (*tensile strength*) ( $f_t$ )
- duktilnost (*ductility*) ( $\epsilon_{yk}$  i  $f_t/f_{yk}$ )
- podobnost za savijanje (*bendability*)
- prionljivost (*bond characteristics*) ( $f_R$ : videti Aneks C)
- dimenzije poprečnog preseka i tolerancije (*section sizes and tolerances*)
- čvrstoća na zamor (*fatigue strength*)
- zavarljivost (*weldability*)
- čvrstoća pri smicanju i nosivost vara (*shear and weld strength*) za zavarene armature mreže i lestvičaste nosače.

**(2)P** Ovaj Evrokod važi za rebrastu armaturu (*ribbed reinforcement*) i armaturu koja se može zavarivati (*weldable*), uključivo zavarene armature mreže. Dozvoljeni postupci zavarivanja dati su u tabeli 3.4.

**Napomena 1:** Svojstva armature koja se zahtevaju za korišćenje prema ovom Evrokodu data su u Aneksu C.

**Napomena 2:** Svojstva i pravila za primenu uzubljenih šipki (šipki sa udubljenjima) (*indented bars*) u prefabrikovanim betonskim proizvodima mogu da se nađu u odgovarajućem standardu za proizvod.

**(3)P** Pravila za proračun i konstrukcijsku dispoziciju detalja u ovom Evrokodu važe za propisani opseg granice razvlačenja  $f_{yk} = 400$  do  $600$  MPa.

**Napomena:** Gornja granica  $f_{yk}$  unutar ovog opsega, koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu.

(4)P Karakteristike površine rebrastih šipki moraju da budu takve da obezbeđuju adekvatno prijanjanje (spoj) betona i armature (*bond*).

(5) Može da se pretpostavi da je prijanjanje adekvatno ako rebrasta armatura zadovoljava propisanu vrednost projekcije površine rebra (*projected rib area*)  $f_R$ .

**Napomena:** Minimalne vrednosti relativne površine rebra,  $f_R$ , date su u Aneksu C.

(6)P Armatura mora da raspolaže adekvatnom podobnošću za savijanje (*bendability*) da bi mogli da se koriste valjci za savijanje armature sa minimalnim prečnicima koji su propisani u tabeli 8.1 i da bi se omogućilo ispravljanje armature (*rebending*).

**Napomena:** Za zahteve za savijanje i ispravljanje armature videti Aneks C.

### 3.2.3 ČVRSTOĆA

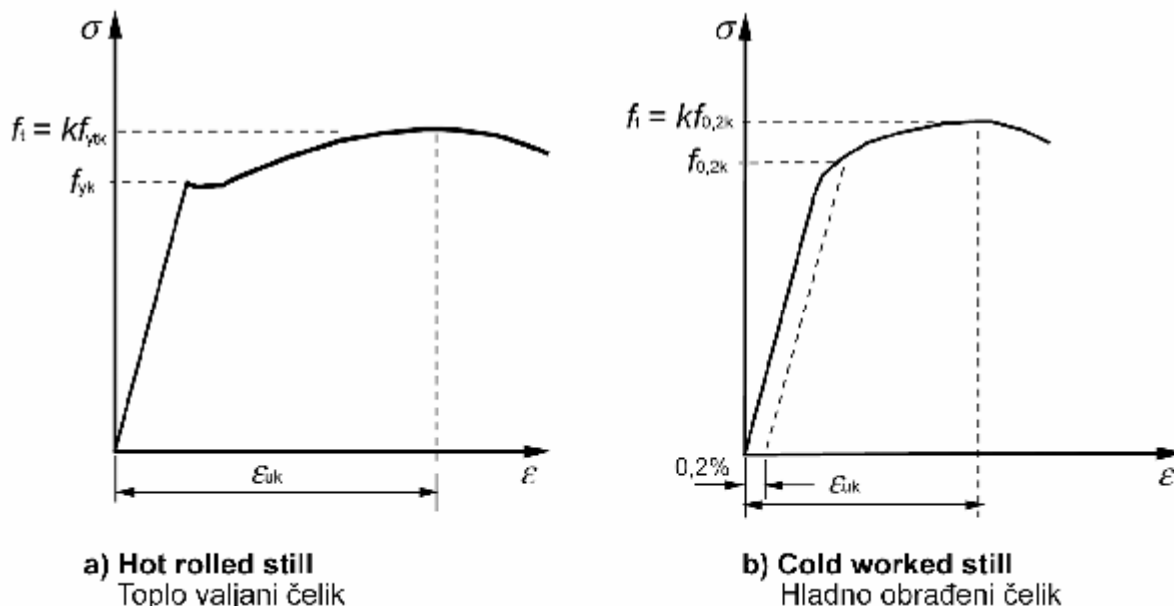
(1)P Karakteristična vrednost granice razvlačenja  $f_{yk}$  (ili konvencionalna granica razvlačenja - napon pri kojem je nepovratna dilatacija 0,2%) (*0,2% proof stress*)  $f_{0,2k}$ , i karakteristična vrednost čvrstoće pri zatezanju  $f_{tk}$ , definisane su kao karakteristična vrednost sile na granici razvlačenja, odnosno karakteristična vrednost maksimalne sile pri direktnom aksijalnom zatezanju, podeljene sa nominalnom površinom poprečnog preseka.

### 3.2.4 KARAKTERISTIKE DUKTILNOSTI

(1)P Armatura mora da ima adekvatnu duktilnost, definisanu odnosom vrednosti čvrstoće pri zatezanju i granice razvlačenja  $(f_t/f_y)_k$  i dilatacijom pri maksimalnoj sili  $\epsilon_{uk}$ .

(2) Na slici 3.7 prikazani su dijagrami napon-dilatacija za tipičan toplo valjani (*hot rolled*) i za hladno obrađeni (*cold worked*) čelik.

**Napomena:** Vrednosti  $(f_t/f_y)_k$  i  $\epsilon_{uk}$  za klase armature A, B i C date su u Aneksu C.



**Slika 3.7: Dijagrami napon-dilatacija za tipične čelike za armaturu (naponi i dilatacije pri zatezanju prikazani su u apsolutnim vrednostima)**

### 3.2.5 ZAVARIVANJE

(1)P Postupci zavarivanja (*welding*) armature moraju da budu u saglasnosti sa tabelom 3.4 a zavarljivost (*weldability*) mora da odgovara odredbama EN 10080.

**Tabela 3.4: Dopušteni postupci zavarivanja i primeri primene**

Slučaj opterećenja (Loading case)	Postupak zavarivanja (Welding method)	Zategnute šipke <sup>1</sup> (Bars in tension)	Pritisnute šipke <sup>1</sup> (Bars in compression)
<b>Dominantno statičko (videti 6.8.1 (2))</b> (Predominantly static) (see 6.8.1 (2))	elektrolučno zavarivanje (flash-welding)	sučeoni spoj (butt joint)	
	ručno elektrolučno zavarivanje i elektrolučno zavarivanje sa topljivom elektrodom (manual metal arc welding and metal arc welding with filling electrode)	sučeoni spoj sa $\varnothing \geq 20$ mm, podvezice, preklapanje, krstasti spojevi <sup>3</sup> i spoj sa drugim čeličnim elementima (butt joint with $\varnothing \geq 20$ mm, splice, lap, cruciform Joints, joint with other steel members)	
	elektrolučno zavarivanje sa aktivnim gasom (MAG) <sup>2</sup> (metal arc active welding)	podvezice, preklapanje, krstasti spojevi <sup>3</sup> i spoj sa drugim čeličnim elementima (splice, lap, cruciform joints & joint with other steel members)	
		–	sučeoni spoj $\varnothing \geq 20$ mm
	zavarivanje varničenjem (friction welding)	sučeoni spoj, spoj sa drugim čeličnim elementima (butt joint, joint with other steels)	
elektrolučno tačkasto zavarivanje (resistance spot welding with one-point welding machine)	spoj preklapanjem <sup>4</sup> (lap joint) krstasti spoj <sup>2,4</sup> (cruciform joint)		
<b>Nije dominantno statičko (videti 6.8.1 (2))</b> (Not predominantly static) (see 6.8.1 (2))	elektrolučno zavarivanje	sučeoni spoj	
	ručno elektrolučno zavarivanje	–	sučeoni spoj $\varnothing \geq 14$ mm
	elektrolučno zavarivanje sa topljivom elektrodom <sup>2</sup>	–	sučeoni spoj $\varnothing \geq 14$ mm
	elektrolučno tačkasto zavarivanje	spoj preklapanjem <sup>4</sup> krstasti spoj <sup>2,4</sup>	
<b>Napomene:</b>			
1. Zavarivanjem mogu da se nastavljaju samo šipke sa približno istim nominalnim prečnikom.			
2. Dopušteni odnos različitih prečnika šipki ( <i>mixed diameter bars</i> ) $\geq 0,57$ .			
3. Za noseće varove $\varnothing \leq 16$ mm.			
4. Za noseće varove $\varnothing \leq 28$ mm.			

(2)P Svako zavarivanje šipki armature mora da bude izvedeno u skladu sa EN ISO 17760.

(3)P Nosivost varova zavarene armature mreže na dužini ankerovanja mora da bude dovoljna da se prihvate proračunske sile.

(4) Može da se pretpostavi da je nosivost varova zavarene armature mreže adekvatna ako svaki zavareni spoj (var) može da prihvati silu smicanja koja iznosi najmanje **25%** sile ekvivalentne proizvodu propisane karakteristične vrednosti granice razvlačenja i nominalne

## EN 1992-1-1:2004

površine poprečnog preseka žice. Ako su žice u mreži različitog prečnika, ta sila se određuje prema žici većeg prečnika.

### 3.2.6 ZAMOR

(1)P Kada se zahteva čvrstoća na zamor, vrednost čvrstoće na zamor mora da se proveri prema EN 10080.

**Napomena:** Informacije su date u Aneksu C.

### 3.2.7 PRORAČUNSKE PRETPOSTAVKE

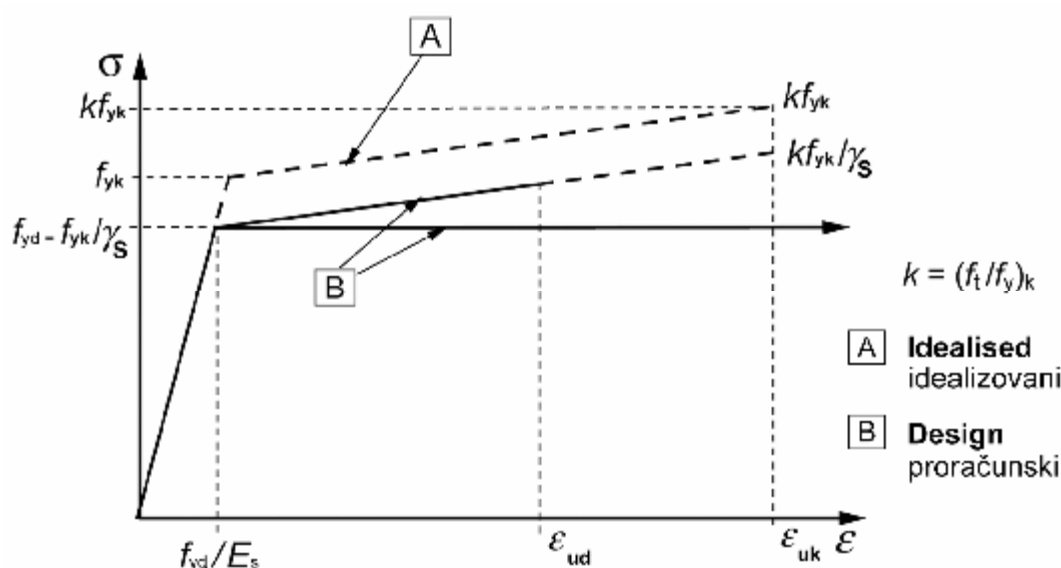
(1) U proračunu treba da se koristi nominalna površina poprečnog preseka armature i proračunske vrednosti određene na osnovu karakterističnih vrednosti datih u 3.2.2.

(2) Za uobičajeni proračun može sa se usvoji jedna od sledećih pretpostavki (videti sliku 3.8):

- dijagram sa gornjom granom u nagibu (*inclined top branch*), sa ograničenjem dilatacije na vrednost  $\epsilon_{ud}$  i sa maksimalnim naponom  $kf_{yk}/\gamma_s$  pri graničnoj dilataciji  $\epsilon_{uk}$ , gde je  $k = (f_t/f_y)_k$ ,
- dijagram sa horizontalnom gornjom granom (*horizontal top branch*), bez ograničenja dilatacije.

**Napomena 1:** Vrednost  $\epsilon_{ud}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je  $0,9 \epsilon_{uk}$ .

**Napomena 2:** Vrednost  $(f_t/f_y)_k$  data je u Aneksu C.



**Slika 3.8: Idealizovani i proračunski dijagrami napon-dilatacija za čelik za armaturu (za zatezanje i za pritisak)**

(3) Može da se pretpostavi da je srednja vrednost zapreminske mase armature  $7850 \text{ kg/m}^3$ .

(4) Za proračunsku vrednost modula elastičnosti  $E_s$  može da se usvoji **200 GPa**.

### 3.3 ČELIK ZA PRETHODNO NAPREZANJE

#### 3.3.1 OPŠTE ODREDBE

**(1)P** Odredbe ovog poglavlja odnose se na žice (*wires*), šipke (*bars*) i užad (*strands*) koji se koriste za kablove za prethodno naprezanje (*prestressing tendons*) u betonskim konstrukcijama.

**(2)P** Kablovi za prethodno naprezanje moraju da imaju prihvatljivo nizak nivo osetljivosti na dejstvo naponske korozije (*stress corrosion*).

**(3)** Može da se smatra da kablovi za prethodno naprezanje imaju prihvatljivo nizak nivo osetljivosti na naponsku koroziju ukoliko ispunjavaju kriterijume koji su propisani u EN 10138 ili dati u odgovarajućem Evropskom tehničkom odobrenju (*European Technical Approval - ETA*).

**(4)** Zahtevi u pogledu svojstava kablova za prethodno naprezanje odnose se na materijale ugrađene u konstrukciju. Kada su postupci proizvodnje, ispitivanja i atestiranja usaglašenosti kablova za prethodno naprezanje u skladu sa EN 10138, ili sa uslovima datim u odgovarajućem ETA, može da se smatra da su ispunjeni zahtevi ovog Evrokoda.

**(5)P** Za čelike koji ispunjavaju zahteve ovog Evrokoda, čvrstoća pri zatezanju (*tensile strength*), konvencionalna granica razvlačenja (napon pri kojem je nepovratna dilatacija 0,1%) (*0,1% proof stress*) i dilatacija pri maksimalnoj sili, propisane su kao karakteristične vrednosti; te vrednosti se označavaju sa  $f_{pk}$ ,  $f_{p0,1k}$  i  $\epsilon_{uk}$ .

**Napomena:** EN 10138 se poziva na karakteristične minimalne i maksimalne vrednosti određene u proizvodnji sa dugotrajno kontrolisanim nivoom kvaliteta. Nasuprot tome,  $f_{p0,1k}$  i  $f_{pk}$  su karakteristična konvencionalna granica razvlačenja i karakteristična čvrstoća pri zatezanju samo onog čelika za prethodno naprezanje koji se koristi u konkretnoj konstrukciji. Ne postoji direktan odnos između ta dva skupa vrednosti. Međutim, karakteristična vrednost konvencionalne granice sile razvlačenja (*0,1% proof force*)  $F_{p0,1k}$ , podeljena sa površinom poprečnog preseka  $S_n$ , zajedno sa metodama za određivanje i proveru datim u EN 10138, obezbeđuju dovoljnu sigurnost za određivanje vrednosti  $f_{p0,1k}$ .

**(6)** Kada se koriste drugaciji čelici, koji nisu usaglašeni sa zahtevima EN 10138, njihova svojstva mogu da budu data u odgovarajućem ETA.

**(7)P** Mora se obezbediti mogućnost jasne identifikacije svakog proizvoda, u skladu sa sistemom klasifikacije u 3.3.3 (2)P.

**(8)P** U pogledu relaksacije kablovi za prethodno naprezanje moraju da odgovaraju klasama relaksacije prema 3.3.2 (4)P ili klasama datim u odgovarajućem ETA.

**(9)P** Svaka isporuka kablova za prethodno naprezanje mora da ima odgovarajući sertifikat koji sadrži sve podatke neophodne za njihovu identifikaciju u pogledu (i) - (iv) u 3.3.2 (2)P, kao i dodatne informacije kada je to potrebno.

**(10)P** Žice i šipke ne smeju da imaju varove. Pojedine žice u užadima mogu da imaju stepenasto smaknute varove samo ako su zavareni pre hladnog izvlačenja (*cold drawing*).

**(11)P** Posle odvijanja prethodno napregnutih kablova koji se isporučuju u koturovima, određena dužina žice, odnosno užeta, mora da ima maksimalni otklon u odnosu na ravnu podlogu u skladu sa EN 10138, ukoliko odgovarajućim ETA nije drugačije propisano.

### 3.3.2 SVOJSTVA

(1)P Svojstva čelika za prethodno naprezanje data su u EN 10138, delovi 2 do 4, ili u odgovarajućem Evropskom tehničkom odobrenju.

(2)P Kablovi za prethodno naprezanje (žice, užad i šipke) moraju da se klasifikuju prema sledećim karakteristikama:

- (i) **Čvrstoći** (*strength*), kojom se označava karakteristična vrednost konvencionalne granice razvlačenja (napon pri kojem je nepovratna dilatacija **0,1%**) (*0,1% proof stress*) ( $f_{p0,1k}$ ),  
vrednost odnosa čvrstoće pri zatezanju i konvencionalne granice razvlačenja ( $f_{pk}/f_{p0,1k}$ )  
i dilatacija pri maksimalnom opterećenju (*elongation at maximum load*) ( $\epsilon_{uk}$ )
- (ii) **Klasi**, kojom se definiše ponašanje pri relaksaciji (*relaxation behaviour*)
- (iii) **Dimenzijama preseka** (*size*)
- (iv) **Karakteristikama površine** (*surfaces characteristics*).

(3)P Stvarna masa kablova za prethodno naprezanje ne sme da se razlikuje od nominalne mase više od granica koje su propisane u EN 10138 ili date u odgovarajućem ETA.

(4)P U ovom Evrokodu definisane su tri klase relaksacije:

- klasa 1: žice ili užad – kablovi sa običnom relaksacijom (*ordinary relaxation*)
- klasa 2: žice ili užad – kablovi sa niskom relaksacijom (*low relaxation*)
- klasa 3: vruće valjane i naknadno obrađene (*processed*) šipke.

**Napomena:** Klasa 1 nije obuhvaćena u EN 10138.

(5) U proračunu gubitaka sile usled relaksacije čelika za prethodno naprezanje treba da se koristi veličina  $\rho_{1000}$ , kojom se označava gubitak usled relaksacije (u %) (*relaxation loss*) **1000 časova** posle zatezanja, na srednjoj temperaturi od **20°C** (videti EN 10138 za definiciju izotermičkog testa relaksacije).

**Napomena:** Vrednost  $\rho_{1000}$  izražena je u procentima u odnosu na početni napon i određuje se za početni napon koji je jednak **0,7  $f_p$** , gde je  $f_p$  stvarna čvrstoća pri zatezanju uzoraka čelika za prethodno naprezanje koji se ispituju. Za potrebe proračuna koristi se karakteristična vrednost čvrstoće pri zatezanju ( $f_{pk}$ ), o čemu je u sledećim izrazima vođeno računa.

(6) Za vrednosti  $\rho_{1000}$  može da se pretpostavi da iznose **8%** za klasu 1, **2,5%** za klasu 2 i **4%** za klasu 3, ukoliko se ne koriste vrednosti iz sertifikata.

(7) Gubitak usled relaksacije može da se dobije iz sertifikata o atestima proizvođača ili može da se odredi kao procentualni pad napona prethodnog zatezanja u odnosu na početni napon prethodnog zatezanja. Gubici treba da se odrede primenom jednog od izraza u daljem tekstu. Izraz (3.28) važi za žice i užad od običnog čelika za prethodno naprezanje, (3.29) za užad od niskorelaksacionog čelika za prethodno naprezanje, a izraz (3.30) za vruće valjane i naknadno obrađene šipke (*hot rolled and processed bars*).

$$\text{klasa 1} \quad \frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = 5,39 \rho_{1000} e^{6,7\mu} \left(\frac{t}{1000}\right)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5} \quad (3.28)$$

$$\text{klasa 2} \quad \frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = 0,66 \rho_{1000} e^{9,1\mu} \left(\frac{t}{1000}\right)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5} \quad (3.29)$$

$$\text{klasa 3} \quad \frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = 1,98 \rho_{1000} e^{8\mu} \left(\frac{t}{1000}\right)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5} \quad (3.30)$$

gde je:

- $\Delta\sigma_{pr}$  apsolutna vrednost gubitaka prethodnog napreznja usled relaksacije  
 $\sigma_{pi}$  pri naknadnom zatezanju (*post-tensioning*)  $\sigma_{pi}$  je apsolutna vrednost početnog napona prethodnog napreznja  $\sigma_{pi} = \sigma_{pm0}$  (videti i 5.10.3 (2));  
 pri prethodnom zatezanju (*pre-tensioning*)  $\sigma_{pi}$  je maksimalni napon pri zatezanju kabla, umanjen za trenutne gubitke koji nastaju u toku zatezanja, videti 5.10.4 (1) (i)  
 $t$  vreme posle zatezanja (u **časovima**)  
 $\mu = \sigma_{pi}/f_{pk}$ , gde je  $f_{pk}$  karakteristična vrednost čvrstoće pri zatezanju čelika za prethodno napreznje  
 $\rho_{1000}$  vrednost gubitka usled relaksacije (u %), **1000 časova** posle zatezanja, na srednjoj temperaturi od **20°C**.

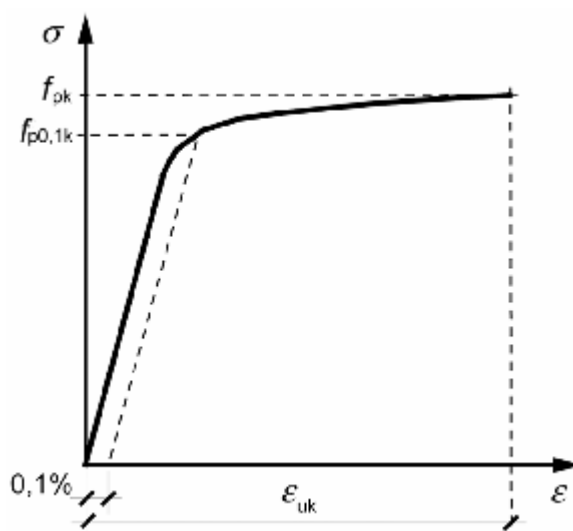
**Napomena:** Kada se gubici usled relaksacije proračunavaju za različite intervale vremena (različite faze) i kada se zahteva veća tačnost, treba da se koristi Aneks D.

(8) Može da se proceni da dugotrajne (konačne) vrednosti gubitaka usled relaksacije nastaju posle vremena  **$t = 500000$  časova** (odnosno, oko **57 godina**).

(9) Gubici usled relaksacije veoma zavise od temperature čelika. Kada se primenjuje termička nega betona (na primer, zaparivanjem), važi 10.3.2.2. U drugim slučajevima, kada je temperatura čelika viša od **50°C**, gubici usled relaksacije treba da se provere.

### 3.3.3 ČVRSTOĆA

(1)P Konvencionalna granica razvlačenja ( $f_{p0,1k}$ ) i propisana vrednost čvrstoće pri zatezanju ( $f_{pk}$ ), definisane su kao karakteristična vrednost sile pri kojoj je nepovratna dilatacija 0,1%, odnosno karakteristična vrednost maksimalne sile pri aksijalnom zatezanju, podeljene sa nominalnom površinom poprečnog preseka, kako je prikazano na slici 3.9.



**Slika 3.9: Dijagram napon-dilatacija za tipičan čelik za prethodno napreznje (naponi i dilatacije zatezanja prikazani su u apsolutnim vrednostima)**

## 3.3.4 KARAKTERISTIKE DUKTILNOSTI

- (1)P Kablovi za prethodno naprezanje moraju da imaju adekvatnu duktilnost (*ductility*), kako je propisano u EN 10138.
- (2) Može da se smatra da kablovi za prethodno naprezanje imaju adekvatnu duktilnost pri izduženju (*ductility in elongation*) ukoliko se pri maksimalnoj sili zatezanja dostižu propisane vrednosti dilatacija date u EN 10138.
- (3) Može da se smatra da kablovi za prethodno naprezanje imaju adekvatnu duktilnost pri savijanju (*ductility in bending*) ukoliko zadovoljavaju zahteve EN ISO 15630 u pogledu podobnosti za savijanje (*bendability*).
- (4) Dijagrame napon-dilatacija za kablove za prethodno naprezanje, na osnovu podataka o proizvodnji, proizvođač je obavezan da pripremi i dostavi kao aneks uz sertifikat koji prati isporuku (videti 3.3.1 (9)P).
- (5) Može da se smatra da kablovi za prethodno naprezanje imaju adekvatnu duktilnost pri zatezanju (*ductility in tension*) ako je  $f_{pk}/f_{p0,1k} \geq k$ .

**Napomena:** Vrednost  $k$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je 1,1.

## 3.3.5 ZAMOR

- (1)P Kablovi za prethodno naprezanje moraju da imaju adekvatnu čvrstoću na zamor (*fatigue strength*).
- (2)P Opseg varijacije napona pri opterećenju na zamor (*fatigue stress range*) za kablove za prethodno naprezanje mora da bude u skladu sa EN 10138 ili sa vrednošću datom u odgovarajućem ETA.

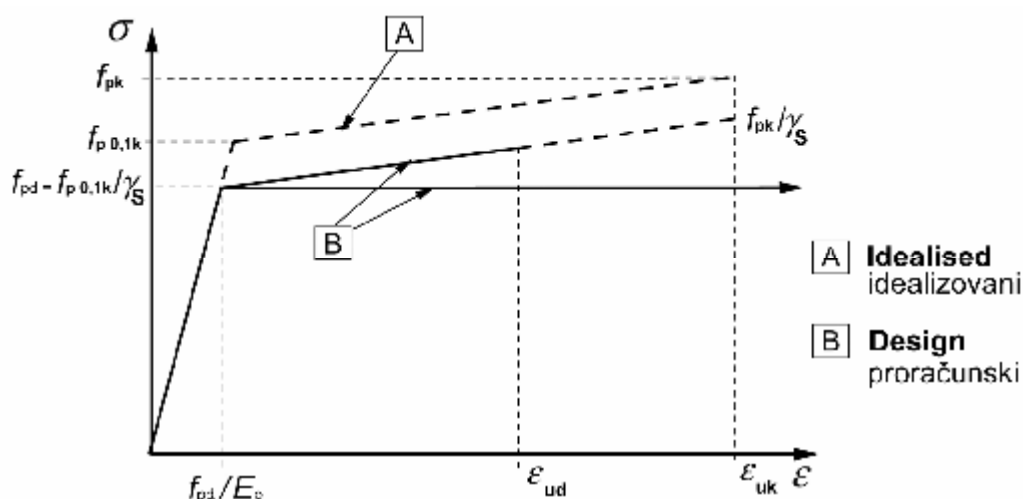
## 3.3.6 PRORAČUNSKE PRETPOSTAVKE

- (1)P Analiza konstrukcija sprovodi se sa nominalnom površinom poprečnog preseka čelika za prethodno naprezanje i sa karakterističnim vrednostima  $f_{p0,1k}$ ,  $f_{pk}$  i  $\epsilon_{uk}$ .
- (2) Može da se usvoji da je proračunska vrednost modula elastičnosti  $E_p$  za žice i šipke **205 GPa**. Stvarna vrednost može da bude u opsegu od **195 do 210 GPa**, u zavisnosti od postupka proizvodnje. U sertifikatima uz isporuku treba da budu date odgovarajuće vrednosti.
- (3) Može da se usvoji da je proračunska vrednost modula elastičnosti  $E_p$  za užad **195 GPa**. Stvarna vrednost može biti u opsegu od **185 do 205 GPa**, u zavisnosti od postupka proizvodnje. U sertifikatima uz isporuku treba da budu date odgovarajuće vrednosti.
- (4) Za potrebe proračuna normalno može da se usvoji da je srednja zapreminska masa (*mean density*) kablova za prethodno naprezanje **7850 kg/m<sup>3</sup>**.
- (5) Može da se smatra da vrednosti koje su date u prethodnim odredbama važe za čelik za prethodno naprezanje u završenoj konstrukciji, za temperature od **-40°C do +100°C**.
- (6) Za proračunsku vrednost napona u čeliku  $f_{pd}$  usvaja se  $f_{p0,1k}/\gamma_s$  (videti sliku 3.10).

(7) Za proračun poprečnog preseka može da se usvoji jedna od sledećih pretpostavki (videti sliku 3.10):

- dijagram napon-dilatacija sa gornjom granom u nagibu (*inclined top branch*), sa ograničenjem dilatacije na vrednost  $\epsilon_{ud}$ . U proračunu može da se koristi i stvarni dijagram napon/ dilatacija, ukoliko se njime raspolaze, s tim da se naponi iznad granice elastičnosti redukuju analogno slici 3.10, ili
- dijagram sa horizontalnom završnom granom (*horizontal top branch*), bez ograničenja dilatacije.

**Napomena:** Vrednost  $\epsilon_{ud}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je  $0,9 \epsilon_{uk}$ . Ako se ne raspolaze tačnijim vrednostima, preporučene vrednosti su  $\epsilon_{ud} = 0,02$  i  $f_{pd,1k}/f_{pk} = 0,9$ .



**Slika 3.10: Idealizovani i proračunski dijagrami napon-dilatacija za čelik za prethodno naprezanje (naponi i dilatacije zatezanja prikazani su u apsolutnim vrednostima)**

### 3.3.7 KABLOVI ZA PRETHODNO NAPREZANJE U ZAŠTITNIM OBLOGAMA

(1)P Kablovi za prethodno naprezanje u zaštitnim oblogama (*sheaths*) (na primer, kablovi u cevima koje se injektiraju (*bonded tendons in ducts*), kao i kablovi koji trajno ostaju bez prijanjanja (*unbonded tendons*), itd.), moraju da budu adekvatno i trajno zaštićeni od korozije (videti 4.3).

(2)P Kablovi za prethodno naprezanje u zaštitnim oblogama moraju da budu adekvatno zaštićeni od uticaja požara (videti EN 1992-1-2).

## 3.4 KONSTRUKCIJSKI ELEMENTI SISTEMA ZA PRETHODNO NAPREZANJE

### 3.4.1 ANKERI I NASTAVCI

#### 3.4.1.1 OPŠTE ODREDBE

(1)P Odredbe u 3.4.1 važe za elemente (uređaje) (*prestressing devices*) sistema za prethodno naprezanje za ankerovanje (ankeri, kotve) (*anchorage*) i za nastavljavanje kablova (nastavci) (*couplers*), u konstrukcijama u kojima se kablovi naknadno zatežu:

## EN 1992-1-1:2004

- (i) ankeri služe za prenošenje sile iz kablova na beton u ankernoj zoni
- (ii) nastavci služe za spajanje pojedinačnih kablova u kontinualne kablove.

**(2)P** Ankeri i nastavci za određeni sistem prethodnog naprezanja koji se koristi moraju da budu saglasni sa odgovarajućim ETA.

**(3)P** Konstrukcijski detalji ankernih zona moraju da budu u skladu sa 5.10, 8.10.3 i 8.10.4.

### 3.4.1.2 MEHANIČKA SVOJSTVA

#### 3.4.1.2.1 Ankerovani kablovi

**(1)P** Kablovi za prethodno naprezanje spojeni sa ankerima (ankerovani kablovi) (*tendon anchorage assemblies*) i kablovi sa nastavcima (*tendon coupler assemblies*) moraju da imaju čvrstoću, izduženje i karakteristike otpornosti na dejstvo zamora dovoljne da ispune proračunske zahteve.

**(2)** Može da se smatra da su ti zahtevi ispunjeni ako su zadovoljeni sledeći uslovi:

- (i) Geometrija i karakteristike materijala ankera i nastavaka su u skladu sa odgovarajućim ETA i isključena je mogućnost njihovog preuranjenog loma.
- (ii) Lom kabla nije provociran na kontaktu sa ankerom ili nastavkom.
- (iii) Dilatacija pri lomu kablova sa ankerima i kablova sa nastavcima je  $\geq 2\%$ .
- (iv) Sklopovi kablova i ankera nisu u zonama u kojima su visoki naponi usled drugih dejstava.
- (v) Karakteristike komponenata ankera i nastavaka u pogledu zamora su u skladu sa odgovarajućim ETA.

#### 3.4.1.2.2 Ankeri i zone ankerovanja

**(1)P** Nosivost ankera i zona ankerovanja mora da bude dovoljna da se obezbedi prenos sile iz kabla u beton. Prsline u zoni ankerovanja ne smeju da ugroze funkciju ankerovanja.

### 3.4.2 SPOLJAŠNJI KABLOVI BEZ PRIANJANJA SA BETONOM

#### 3.4.2.1 OPŠTE ODREDBE

**(1)P** Spoljašnji kabl bez prianjanja sa betonom (*external non-bonded tendon*) je kabl koji se nalazi van osnovnog betonskog preseka i u kontaktu je sa konstrukcijom samo u ankerima i na devijatorima.

**(2)P** Sistemi za naknadno zatezanje koji se koriste za spoljašnje kablove moraju da budu u skladu sa odgovarajućim ETA.

**(3)** Konstrukcijski detalji armature treba da budu u skladu sa pravilima datim u 8.10.

#### 3.4.2.2 ANKERI

**(1)** Minimalni poluprečnik krivine kabla u ankernoj zoni za kablove bez prianjanja treba da bude dat u odgovarajućem ETA.

## GLAVA 4

# TRAJNOST I ZAŠTITNI SLOJ BETONA DO ARMATURE

### 4.1 OPŠTE ODREDBE

**(1)P** Trajna konstrukcija ( *durable structure*) mora da zadovolji zahteve upotrebljivosti (*serviceability*), nosivosti (*strength*) i stabilnosti (*stability*) u toku svog proračunskog eksploatacionog veka (*design working life*), bez značajnog gubitka sposobnosti da služi svojoj nameni ili preterano velikih nepredviđenih troškova održavanja (za generalne zahteve videti i EN 1990).

**(2)P** Kada se predviđa zaštita konstrukcije, ona mora da se usvoji na osnovu razmatranja projektovane namene konstrukcije, proračunskog eksploatacionog veka (videti EN 1990), programa održavanja i dejstava na konstrukciju.

**(3)P** Mogući značaj direktnih ili indirektnih dejstava, uslova sredine (4.2) i odgovarajućih uticaja usled tih okolnosti mora da se uzme u obzir.

**Napomena:** Primeri obuhvataju i deformacije usled tečenja i skupljanja (videti 2.3.2).

**(4)** Zaštita armature od korozije zavisi od kompaktnosti (*density*), kvaliteta i debljine zaštitnog sloja betona (*concrete cover*) (videti 4.4) i od prslina (videti 7.3). Kompaktnost i kvalitet zaštitnog sloja postižu se vođenjem računa o maksimalnom vodocementnom faktoru (*water/cement ratio*) i minimalnoj količini cementa (videti EN 206-1) i mogu da uslove minimalnu klasu čvrstoće betona.

**Napomena:** Dalje informacije date su u Aneksu E.

**(5)** Metalni elementi koji su pričvršćeni za beton (*metal fastenings*), a izloženi su uticajima sredine, mogu da budu od materijala sa površinskom zaštitom ukoliko su dostupni pregledu (*inspectable*) i mogu da se zamene (*replaceable*). Ukoliko to nije slučaj, treba da budu od materijala otpornog na uticaj korozije.

**(6)** Drugi zahtevi, osim ovih koji su dati u ovoj glavi, treba da se uzme u obzir u specijalnim slučajevima (na primer, za privremene ili monumentalne konstrukcije, konstrukcije izložene ekstremnim ili neuobičajenim dejstvima, itd.).

### 4.2 USLOVI SREDINE

**(1)P** Uslovi izloženosti (*exposure conditions*) su hemijski i fizički uslovi sredine (*environmental conditions*) kojima je konstrukcija izložena, osim uticaja usled mehaničkih dejstava.

**(2)** Uslovi sredine klasifikovani su prema tabeli 4.1, koja se zasniva na EN 206-1.

**(3)** Osim uslova datih u tabeli 4.1, treba da se uzmu u obzir posebni oblici agresivnih ili indirektnih dejstava, uključujući:

**hemijsku agresiju** (*chemical attack*), usled, na primer:

- upotrebe zgrade ili konstrukcije (skladištenje tečnosti, itd.)
- rastvora kiselina ili sulfatnih soli (*solutions of acids or sulfate salts*) (EN 206-1, ISO 9690)
- hlorida koji su sadržani u betonu (*chlorides contained in the concrete*) (EN 206-1)

## EN 1992-1-1:2004

- alkalnih reakcija agregata (*alkali/aggregate reactions*) (EN 206-1, nacionalni standardi)

fizičku agresiju (*physical attack*), usled, na primer:

- temperaturnih promena (*temperature change*)
- abrazije (*abrasion*) (videti 4.4.1.2 (13))
- vodopropustljivosti (*water penetration*) (EN 206-1).

**Tabela 4.1: Klase izloženosti u zavisnosti od uslova sredine, u skladu sa EN 206-1**

Oznaka klase	Opis sredine	Informativni primeri uslova za klase izloženosti
<b>1. Bez opasnosti od korozije ili drugih agresivnih dejstava (<i>no risk of corrosion or attack</i>)</b>		
<b>XO</b>	Za nearmirani beton ili beton bez ugrađenih metalnih elemenata: svi uslovi izloženosti osim zamrzavanja/topljenja ( <i>freeze/thaw</i> ), abrazije ili hemijske agresije. Za beton sa armaturom ili ugrađenim metalnim elementima: veoma suva	Beton u unutrašnjosti zgrada sa veoma niskom vlažnošću vazduha
<b>2. Korozija izazvana karbonacijom (<i>corrosion induced by carbonation</i>)</b>		
<b>XC1</b>	Suva ili stalno mokra	Beton u unutrašnjosti zgrada sa niskom vlažnošću vazduha Beton stalno pod vodom
<b>XC2</b>	Mokra, retko suva	Površine betona dugotrajno u kontaktu sa vodom Mnogi temelji
<b>XC3</b>	Umereno vlažna	Beton u unutrašnjosti zgrada sa umerenom ili visokom vlažnošću vazduha Beton u spoljašnjem prostoru zaklonjen od kiše
<b>XC4</b>	Ciklično mokra i suva	Površine betona u kontaktu sa vodom, koje ne spadaju u klasu izloženosti XC2
<b>3. Korozija izazvana hloridima (<i>corrosion induced by chlorides</i>)</b>		
<b>XD1</b>	Umereno vlažna	Površine betona izložene dejstvu hlorida iz vazduha ( <i>airborne chlorides</i> )
<b>XD2</b>	Mokra, retko suva	Bazeni za plivanje Betonski elementi izloženi industrijskim vodama koje sadrže hloride
<b>XD3</b>	Ciklično mokra i suva	Delovi mostova izloženi prskanju aerosola sa sadržajem hlorida Kolovozi Ploče parkinga
<b>4. Korozija izazvana hloridima iz morske vode (<i>corrosion induced by chlorides from sea water</i>)</b>		
<b>XS1</b>	Izložena dejstvu soli iz vazduha, ali bez direktnog kontakta sa morskom vodom	Konstrukcije u blizini ili na obali mora
<b>XS2</b>	Stalno pod vodom	Delovi konstrukcija u moru
<b>XS3</b>	Zone pod dejstvom plime i oseke, zapljuskivanja i raspršavanja	Delovi konstrukcija u moru
<b>5. Korozija izazvana agresijom od uticaja zamrzavanja/topljenja (<i>freeze/thaw attack</i>)</b>		
<b>XF1</b>	Umereno zasićena vodom, bez soli za odleđivanje ( <i>de-icing agent</i> )	Vertikalne površine betona izložene kiši i zamrzavanju

<b>XF2</b>	Umereno zasićena vodom, sa solima za odleđivanje	Vertikalne površine betona na konstrukcijama na putevima, izložene zamrzavanju i solima za odleđivanje iz vazduha ( <i>airborne de-icing agents</i> )
<b>XF3</b>	Jako zasićena vodom bez soli za odleđivanje	Horizontalne površine betona izložene kiši i zamrzavanju
<b>XF4</b>	Jako zasićena vodom sa solima za odleđivanje ili sa morskom vodom	Putne ili mostovske kolovozne konstrukcije izložene solima za odleđivanje Površine betona izložene direktnom uticaju aerosola koji sadrži soli za odleđivanje i zamrzavanju Zone zapljuskivanja konstrukcija u moru izložene zamrzavanju
<b>5. Hemijska agresija (<i>chemical attack</i>)</b>		
<b>XA1</b>	Malo agresivna hemijska sredina, prema EN 206-1, tabela 2	Prirodna tla i podzemna voda
<b>XA2</b>	Umereno agresivna hemijska sredina, prema EN 206-1, tabela 2	Prirodna tla i podzemna voda
<b>XA3</b>	Jako agresivna hemijska sredina, prema EN 206-1, tabela 2	Prirodna tla i podzemna voda

**Napomena:** Sastav betona utiče i na zaštitu armature i na otpornost betona na agresivna dejstva sredine. U Aneksu E date su indikativne klase čvrstoće betona koje se preporučuju za pojedine klase izloženosti uticajima sredine. Na osnovu uslova izloženosti može da se usvoji klasa čvrstoće viša od one koja je potrebna prema proračunu konstrukcije. U takvim slučajevima u proračunu minimalne površine armature i kontroli širine prslina (videti 7.3.2 – 7.3.4) treba da se uzme u obzir vrednost  $f_{ctm}$  koja odgovara većoj od tih čvrstoća.

### 4.3 ZAHTEVI ZA OBEZBEĐENJE TRAJNOSTI

**(1)P** Da bi se obezbedio zahtevani proračunski eksploatacioni vek konstrukcije moraju da se preduzmu adekvatne mere da se svaki konstrukcijski element zaštiti od odgovarajućih dejstava sredine.

**(2)P** Zahtevi za obezbeđenje trajnosti moraju da se uzmu u obzir pri razmatranju:

konstrukcijske koncepcije,  
izbora materijala,  
konstrukcijskih detalja,  
izvođenja,  
kontrole kvaliteta,  
nadzora,  
provera,  
posebnih mera (na primer, korišćenja nerđajućeg čelika, zaštitnih premaza, katodne zaštite).

### 4.4 METODE PRORAČUNA

#### 4.4.1 ZAŠTITNI SLOJ BETONA

##### 4.4.1.1 OPŠTE ODREDBE

**(1)P** Debljina zaštitnog sloja (*concrete cover*) je rastojanje između površine armature koja je najbliža površini betona (uključujući uzengije i površinsku armaturu, ako postoji), i najbliže površine betona.

(2)P Nominalni zaštitni sloj (*nominal cover*) mora da se propiše na planovima. Nominalni zaštitni sloj definiše se kao minimalni zaštitni sloj (*minimal cover*),  $c_{min}$  (videti 4.4.1.2), koji se povećava za toleranciju (odstupanje u izvođenju) koja se uzima u obzir u proračunu,  $\Delta c_{dev}$ , (videti 4.4.1.3):

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad (4.1)$$

#### 4.4.1.2 MINIMALNI ZAŠTITNI SLOJ $c_{min}$

(1)P Minimalni zaštitni sloj (*minimum cover*)  $c_{min}$  mora da se predvidi da bi se obezbedili:

- siguran prenos sila prijanjanja betona i armature (videti i glave 7 i 8)
- zaštita armature od korozije (trajnost)
- adekvatna otpornost na dejstvo požara (videti EN 1992-1-2).

(2)P Mora da se usvoji veća od vrednosti  $c_{min}$  koje zadovoljavaju i zahteve u pogledu prijanjanja betona i armature i zahteve koji proizilaze iz uslova sredine.

$$c_{min} = \max \{ c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm} \} \quad (4.2)$$

gde je:

- $c_{min,b}$  minimalni zaštitni sloj s obzirom na uslove prijanjanja, videti 4.4.1.2 (3)
- $c_{min,dur}$  minimalni zaštitni sloj s obzirom na uslove sredine, videti 4.4.1.2 (5)
- $\Delta c_{dur,\gamma}$  dodatni element sigurnosti, (*additive safety element*) videti 4.4.1.2 (6)
- $\Delta c_{dur,st}$  smanjenje minimalnog zaštitnog sloja kada se koristi nerđajući čelik, videti 4.4.1.2 (7)
- $\Delta c_{dur,add}$  smanjenje minimalnog zaštitnog sloja kada se koristi dodatna zaštita, videti 4.4.1.2 (8).

(3) Da bi se obezbedilo sigurno prenošenje sila prijanjanja i osiguralo adekvatno zbijanje betona, minimalni zaštitni sloj ne treba da bude manji od veličine  $c_{min,b}$  koja je data u tabeli 4.2.

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

Zahtevi s obzirom na uslove prijanjanja betona i armature	
Raspored šipki	Minimalni zaštitni sloj $c_{min,b}$ *
Pojedinačne šipke	Prečnik šipke
Šipke u svežnju	Ekvivalentan prečnik ( $\varnothing_n$ ) (videti 8.9.1)
* Ako je nominalna maksimalna dimenzija agregata veća od 32 mm, $c_{min,b}$ treba povećati za 5 mm.	

**Napomena:** Vrednosti  $c_{min,b}$  za kablove sa kružnim i pravougaonim cevima koji se naknadno zatežu i injektiraju, kao i za kablove koji se prethodno zatežu, koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti za zaštitni sloj cevi kablova koji se naknadno zatežu su:

- kružne cevi:** prečnik cevi
  - pravougaone cevi:** veća od manje dimenzije cevi ili od polovine veće dimenzije cevi.
- Ne zahteva se više od 80 mm ni za kružne ni za pravougaone cevi.

Preporučene vrednosti za zaštitni sloj kablova koji se prethodno zatežu:

- 1,5 × prečnik užeta ili glatke žice
- 2,5 × prečnik uzubljene žice.

(4) Za ankere kablova za prethodno naprezanje minimalni zaštitni sloj treba da se obezbedi u skladu sa odgovarajućim ETA.

(5) Minimalni zaštitni slojevi za armaturu i za kablove za prethodno naprezanje u betonu normalne težine, s obzirom na klase izloženosti uticajima sredine i klase konstrukcije, dati su vrednostima  $c_{min,dur}$ .

**Napomena:** Klasifikacija konstrukcija i vrednosti  $c_{min,dur}$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena klasa konstrukcija (proračunski eksploatacioni vek od 50 godina) je S4 za indikativne čvrstoće betona date u Aneksu E; preporučene modifikacije klase konstrukcije date su u tabeli 4.3N. Preporučena minimalna klasa konstrukcije je S1.

Preporučene vrednosti  $c_{min,dur}$  date su u tabeli 4.4N (za armaturu) i tabeli 4.5N (za čelik za prethodno naprezanje).

**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 <sup>1)2)</sup>	≥ C30/37 smanjiti klasu za 1	≥ C30/37 smanjiti klasu za 1	≥ C35/45 smanjiti klasu za 1	≥ C40/50 smanjiti klasu za 1	≥ C40/50 smanjiti klasu za 1	≥ C40/50 smanjiti klasu za 1	≥ C45/55 smanjiti klasu za 1
Elementi čija geometrija odgovara pločama (postupak gradnja 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

**Napomene uz tabelu 4.3N:**

1. Smatra se da su klasa čvrstoće i w/c faktor međusobno zavisne veličine. Može da se razmotri mogućnost posebne kompozicije (vrsta cementa, w/c faktor, frakcije fine ispuhe) da bi se napravio beton niske vodopropustljivosti.
2. Granična vrednost može da se smanji za jednu klasu čvrstoće ukoliko se primeni više od 4% uvučenog vazduha (*air entrainment*).

**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

Tabela 4.5N: Vrednosti minimalnog zaštitnog sloja  $c_{min,dur}$ , za čelik za prethodno naprezanje s obzirom na trajnost

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	15	20	25	30	35	40
S2	10	15	25	30	35	40	45
S3	10	20	30	35	40	45	50
S4	10	25	35	40	45	50	55
S5	15	30	40	45	50	55	60
S6	20	35	45	50	55	60	65

(6) Zaštitni sloj betona može da se poveća za vrednost  $\Delta c_{dur,y}$ , kojom se obezbeđuje dodatna sigurnost (*additive safety element*).

**Napomena:** Vrednost  $\Delta c_{dur,y}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **0 mm**.

(7) Kada se koristi nerđajući čelik ili kada su preduzete druge specijalne mere, minimalni zaštitni sloj može da se smanji za vrednost  $\Delta c_{dur,st}$ . U takvim slučajevima treba razmotriti uticaje smanjenja na sva relevantna svojstva materijala, uključujući i prianjanje betona i čelika.

**Napomena:** Vrednost  $\Delta c_{dur,st}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Ukoliko nema drugačijih propisanih zahteva, preporučena vrednost je **0 mm**.

(8) Za beton sa dodatnom zaštitom (na primer, premazima), minimalni zaštitni sloj može da se smanji za vrednost  $\Delta c_{dur,add}$ .

**Napomena:** Vrednost  $\Delta c_{dur,add}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Ukoliko nema drugačijih propisanih zahteva, preporučena vrednost je **0 mm**.

(9) Kada se beton ugrađuje na licu mesta (*in-situ concrete*), u kontaktu sa drugim betonskim elementima (prefabrikovanim ili ranije ugrađenim na gradilištu), minimalni zaštitni sloj betona od armature do kontaktne površine sa postojećim betonom može da se smanji na vrednost koja odgovara zahtevu za postizanje zadovoljavajućeg prianjanja betona i armature (videti (3) u prethodnom tekstu), pod uslovom da je:

- klasa betona najmanje **C25/30**,
- vreme za koje je kontaktna površina betona bila izložena uticajima spoljašnje sredine kratko (< **28 dana**),
- kontaktna površina ohrapavljena.

(10) Za kablove bez prianjanja zaštitni sloj treba da se obezbedi prema ETA.

(11) Za površine koje nisu ravne (na primer, površine betona sa vidljivom strukturom agregata) minimalni zaštitni sloj treba da se poveća za najmanje **5 mm**.

(12) Kada se očekuje zamrzavanje/topljenje (*freeze/thaw*) ili dejstvo hemijske agresije na beton (klase XF i XA), posebna pažnja treba da se obrati na sastav betona (videti EN 206-1 glava 6). Zaštitni sloj betona prema 4.4 obično je u takvim slučajevima dovoljan.

(13) U pogledu abrazije betona posebna pažnja treba da se obrati na agregat, prema EN 206-1. Jedna od mogućnosti je da se abrazija betona uzme u obzir povećanjem zaštitnog sloja (žrtvovani sloj) (*sacrificial layer*). U tom slučaju minimalni zaštitni sloj  $c_{min}$  treba da se poveća za  $k_1$  za klasu abrazije XM1, za  $k_2$  za klasu XM2 i za  $k_3$  za klasu XM3.

**Napomena:** Klasa abrazije XM1 znači da je abrazija umerena (*moderate abrasion*), kao na elementima industrijskih objekata na kojima saobraćaju vozila sa pneumaticima. Klasa abrazije XM2 označava da je abrazija jaka (*heavy abrasion*), kao na elementima industrijskih objekata na kojima saobraćaju viljuškari sa vazдушnim ili punim gumenim točkovima. Klasa abrazije XM3 označava ekstremnu abraziju (*extreme abrasion*), kakvu na elementima industrijskih objekata izaziva saobraćaj viljuškara sa elastomernim točkovima ili gusenicama, ili kamioni.

Vrednosti  $k_1$ ,  $k_2$  i  $k_3$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti su **5 mm**, **10 mm** i **15 mm**.

#### 4.4.1.3 VOĐENJE RAČUNA U PRORAČUNU O Odstupanjima u Izvođenju

**(1)P** Kada se proračunava nominalni zaštitni sloj  $c_{nom}$ , mora da se predvidi povećanje minimalnog zaštitnog sloja betona da bi se uzela u obzir odstupanja u izvođenju (*deviations*) ( $\Delta c_{dev}$ ). Potrebni minimalni zaštitni sloj zbog toga mora da se poveća za apsolutnu vrednost negativne tolerancije (dopuštenog odstupanja u izvođenju usled kojeg bi smanjio zaštitni sloj).

**Napomena:** Vrednost  $\Delta c_{dev}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **10 mm**.

**(2)** Tolerancije (*accepted deviation*) za zgrade date su u EN 13670-1. Te vrednosti obično su dovoljne i za druge vrste konstrukcija. O njima treba voditi računa kada se usvaja nominalna veličina zaštitnog sloja za proračun (*nominal cover for design*). Nominalna vrednost zaštitnog sloja treba da se koristi u proračunima i da bude označena na planovima, ukoliko se ne propiše neka druga vrednost umesto vrednosti nominalnog zaštitnog sloja (na primer, minimalna vrednost zaštitnog sloja).

**(3)** U izvesnim slučajevima tolerancija, a time i dodatno povećanje minimalnog zaštitnog sloja  $\Delta c_{dev}$ , može da se smanji.

**Napomena:** Smanjenje vrednosti  $\Delta c_{dev}$  u takvim slučajevima, koje se primenjuje u određenoj zemlji, dato je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti su:

- kada se elementi i konstrukcije proizvode u sistemu u kojem se obezbeđuje kvalitet, i ako kontrole uključuju i merenje zaštitnog sloja betona, proračunsko povećanje zaštitnog sloja zbog odstupanja u izvođenju može da se smanji 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), proračunsko povećanje zaštitnog sloja zbog odstupanja u izvođenju  $\Delta c_{dev}$  može da se smanji na:

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

**(4)** Za beton koji se ugrađuje preko neravnih površina, generalno treba povećati minimalni zaštitni sloj, pretpostavljajući u proračunu veće tolerancije. Povećanje treba da odgovara razlikama koje izazivaju neravnine ali zaštitni sloj betona treba da bude najmanje  **$k_1$  mm** za beton koji se ugrađuje preko pripremljene podloge (uključivo sloj mršavog betona ili hidrozolaciju) (*blinding*) a  **$k_2$  mm** za beton koji se ugrađuje direktno na tle. Zaštitni sloj betona do armature, za bilo kakvu površinsku obradu betona, kao što su kanelure ili beton sa vidljivom strukturom agregata, treba isto da se poveća da bi se uzele u obzir neravnine površine betona (videti 4.4.1.2 (11)).

**Napomena:** Vrednosti  $k_1$  i  $k_2$  koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti su **40 mm** i **75 mm**.

## GLAVA 5

# ANALIZA KONSTRUKCIJA

### 5.1 OPŠTE ODREDBE

#### 5.1.1 OPŠTI ZAHTEVI

**(1)P** Cilj analize konstrukcija (*structural analysis*) je da se odredi raspored sila i momenata u preseku (unutrašnjih sila i momenata) (*internal forces and moments*), ili raspored napona, dilatacija i pomeranja, u konstrukciji kao celini ili u nekom delu konstrukcije usled dejstava na konstrukciju. Dopunska lokalna analiza mora da se sprovede gde je to potrebno.

**Napomena:** U najvećem broju uobičajenih slučajeva analiza se koristi da se odredi raspored sila i momenata u presecima. Kompletan proračun ili dokazivanje nosivosti poprečnih preseka bazira se na tim uticajima od dejstava. Međutim, za izvesne posebne elemente, metode analize koje se koriste (na primer, analiza metodom konačnih elemenata) daju napone, dilatacije i pomeranja a ne sile i momente u presecima. Specijalne metode potrebne su da bi se ti rezultati koristili za odgovarajuće proračunske dokaze.

**(2)** Lokalne analize mogu da budu potrebne u slučajevima kada ne važi pretpostavka o linearnom rasporedu dilatacija, na primer:

- u blizini oslonaca
- u zoni koncentrisanih opterećenja
- u čvorovima greda-stub
- u zonama ankerovanja
- na mestima promene poprečnog preseka elementa.

**(3)** Za ravna stanja napona (*in-plane stress fields*) može da se koristi uprošćena metoda za određivanje armature.

**Napomena:** Uprošćena metoda data je u Aneksu F.

**(4)P** Analize moraju da se sprovedu koristeći idealizacije geometrije i ponašanja konstrukcije. Primenjene idealizacije moraju da odgovaraju problemu koji se razmatra.

**(5)** Uobičajena geometrijska idealizacija je da se pretpostavi da se konstrukcija sastoji od linijskih elemenata, ravnih površinskih elemenata i, ponekad, ljuski. Geometrijska idealizacija se razmatra u 5.3.

**(6)P** U proračunu moraju da se uzmu u obzir uticaj geometrije i svojstava konstrukcije na njeno ponašanje u svakoj fazi izvođenja.

**(7)** Uobičajene idealizacije ponašanja konstrukcija koje se koriste u analizi su:

- linearno elastično ponašanje (*linear elastic behaviour*) (videti 5.4)
- linearno elastično ponašanje sa ograničenom preraspodelom uticaja (*linear elastic behaviour with limited redistribution*) (videti 5.5)
- plastično ponašanje (*plastic behaviour*) (videti 5.6), uključivo modele sa pritisnutim štapovima i zategama (*strut and tie models*) (videti 5.6.4)
- nelinearno ponašanje (*non-linear behaviour*) (videti 5.7).

(8) U zgradama, uticaji sila smicanja i aksijalnih sila na deformacije linijskih elemenata i ploča mogu da se zanemare kada se očekuje da su te deformacije manje od 10% od uticaja usled savijanja.

### 5.1.2 POSEBNI ZAHTEVI ZA TEMELJE

(1)P Kada od interakcije tle-konstrukcija značajno zavise uticaji usled dejstava u konstrukciji, svojstva tla i uticaji interakcije moraju da se uzmu u obzir u proračunu, u skladu sa EN 1997-1.

**Napomena:** Za više informacija o analizi plitkih temelja (*shallow foundation*) videti Aneks G.

(2) Za proračun površinskih (pločastih) temelja (*spread foundations*) mogu da se koriste odgovarajući uprošćeni modeli za interakciju tle-konstrukcija.

**Napomena:** Za pojedinačne temeljne stope i za temeljne stope (kape) na šipovima (*pile caps*) uticaji interakcije tle-konstrukcija obično mogu da se zanemare.

(3) Za proračun nosivosti pojedinačnih šipova (*individual piles*) dejstva na šip treba da se odrede uzimajući u obzir interakciju između šipova, stope na šipovima i okolnog tla.

(4) Kada su šipovi raspoređeni u više redova, dejstvo na svaki šip treba da se odredi uzimajući u obzir interakciju između šipova.

(5) Interakcija između šipova može da se zanemari kada je čisto rastojanje (*clear distance*) između šipova veće od dvostrukog prečnika šipa.

### 5.1.3 SLUČAJEVI OPTEREĆENJA I KOMBINACIJE DEJSTAVA

(1)P Pri razmatranju kombinacija dejstava (*combinations of actions*), videti EN 1990 glava 6, moraju da se uzmu u obzir merodavni slučajevi da bi se odredili kritični proračunski uticaji u svim presecima konstrukcije, ili u razmatranom delu konstrukcije.

**Napomena:** Kada se zahteva smanjenje broja kombinacija dejstava, koje se primenjuju u određenoj zemlji, mora da se koristi njen Nacionalni aneks. Sledeće uprošćene kombinacije dejstava preporučuju se za zgrade:

- (a) svaki drugi raspon opterećuje se proračunskim promenljivim i stalnim opterećenjem ( $\gamma_Q Q_k + \gamma_G G_k + P_m$ ), a ostali rasponi samo proračunskim stalnim opterećenjem,  $\gamma_G G_k + P_m$ , i
- (b) svaka dva susedna raspona opterećuju se proračunskim promenljivim i stalnim opterećenjem ( $\gamma_Q Q_k + \gamma_G G_k + P_m$ ). Svi ostali rasponi opterećuju se samo proračunskim stalnim opterećenjem,  $\gamma_G G_k + P_m$ .

### 5.1.4 UTICAJI DRUGOG REDA

(1)P Uticaji drugog reda (videti EN 1990 glava 1), moraju da se uzmu u obzir kada se očekuje da mogu znatno da utiču na globalnu stabilnost (*overall stability*) konstrukcije i na dostizanje graničnog stanja nosivosti u kritičnim presecima.

(2) Uticaji drugog reda treba da se uzmu u obzir prema 5.8.

(3) Za zgrade uticaji drugog reda mogu da se zanemare ako su manji od izvesnih graničnih vrednosti (videti 5.8.2 (6)).

## 5.2 GEOMETRIJSKE IMPERFEKCIJE

## EN 1992-1-1:2004

(1)P Nepovoljni efekti mogućih odstupanja u geometriji konstrukcije i položajima opterećenja (geometrijske imperfekcije) moraju da se uzmu u obzir u analizi elemenata i konstrukcija.

**Napomena:** Ostupanja (devijacije) dimenzija poprečnog preseka normalno su uzeta u obzir u koeficijentima sigurnosti za materijale. Ta odstupanja ne treba da se uvode u analizu konstrukcije. Minimalni ekscentricitet za proračun poprečnog preseka dat je u 6.1 (4).

(2)P Imperfekcije moraju da se uzmu u obzir u graničnim stanjima nosivosti za trajne i incidentne proračunske situacije.

(3) Imperfekcije ne treba da se uzmu u obzir u graničnim stanjima upotrebljivosti.

(4) Sledeće odredbe važe za elemente sa aksijalnim silama pritiska i konstrukcije sa vertikalnim opterećenjima, pretežno u zgradama. Numeričke vrednosti odgovaraju uobičajenim izvođačkim tolerancijama (klasa 1 u ENV 13670). Kada se uzimaju u obzir drugačije tolerancije (na primer, klasa 2), vrednosti treba da se na odgovarajući način prilagode.

(5) Imperfekcije mogu da se predstave određenim nagibom  $\theta_i$  koji je dat izrazom:

$$\theta_i = \theta_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m \quad (5.1)$$

gde je:

$\theta_0$  osnovna vrednost

$\alpha_h$  redukcionni koeficijent za visinu:  $\alpha_h = 2/\sqrt{l}$ ;  $2/3 \leq \alpha_h \leq 1$

$\alpha_m$  redukcionni koeficijent za broj elemenata:  $\alpha_m = \sqrt{0,5(1+1/m)}$

$l$  dužina ili visina [m], videti (6) u prethodnom tekstu

$m$  broj vertikalnih elemenata koji sadejstvuju u ukupnom uticaju.

**Napomena:** Vrednosti  $\theta_0$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **1/200**.

(6) U izrazu (5.1) definicija vrednosti  $l$  i  $m$  zavisi od razmatranog uticaja, pri čemu se razlikuju tri osnovna slučaja (videti i sliku 5.1):

- Uticaj na izdvojeni element:  $l$  = stvarna dužina elementa,  $m = 1$ .
- Uticaj na sistem za ukrućenje konstrukcije:  $l$  = visina zgrade,  $m$  = broj vertikalnih elemenata koji prenose horizontalnu silu na sistem za ukrućenje.
- Uticaj na međuspratne konstrukcije ili krovne dijafragme koje prenose horizontalna opterećenja:  $l$  = spratna visina,  $m$  = broj vertikalnih elemenata u spratu (spratovima) koji prenose ukupnu horizontalnu silu na međuspratnu konstrukciju/dijafragmu.

(7) Za izdvojene elemente (*isolated member*) (videti 5.8.1), uticaj imperfekcija može da se uzme u obzir na dva alternativna načina a) i b):

a) kao ekcentricitet  $e_i$ :

$$e_i = \theta_i l_0 / 2 \quad (5.2)$$

gde je  $l_0$  efektivna dužina elementa, videti 5.8.3.2.

Za zidove i izdvojene stubove u sistemima koji su ukrućeni, kao uprošćenje uvek može da se koristi  $e_i = l_0/400$ , što odgovara vrednosti  $\alpha_h = 1$ .

b) kao transverzalna sila  $H_i$ , u položaju koji daje maksimalni momenat:

za neukrućene elemente (videti sliku 5.1 a1):

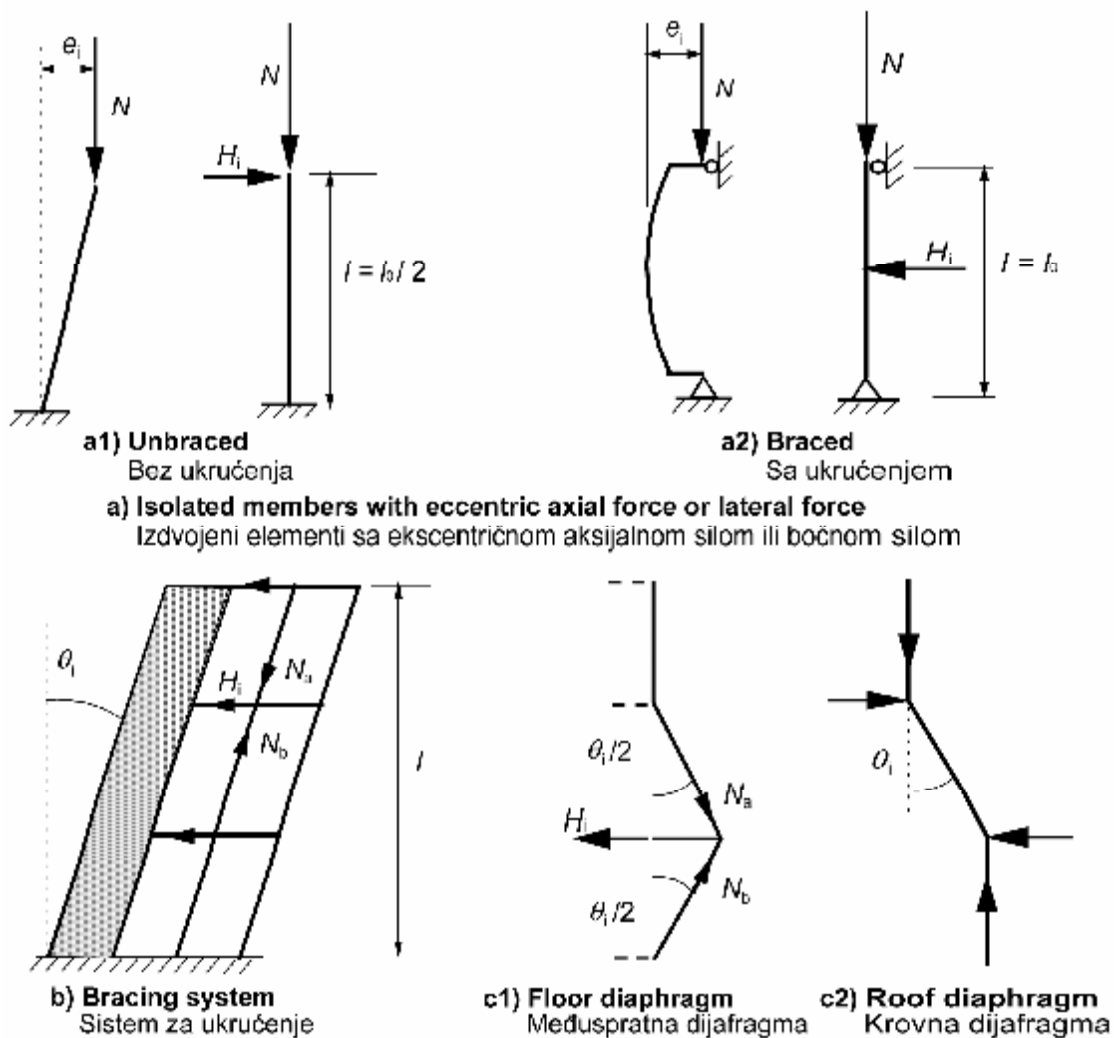
$$H_i = \theta_i N \quad (5.3a)$$

za ukrućene elemente (videti sliku 5.1 a2):

$$H_i = 2\theta_i N \quad (5.3b)$$

gde je  $N$  aksijalno opterećenje.

**Napomena:** Ekscentricitet je pogodan za statički određene elemente, dok se transverzalno opterećenje može da koristi i za statički određene i za neodređene elemente. Sila  $H_i$  može da se zameni nekim drugim ekvivalentnim transverzalnim dejstvom.



**Slika 5.1: Primeri uticaja geometrijskih imperfekcija**

(8) U konstrukcijama uticaj nagiba  $\theta_i$  može da se zameni odgovarajućim transverzalnim silama koje u analizi treba da se uzmu u obzir zajedno sa ostalim dejstvima.

Uticaj na sistem za ukrućenje, (videti sliku 5.1 b):

$$H_i = \theta_i (N_b - N_a) \quad (5.4)$$

Uticaj na međuspratnu (podnu) dijafragmu, (videti sliku 5.1 c1):

$$H_i = \theta_i (N_b + N_a) / 2 \quad (5.5)$$

Uticaj na krovnu dijafragmu (videti sliku 5.1 c2):

$$H_i = \theta_i \cdot N_a \quad (5.6)$$

gde su  $N_a$  i  $N_b$  podužne sile koje daju horizontalnu silu  $H_i$ .

(9) Kao uprošćena alternativa za zidove i izdvojene stubove u konstrukcijskim sistemima sa ukrućenjem, ekscentricitet  $e_i = I_0/400$  može da se uzme kao zamenjujuća vrednost za imperfekcije koje odgovaraju normalnim odstupanjima u izvođenju (videti 5.2 (4)).

### 5.3 IDEALIZACIJA KONSTRUKCIJE

#### 5.3.1 KONSTRUKCIJSKI MODELI ZA GLOBALNU ANALIZU

(1)P Elementi konstrukcije se prema svojoj prirodi i funkciji klasifikuju kao grede, stubovi, ploče, zidovi, luci, ljuške, itd. Data su pravila za analizu uobičajenijih vrsta ovih elemenata i za konstrukcije koje se sastoje od kombinacija tih elemenata.

(2) Za zgrade važe sledeće odredbe (3) do (7):

(3) Greda je element čiji raspon nije manji od trostruke ukupne visine njenog poprečnog preseka. U suprotnom, takav element je visoki nosač (greda) (*deep beam*).

(4) Ploča je element čija je minimalna dimenzija površine najmanje pet puta veća od ukupne debljine ploče.

(5) Za ploču koja je dominantno opterećena jednako podeljenim opterećenjem može da se smatra da je ploča koja nosi u jednom pravcu ako je ispunjen jedan od sledećih uslova:

- ploča ima dve slobodne (neoslonjene) i približno paralelne ivice, ili
- predstavlja centralni deo približno pravougaone ploče koja je oslonjena na četiri ivice, sa odnosom dužeg prema kraćem rasponu većim od 2.

(6) Za potrebe proračuna elemente rebrastih ili kasetiranih ploča (*ribbed or waffle slabs*) ne moraju da se analiziraju kao posebni konstrukcijski elementi, pod uslovom da flanša ili dodatni konstrukcijski gornji sloj i transverzalna rebra imaju dovoljnu torzionu krutost. Može da se pretpostavi da su ti uslovi ispunjeni ako:

- razmak rebara nije veći od **1500 mm**,
- visina rebra ispod flanše nije veća od četverostruke debljine rebra,
- debljina flanše nije manja od **1/10** čistog rastojanja između rebara niti manja od **50 mm**,
- postoje poprečna rebra na čistom rastojanju koje nije veće od desetostruke ukupne debljine ploče.

Minimalna debljina flanše od **50 mm** može da se smanji na **40 mm** ako između rebara ostaju stalno ugrađeni blokovi.

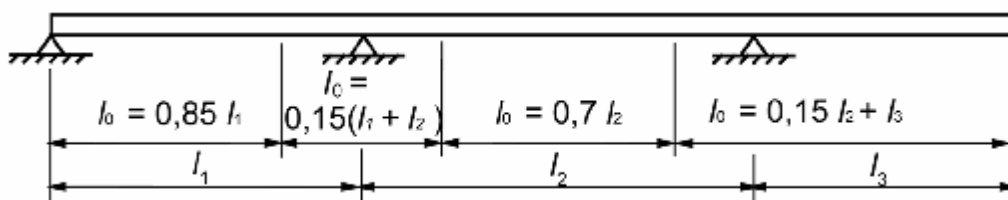
(7) Stub je element čija visina poprečnog preseka ne prelazi četverostruku širinu poprečnog preseka a visina je najmanje jednaka trostrukoj visini poprečnog preseka. U suprotnom, za takav element smatra se da je zid.

#### 5.3.2 GEOMETRIJSKI PODACI

### 5.3.2.1 EFEKTIVNA ŠIRINA FLANŠI (SVA GRANIČNA STANJA)

(1)P U gredama T preseka efektivna širina flanše (ploče) (sadejstvujuća širina) (*effective flange width*), na kojoj može da se pretpostavi da je dijagram napona jednako podeljen, zavisi od dimenzija rebra i flanše (ploče), vrste opterećenja, raspona, uslova oslanjanja i transverzalne armature.

(2) Efektivna sadejstvujuća širina određuje se na osnovu rastojanja  $l_0$  između tačaka nultih momenata duž raspona, prema slici 5.2.



Slika 5.2: Definicija  $l_0$  za proračun efektivne sadejstvujuće širine

**Napomena:** Raspon konzole  $l_3$  treba da bude manji od polovine raspona susednog polja a odnos raspona susednih polja treba da je između 2/3 i 1,5.

(3) Efektivna širina ploče  $b_{\text{eff}}$  za gredu T ili L preseka može da se odredi prema izrazu:

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

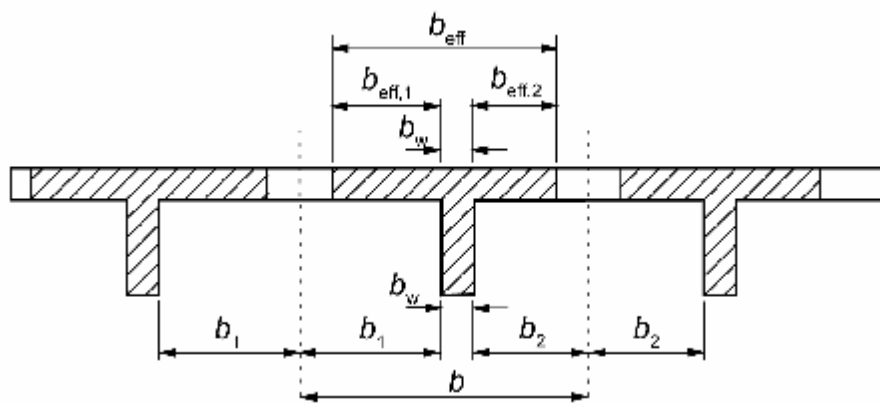
gde je:

$$b_{\text{eff},i} = 0,2 b_i + 0,1 l_0 \leq 0,2 l_0 \quad (5.7a)$$

i

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

(za oznake videti slike 5.2 i 5.3).



Slika 5.3: Parametri za efektivnu širinu ploče

(4) Kada se u analizi konstrukcija ne zahteva velika tačnost, može da se pretpostavi da je efektivna širina flanše konstantna po celom rasponu. Za tu vrednost treba usvojiti efektivnu širinu flanše koja odgovara preseku u rasponu.

### 5.3.2.2 EFEKTIVNI RASPON GREDA I PLOČA U ZGRADAMA

**Napomena:** Sledeće odredbe date su uglavnom za analizu konstrukcijskih elemenata. Za analizu ravninskih konstrukcija neka od ovih uprošćenja mogu da se koriste kada to odgovara.

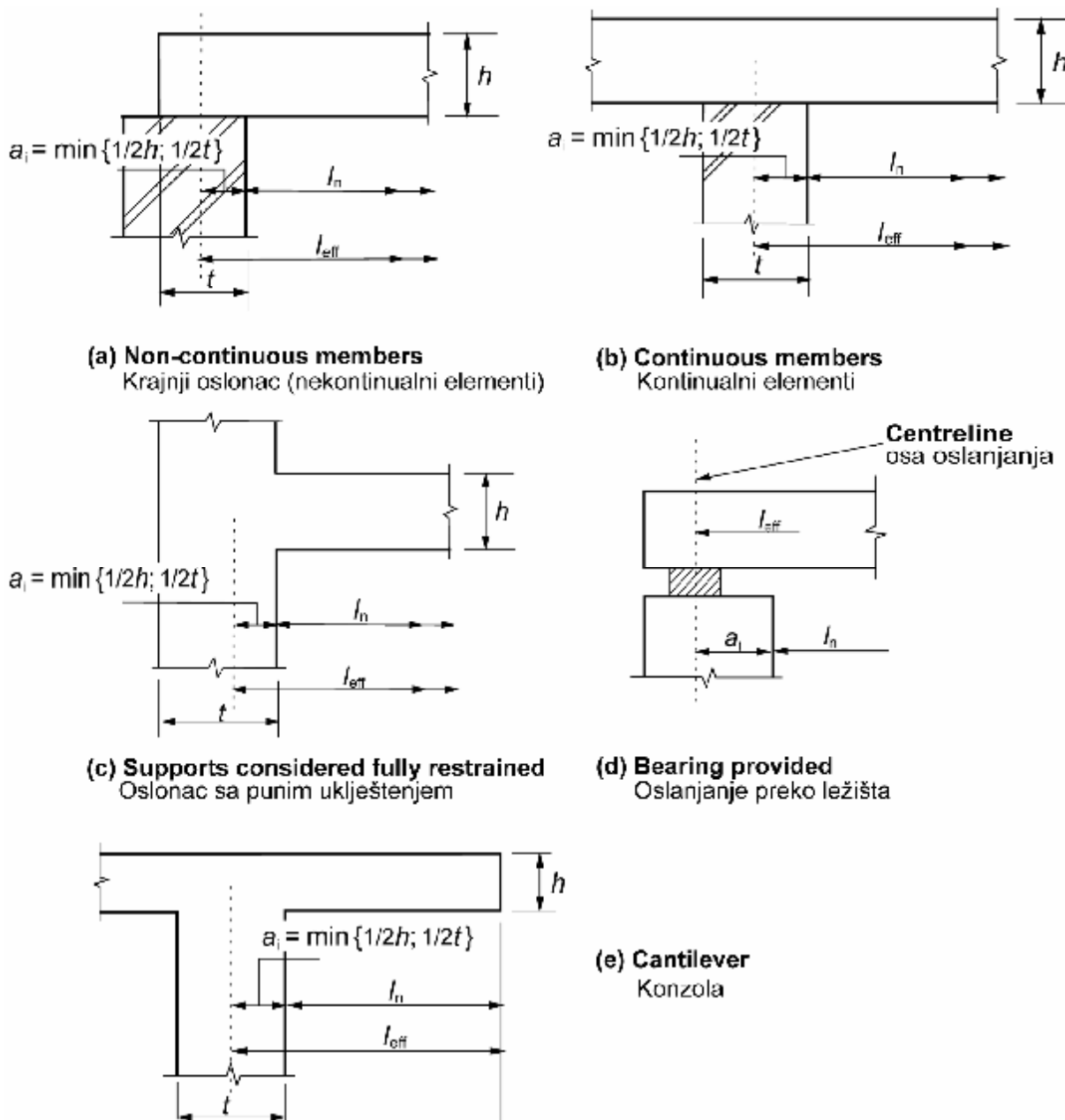
# EN 1992-1-1:2004

(1) Efektivni raspon (*effective span*) elementa,  $l_{eff}$ , treba da se odredi prema sledećem izrazu:

$$l_{eff} = l_n + a_1 + a_2 \tag{5.8}$$

gde je:

$l_n$  čisto rastojanje (*clear distance*) između ivica oslonaca; veličine  $a_1$  i  $a_2$ , na oba kraja raspona, mogu da se odrede na osnovu odgovarajućih vrednosti  $a_i$  na slici 5.4, gde je  $t$  širina oslonačkog elementa prikazana na slici.



Slika 5.4: Efektivni raspon ( $l_{eff}$ ) za različite uslove oslanjanja

(2) Kontinualne ploče i grede generalno mogu da se analiziraju uz pretpostavku da su na osloncima slobodno oslonjene (da nema uklještenja, odnosno da nije sprečena rotacija).

(3) Kada je greda ili ploča monolitna sa osloncima, za kritični proračunski momenat na osloncu treba da se uzme momenat na ivici oslonca. Za proračunski momenat i reakciju koja se prenosi na oslonački element (na primer: stub, zid, itd.), generalno treba uzeti veću od vrednosti koje odgovaraju linearnoj elastičnoj raspodeli ili ograničenoj preraspodeli uticaja.

**Napomena:** Momenat na ivici oslonca ne treba da bude manji od **0,65** vrednosti momenta punog uklještenja.

(4) Nezavisno od metode analize koja se koristi, kada je greda ili ploča kontinualna preko oslonaca za koje se može smatrati da ne ograničavaju rotaciju (na primer, preko zidova), proračunski momenat nad osloncem, sračunat za raspon od ose do ose oslonca, može da se smanji za veličinu  $\Delta M_{Ed}$  koja je data izrazom:

$$\Delta M_{Ed} = F_{Ed,sup} t/8 \quad (5.9)$$

gde je:

$F_{Ed,sup}$  proračunska reakcija na osloncu  
 $t$  širina oslonca (videti sliku 5.4 b)).

**Napomena:** Kada postoje ležišta za  $t$  treba da se uzme širina ležišta.

## 5.4 LINEARNA ELASTIČNA ANALIZA

(1) Linearna elastična analiza (*linear elastic analysis*) elemenata, zasnovana na teoriji elastičnosti, može da se koristi i za proračun graničnih stanja upotrebljivosti i za proračun graničnih stanja nosivosti.

(2) Za proračun uticaja od dejstava, linearna analiza može da se sprovede uz sledeće pretpostavke:

- i) preseci su bez prslina,
- ii) odnos napon-dilatacija je linearan, i
- iii) koriste se srednje vrednosti modula elastičnosti.

(3) Za termičke deformacije, sleganje oslonaca i uticaje skupljanja betona, u graničnom stanju nosivosti GSN (*ultimate limit state*) može da se pretpostavi smanjena krutost, koja odgovara preseccima sa prslinama, zanemarujući sadejstvo betona u zategnutoj zoni (*tension stiffening*) ali uzimajući u obzir uticaje tečenja. U graničnom stanju upotrebljivosti GSU (*serviceability limit state*) treba da se analizira postepeni razvoj prslina.

## 5.5 LINEARNA ELASTIČNA ANALIZA SA OGRANIČENOM PRERASPODELOM

(1)P Mora da se razmatra uticaj svake preraspodele momenata savijanja na sve rezultate proračuna.

(2) Linearna elastična analiza sa ograničenom preraspodelom (*linear elastic analysis with limited redistribution*) može da se koristi u analizi konstrukcijskih elemenata u GSN.

(3) Momenti savijanja u GSN, sračunati koristeći linearnu elastičnu analizu, mogu da se preraspodele pod uslovom da rezultujući preraspodeljeni momenti ostaju u ravnoteži sa apliciranim opterećenjima.

(4) U kontinualnim gredama i pločama koje su:

## EN 1992-1-1:2004

- a) dominantno izložene savijanju, i
- b) imaju odnos dužina susednih raspona između **0,5** i **2**,

preraspodela momenata savijanja može da se sprovede bez eksplicitne provere kapaciteta rotacije (*rotation capacity*), pod uslovom da je:

$$\delta \geq k_1 + k_2 x_u/d \quad \text{za } f_{ck} \leq 50 \text{ Mpa} \quad (5.10a)$$

$$\delta \geq k_3 + k_4 x_u/d \quad \text{za } f_{ck} > 50 \text{ Mpa} \quad (5.10b)$$

$\geq k_5$  kada se koristi armatura klase B i klase C (videti Aneks C)

$\geq k_6$  kada se koristi armatura klase A (videti Aneks C)

gde je:

- $\delta$  odnos preraspodeljenog momenta prema elastičnom momentu savijanja
- $x_u$  položaj neutralne linije u GSN posle preraspodele
- $d$  statička visina preseka.

**Napomena:** Vrednosti  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ ,  $k_4$ ,  $k_5$  i  $k_6$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti su  $k_1 = 0,44$ ,  $k_2 = 1,25 (0,6 + 0,0014/\varepsilon_{cu2})$ ,  $k_3 = 0,54$ ,  $k_4 = 1,25 (0,6 + 0,0014/\varepsilon_{cu2})$ ,  $k_5 = 0,7$  i  $k_6 = 0,8$ .

- (5) Preraspodela momenata ne treba da se koristi u slučajevima kada kapacitet rotacije ne može da se pouzdano definiše (na primer, u uglovima prethodno napregnutih ramova).
- (6) Za proračun stubova elastični momenti koji su rezultat ramovskog dejstva treba da se koriste bez ikakve preraspodele.

## 5.6 PLASTIČNA ANALIZA

### 5.6.1 OPŠTE ODREDBE

- (1)P Metode zasnovane na plastičnoj analizi (*plastic analysis*) mogu da se koriste samo za proveru GSN.
- (2)P Duktilnost kritičnih preseka mora da je dovoljna da bi mogao da se formira predviđeni mehanizam koji odgovara proračunu koji se primenjuje.
- (3)P Plastična analiza mora da se zasniva na metodi donjih graničnih vrednosti (statička metoda) (*lower bound method*) ili na metodi gornjih graničnih vrednosti (kinematička metoda) (*upper bound method*).

**Napomena:** U Nacionalnom aneksu određene zemlje može da se ukaže na dopunske nekontradiktorne informacije koje se odnose na izbor plastičnih metoda analize.

- (4) Uticaji prethodnih opterećenja (istorije opterećenja) generalno mogu da se zanemare i može da se pretpostavi da je promena intenziteta dejstava monotono rastuća.

### 5.6.2 PLASTIČNA ANALIZA GREDA, RAMOVA I PLOČA

- (1)P Plastična analiza bez direktne provere kapaciteta rotacije može da se koristi za GSN ako su ispunjeni uslovi dati u 5.6.1 (2)P.
- (2) Može da se smatra da je zahtevana duktilnost zadovoljena bez eksplicitne provere ako su ispunjeni svi sledeći uslovi:
  - i) površina zategnute armature je ograničena tako da je, u svakom preseku,

$x_u/d \leq 0,25$  za betone klase čvrstoće  $\leq C50/60$

$x_u/d \leq 0,15$  za betone klase čvrstoće  $\geq C55/67$

- ii) čelik za armaturu je ili klase B ili klase C
- iii) odnos momenata na srednjim osloncima i momenata u rasponu je između 0,5 i 2.

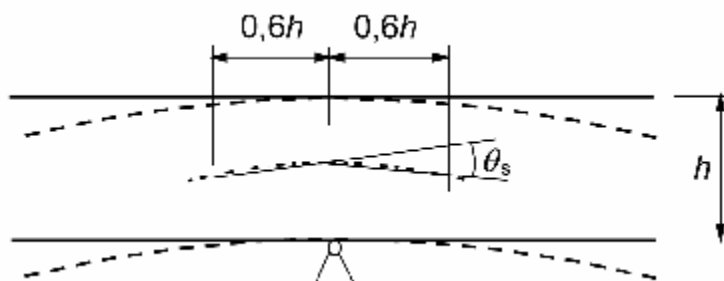
(3) Treba proveriti da li stubovi mogu da prihvate maksimalne plastične momente koje mogu da prenesu elementi koji su sa njima povezani. Kod spojeva stubova i ravnih punih ploča (bez kapitela) taj moment treba da bude uključen u proračun smicanja od probijanja.

(4) Kada se koristi plastična analiza za ploče, treba da se vodi računa o svakoj neujednačenosti armature, silama za sprečavanje odizanja uglova i torziji na slobodnim ivicama.

(5) Plastične metode mogu da se primene i na ploče koje nisu punog poprečnog preseka (rebraste, sa otvorima, kasetirane), ukoliko je njihovo ponašanje slično ponašanju pune ploče, posebno u pogledu uticaja od torzije.

### 5.6.3 KAPACITET ROTACIJE

(1) Uprošćeni postupak plastične analize kontinualnih greda i kontinualnih ploča koje nose u jednom pravcu zasniva se na kapacitetu rotacije (*rotation capacity*) u zonama gređa/ploča čija je dužina približno 1,2 puta veća od visine preseka. Pretpostavlja se da u tim zonama nastaju plastične deformacije (formiraju se plastični zglobovi) (*yield hinges*) za odgovarajuću kombinaciju dejstava. Može da se smatra da je provera plastične rotacije u граничном stanju nosivosti zadovoljena ako je pokazano da je za merodavnu kombinaciju dejstava sračunata rotacija,  $\theta_s$ , manja ili jednaka od dopuštene plastične rotacije (videti sliku 5.5).



**Slika 5.5: Plastična rotacija  $\theta_s$  armiranobetonskog preseka kontinualnih greda i kontinualnih ploča koje nose u jednom pravcu**

(2) U zonama plastičnih zglobova, odnos  $x_u/d$  ne sme da bude veći od 0,45 za betone klase čvrstoće  $\leq C50/60$ , a 0,35 za betone klase čvrstoće  $\geq C55/67$ .

(3) Rotacija  $\theta_s$  treba da se odredi na osnovu proračunskih vrednosti dejstava i materijala i sa srednjim vrednostima prethodnog naprezanja u posmatranom vremenu.

(4) U uprošćenom postupku, dopuštena plastična rotacija može da se odredi množenjem osnovne vrednosti dopuštene rotacije (*basic value of allowable rotation*),  $\theta_{pl,d}$ , sa koeficijentom korekcije  $k_\lambda$ , koji zavisi od vitkosti na smicanje (*shear slenderness*).

**Napomena:** Vrednosti  $\theta_{pl,d}$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti za čelike klase B i C (korišćenje čelika klase A se ne preporučuje za plastičnu analizu) i betone klase čvrstoće manje ili jednake C50/60 i C90/105 date su na slici 5.6N.

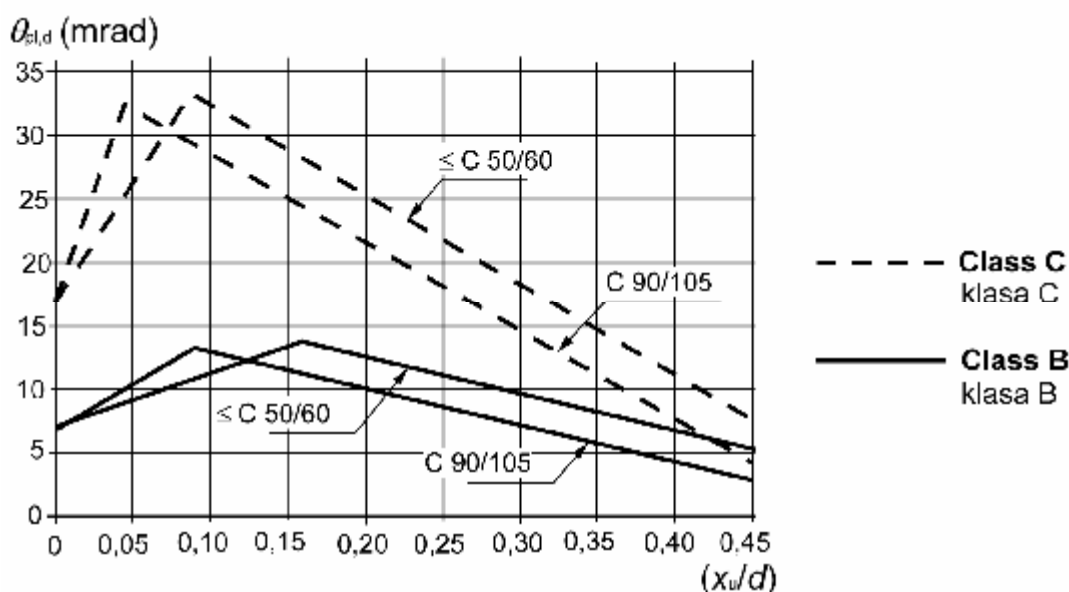
Za klase čvrstoće betona **C55/67** do **C90/105** može da se izvrši odgovarajuća interpolacija. Vrednosti važe za vitkost na smicanje  $\lambda = 3,0$ . Za drugačije vrednosti vitkosti na smicanje dopuštene vrednosti plastične rotacije  $\theta_{pl,d}$  treba da se pomnože sa koeficijentom  $k_\lambda$ :

$$k_\lambda = \sqrt{\lambda/3} \quad (5.11N)$$

gde je  $\lambda$  odnos rastojanja od preseka u kojem je posle preraspodele momenat jednak nuli do preseka u kojem momenat ima maksimalnu vrednost, i statičke visine preseka,  $d$ .

Kao uprošćenje,  $\lambda$  može da se sračuna za konkordantne (saglasne) proračunske vrednosti momenta savijanja i smicanja:

$$\lambda = M_{Sd} / (V_{Sd} \cdot d) \quad (5.12N)$$



Slika 5.6N: Osnovna vrednost dopuštene plastične rotacije,  $\theta_{pl,d}$ , za armiranobetske preseke sa armaturom klase B i C. Vrednosti važe za vitkost na smicanje  $\lambda = 3,0$

#### 5.6.4 ANALIZA PRIMENOM MODELA SA PRITISNUTIM ŠTAPOVIMA I ZATEGAMA

(1) Modeli sa pritisnutim štapovima i zategama (*strut and tie models*) mogu da se koriste za proračun GSN u oblastima kontinuiteta (grede i ploče sa prslinama, videti 6.1 do 6.4) i za proračun GSN i konstrukcijske detalje u oblastima diskontinuiteta (videti 6.5). Generalno, oblasti diskontinuiteta prostiru se na dužini jednakoj visini poprečnog preseka  $h$  od diskontinuiteta. Modeli sa pritisnutim štapovima i zategama mogu da se koriste i za elemente u kojima se pretpostavlja linearan dijagram napona u poprečnom preseku, na primer, u slučajevima ravnog stanja dilatacija.

(2) Proračun za GSU isto tako može da se sprovede primenom modela sa pritisnutim štapovima i zategama, na primer, proračun napona u armaturi i kontrola širine prslina, ako postoji približna kompatibilnost modela pritisnutih štapova i zatega sa uticajima po teoriji elastičnosti, (posebno u pogledu položaja i pravca glavnih pritisnutih štapova kada su orijentisani prema linearnoj elastičnoj teoriji).

(3) Modeli sa pritisnutim štapovima i zategama sastoje se od pritisnutih štapova (*struts*), koji predstavljaju polja napona pritiska, zatega (*ties*) koje predstavljaju armaturu, i čvorova

(*connecting nodes*). Sile u elementima modela sa pritisnutim štapovima i zategama treba da budu određene tako da obezbeđuju ravnotežu sa opterećenjima koja deluju u graničnom stanju nosivosti. Elementi modela sa pritisnutim štapovima i zategama treba da se dimenzionišu prema pravilima datim u 6.5.

(4) Zatege u modelu sa pritisnutim štapovima i zategama treba da koincidiraju po položaju i po pravcu sa odgovarajućom armaturom.

(5) Mogući postupci za formiranje odgovarajućih modela sa pritisnutim štapovima i zategama, uključuju usvajanje trajektorija i dijagrama napona određenih prema linearnoj elastičnoj teoriji ili prema metodi puteva prenošenja opterećenja (*load path method*). Svi modeli sa pritisnutim štapovima i zategama mogu da se optimizuju na osnovu energetskih kriterijuma.

## 5.7 NELINEARNA ANALIZA

(1) Nelinearne metode analize (*non-linear methods of analysis*) mogu da se koriste i za GSN i za GSU, pod uslovom da su ravnoteža i kompatibilnost zadovoljeni i da je pretpostavljeno adekvatno nelinearno ponašanje materijala. Analiza može da bude po teoriji prvog ili po teoriji drugog reda.

(2) U proračunima GSN metodom nelinearne analize treba da se proveri sposobnost kritičnih lokalnih preseka da prihvate sve neelastične deformacije koje proizilaze iz analize, vodeći računa o mogućim nepouzdanostima.

(3) Za konstrukcije koje su dominantno izložene statičkim opterećenjima, uticaji prethodnih opterećenja generalno mogu da se zanemare, i može da se pretpostavi da se dejstva monotono povećavaju.

(4)<sup>P</sup> U nelinearnoj analizi moraju da se koriste karakteristike materijala koje realno prikazuju krutost, vodeći računa o nepouzdanostima pri lomu. Mogu da se koriste samo proračunski postupci koji važe za analiziranu oblast primene.

(5) Za vitke konstrukcije, u kojima ne mogu da se zanemare uticaji drugog reda, može da se koristi proračunska metoda data u 5.8.6.

## 5.8 ANALIZA UTICAJA DRUGOG REDA SA AKSIJALNIM OPTEREĆENJEM

### 5.8.1 DEFINICIJE

**Savijanje u dve ravni** (*biaxial bending*): simultano savijanje oko dve glavne ose.

**Elementi ili sistemi koji su ukrućeni** (*braced members or systems*): konstrukcijski elementi ili podsistemi za koje se u analizi i u proračunu može da se pretpostavi da ne doprinose ukupnoj horizontalnoj stabilnosti konstrukcije.

**Elementi ili sistemi koji ukrućuju** (*bracing members or systems*): konstrukcijski elementi ili podsistemi za koje se u analizi i u proračunu može da se pretpostavi da doprinose ukupnoj horizontalnoj stabilnosti konstrukcije.

**Izvijanje** (*buckling*): lom usled nestabilnosti (*failure due to instability*) elementa ili konstrukcije pod dejstvom idealno aksijalnog pritiska i bez transverzalnog opterećenja.

**Napomena:** "Čisto izvijanje" (*pure buckling*), kako je u prethodnom tekstu definisano, nije relevantno granično stanje u realnim konstrukcijama, usled imperfekcija i transverzalnih opterećenja, ali se nominalno opterećenje pri izvijanju može da koristi kao parametar u nekim metodama analize po teoriji drugog reda.

**Opterećenje pri izvijanju** (*buckling load*): opterećenje pri kojem dolazi do izvijanja; za izdvojene elastične elemente to je sinonim za Ojlerovu silu.

**Efektivna dužina izvijanja** (*effective length*): dužina na kojoj se uzima u obzir oblik deformacione krive; ona može da se definiše i kao dužina izvijanja (*buckling length*), odnosno dužina stuba zglobno oslonjenog na oba kraja, sa konstantnom normalnom silom, koji ima isti poprečni presek i opterećenje pri izvijanju kao posmatrani konstrukcijski element.

**Uticaji prvog reda** (*first order effects*): uticaji od dejstava proračunati ne vodeći računa o uticaju deformacija konstrukcije, ali uzimajući u obzir geometrijske imperfekcije.

**Izdvojeni elementi** (*isolated members*): elementi koji su izdvojeni (samostalni), ili elementi u konstrukciji koji se, u svrhu proračuna, mogu da smatraju kao izdvojeni; primeri izdvojenih elemenata sa različitim konturnim uslovima prikazani su na slici 5.7.

**Nominalni momenat drugog reda** (*nominal second order moment*): moment savijanja drugog reda, koji se koristi u u izvesnim proračunskim metodama, a predstavlja ukupni momenat savijanja koji je kompatibilan sa graničnom nosivošću poprečnog preseka (videti 5.8.5 (2)).

**Uticaji drugog reda** (*second order effects*): dodatni uticaji od dejstava usled deformacija konstrukcije.

### 5.8.2 OPŠTE ODREDBE

**(1)P** U ovom poglavlju razmatraju se elementi i konstrukcije čije konstrukcijsko ponašanje značajno zavisi od uticaja drugog reda (na primer, stubovi, zidovi, šipovi, luci i ljuske). Globalni uticaji drugog reda mogu da se očekuju u konstrukcijama sa fleksibilnim sistemom za ukrućenje.

**(2)P** Kada se uzimaju u obzir uticaji drugog reda, videti (6) u daljem tekstu, ravnoteža i nosivost moraju da se provere na deformisanoj konstrukciji. Deformacije moraju da se sračunaju uzimajući u obzir relevantne uticaje prsline, nelinearnog ponašanja materijala i tečenja betona.

**Napomena:** Kada se konstrukcija analizira pretpostavljajući linearna svojstva materijala, te deformacije mogu da se odrede uvođenjem u proračun redukovanih vrednosti krutosti, videti 5.8.7.

**(3)P** Kada je to od značaja, u analizi moraju da se uzmu u obzir uticaji fleksibilnosti susednih elemenata i temelja (interakcija tle-konstrukcija).

**(4)P** Ponašanje konstrukcije mora da se analizira u pravcu u kojem deformacije mogu da nastanu a biaksijalno savijanje mora da se uzme u obzir kada je to potrebno.

**(5)P** Nepouzdanosti u geometriji i položaju aksijalnih opterećenja moraju da se uzmu u obzir kao dodatni uticaji prvog reda usled geometrijskih imperfekcija, videti 5.2.

**(6)** Uticaji drugog reda mogu da se zanemare ukoliko su manji od **10%** od odgovarajućih uticaja prvog reda. Uprošćeni kriterijumi za izdvojene elemente dati su u 5.8.3.1 a za konstrukcije u 5.8.3.3.

### 5.8.3 UPROŠĆENI KRITERIJUMI ZA UTICAJE DRUGOG REDA

#### 5.8.3.1 KRITERIJUM VITKOSTI ZA IZDOJENE ELEMENTE

(1) Kao alternativa za 5.8.2 (6), uticaji drugog reda mogu da se zanemare ako je vitkost  $\lambda$  manja od izvesne veličine  $\lambda_{lim}$ .

**Napomena:** Vrednost  $\lambda_{lim}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost sledi iz izraza:

$$\lambda_{lim} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C / \sqrt{n} \quad (5.13N)$$

gde je:

<b>A</b>	= $1 / (1 + 0,2 \varphi_{ef})$	(ako $\varphi_{ef}$ nije poznato, može da se uzme <b>A = 0,7</b> )
<b>B</b>	= $\sqrt{1 + 2\omega}$	(ako $\omega$ nije poznato, može da se uzme <b>B = 1,1</b> )
<b>C</b>	= $1,7 - r_m$	(ako $r_m$ nije poznato, može da se uzme <b>C = 0,7</b> )
$\varphi_{ef}$	efektivni koeficijent tečenja; videti 5.8.4	
$\omega$	= $A_s f_{yd} / (A_c f_{cd})$	mehanički odnos armature i betona ( <i>mechanical reinforcement ratio</i> ) (mehanički koeficijent armature)
$A_s$	ukupna površina podužne armature	
$n$	= $N_{Ed} / (A_c f_{cd})$	relativna normalna sila ( <i>relative axial force</i> ) (odnos proračunske aksijalne sile i proračunske nosivosti betonskog preseka pri pritisku)
$r_m$	= $M_{01} / M_{02}$	odnos momenata
$M_{01}, M_{02}$	momenti prvog reda na krajevima elementa, $ M_{02}  \geq  M_{01} $ .	

Ako momenti na krajevima elementa zatežu istu stranu, za  $r_m$  treba da se uzme pozitivna veličina (odnosno  $C \leq 1,7$ ), a u suprotnom slučaju negativna (odnosno  $C > 1,7$ ).

U sledećim slučajevima za  $r_m$  treba uzeti vrednost **1,0** (odnosno **C = 0,7**):

- za ukrućene elemente u kojima momenti prvog reda nastaju dominantno ili jedino usled imperfekcija ili transverzalnog opterećenja
- za elemente koji nisu ukrućeni, generalno.

(2) U slučajevima dvoosnog savijanja, kriterijum vitkosti može da se proveriti posebno za svaki pravac. U zavisnosti od rezultata takve provere, uticaji drugog reda:

- mogu da se zanemare u oba pravca,
- treba da se uzmu u obzir u jednom pravcu, ili
- treba da se uzmu u obzir u oba pravca.

#### 5.8.3.2 VITKOST I EFEKTIVNA DUŽINA IZDOJENIH ELEMENATA

(1) Vitkost (*slenderness ratio*) definisana je sledećim odnosom:

$$\lambda = I_0 / i \quad (5.14)$$

gde je:

- $I_0$  efektivna dužina, videti (2) do (7) u daljem tekstu
- $i$  poluprečnik inercije betonskog preseka bez prslina.

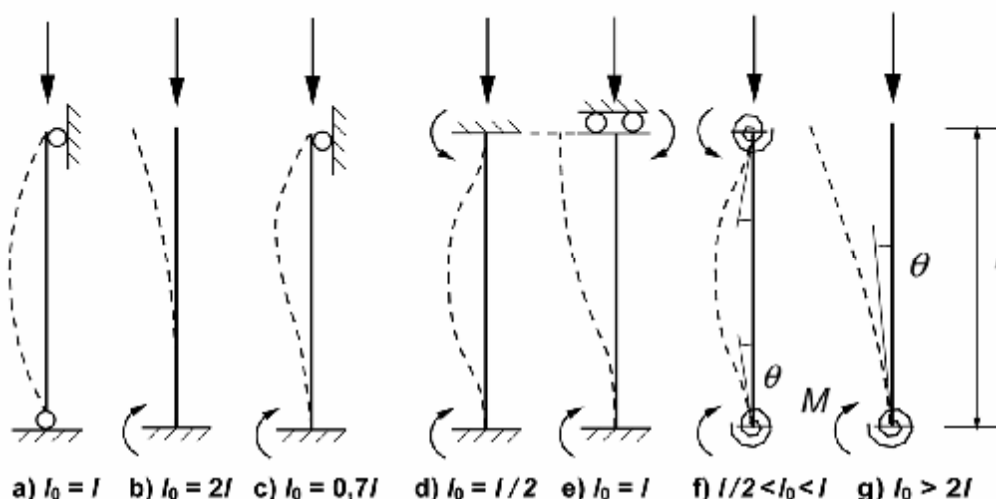
(2) Za generalnu definiciju efektivne dužine videti 5.8.1. Primeri efektivne dužine za izdvojene elemente sa konstantnim poprečnim presekom dati su na slici 5.7.

(3) Za pritiskute elemente u geometrijski pravilnim ramovskim konstrukcijama kriterijum vitkosti (videti 5.8.3.1) treba da se proveriti sa efektivnom dužinom  $I_0$ , određenom na sledeći način:

Za ukrućene elemente (videti sliku 5.7 (f)):

$$I_0 = 0,5l \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{0,45 + k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{0,45 + k_2}\right)} \quad (5.15)$$

Za neukrućene elemente (videti sliku 5.7 (g)):



**Slika 5.7: Primeri različitih oblika izvijanja i odgovarajućih efektivnih dužina za izdvojene elemente**

$$I_0 = l \cdot \max \left\{ \sqrt{\left(1 + 10 \cdot \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2}\right)}; \left(1 + \frac{k_1}{1 + k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{1 + k_2}\right) \right\} \quad (5.16)$$

gde je:

$k_1, k_2$  relativna elastičnost ukleštenja koja sprečavaju rotaciju na krajevima elementa 1 i 2:

$$k = (\theta/M) \cdot (EI/l)$$

$\theta$  rotacija elastičnog ukleštenja usled momenta savijanja  $M$ ; videti i sliku 5.7 (f) i (g)

$EI$  krutost na savijanje (*bending stiffness*) pritisnutog elementa, videti i 5.8.3.2 (4) i (5)

$l$  čista visina pritisnutog elementa između ukleštenih krajeva.

**Napomena:**  $k = 0$  je teorijska granica za kruto rotaciono ukleštenje, a  $k = \infty$  predstavlja granicu kada uopšte nema ukleštenja. S obzirom da je potpuno kruto ukleštenje u praksi retko, za  $k_1$  i  $k_2$  preporučene su minimalne vrednosti **0,1**.

(4) Ukoliko može da se pretpostavi da susedni pritisnuti element (stub) u čvoru može da doprinese rotaciji posmatranog elementa pri izvijanju, vrednost  $(EI/l)$  u izrazu za  $k$  treba da se zameni sa  $[(EI/l)_a + (EI/l)_b]$ , gde  $a$  i  $b$  označavaju pritisnuti element (stub) iznad i ispod čvora.

(5) Kada se definišu efektivne dužine, krutost elemenata koji obezbeđuju ukleštenja treba da se odredi uzimajući u obzir prslina, ukoliko ne može da se pokaže da su ti elementi u GSN bez prslina.

(6) Za drugačije slučajeve od onih u (2) i (3) u prethodnom tekstu, na primer, za elemente sa promenljivom normalnom silom i/ili poprečnim presekom, kriterijum u 5.8.3.1 treba da se proveriti sa efektivnom dužinom koja odgovara opterećenju pri izvijanju (na primer, sračunatom numeričkim metodom):

$$I_0 = \pi \sqrt{EI / N_B} \quad (5.17)$$

gde je:

$EI$  reprezentativna krutost na savijanje  
 $N_B$  opterećenje pri izvijanju, izraženo pomoću te krutosti  
 (u izrazu (5.14),  $i$  treba isto da odgovara toj krutosti  $EI$ ).

(7) Uticaj uklještenja transverzalnih zidova može da se uzme u obzir u proračunu efektivne dužine zidova sa koeficijentom  $\beta$ , datim u 12.6.5.1. U izrazu (12.9) i u tabeli 12.1, tada  $I_w$  treba da se zameni sa efektivnom dužinom  $I_0$ , određenom prema 5.8.3.2.

### 5.8.3.3 GLOBALNI UTICAJI DRUGOG REDA U ZGRADAMA

(1) Kao alternativa za 5.8.2 (6), globalni efekti drugog reda u zgradama mogu se zanemariti ako je

$$F_{V,Ed} \leq k_1 \cdot \frac{n_s}{n_s + 1,6} \cdot \frac{\sum E_{cd} I_c}{L^2} \quad (5.18)$$

gde je:

$F_{V,Ed}$  ukupno vertikalno opterećenje (na ukrućene i na elemente za ukrućenje)  
 $n_s$  broj spratova  
 $L$  ukupna visina zgrade iznad nivoa uklještenja  
 $E_{cd}$  proračunska vrednost modula elastičnosti betona, videti 5.8.6 (3)  
 $I_c$  momenat inercije poprečnog preseka (preseka betona bez prslina) elemenata za ukrućenje.

**Napomena:** Vrednost  $k_1$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **0,31**.

Izraz (5.18) važi samo ako su ispunjeni svi sledeći uslovi:

- torziona nestabilnost nije merodavna, odnosno može da se smatra da je konstrukcija u dovoljnoj meri simetrična
- globalne deformacije smicanja su zanemarljive (kao, na primer, u sistemu za ukrućenje koji se sastoji pretežno od zidova za ukrućenje od smicanja (smičući zidovi) (*shear walls*), bez većih otvora
- elementi za ukrućenje su kruto fiksirani u osnovi, odnosno rotacije su zanemarljive
- krutost elemenata za ukrućenje je približno konstantna po visini
- ukupno vertikalno opterećenje povećava se približno ravnomerno po spratovima.

(2) Koeficijent  $k_1$  u izrazu (5.18) može da se zameni sa  $k_2$  ako može da se dokaže da su elementi za ukrućenje bez prslina u GSN .

**Napomena 1:** Vrednost  $k_2$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **0,62**.

**Napomena 2:** Za slučajeve kada konstrukcijski sistem za ukrućenje ima značajne globalne deformacije od smicanja i/ili oslonačke rotacije, videti informativni Aneks H (u kojem su date i osnove za prethodna pravila).

## 5.8.4 TEČENJE

(1)P Uticaji od tečenja (*effect of creep*) moraju da se uzmu u obzir u analizi drugog reda, vodeći računa i o generalnim uslovima tečenja (videti 3.1.4) i o trajanju različitih opterećenja u razmatranoj kombinaciji opterećenja.

(2) Trajanje opterećenja može da se uzme u obzir u proračunu na uprošćen način pomoću efektivnog koeficijenta tečenja (*effective creep ratio*),  $\varphi_{ef}$ , koji sa proračunskim opterećenjem daje deformaciju usled tečenja (krivinu) (*curvature*) koja odgovara kvazi-stalnom opterećenju:

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) \cdot M_{0Eqp} / M_{0Ed} \quad (5.19)$$

gde je:

- $\varphi(\infty, t_0)$  konačna vrednost koeficijenta tečenja, prema 3.1.4
- $M_{0Eqp}$  moment savijanja prvog reda za kvazi-stalnu kombinaciju opterećenja u GSU
- $M_{0Ed}$  moment savijanja prvog reda za proračunsku kombinaciju opterećenja u GSN.

**Napomena:** Moguće je i da se  $\varphi_{ef}$  odredi prema ukupnim momentima savijanja  $M_{Eqp}$  i  $M_{Ed}$ , ali to zahteva primenu iteracije i proračun stabilnosti za kvazi-stalno opterećenje sa  $\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0)$ .

(3) Ako  $M_{0Eqp} / M_{0Ed}$  varira u elementu konstrukcije, taj odnos može da se sračuna za presek na mestu maksimalnog momenta, ili može da se koristi reprezentativna srednja vrednost.

(4) Uticaj tečenja može da se zanemari, odnosno može da se pretpostavi da je  $\varphi_{ef} = 0$ , ukoliko su ispunjena sledeća tri uslova:

- $\varphi(\infty, t_0) \leq 2$
- $\lambda \leq 75$
- $M_{0Ed} / N_{Ed} \geq h$ .

U ovim izrazima  $M_{0Ed}$  je moment savijanja prvog reda a  $h$  je visina poprečnog preseka u odgovarajućem pravcu.

**Napomena:** Ako su uslovi za zanemarenje uticaja drugog reda, prema 5.8.2 (6) ili 5.8.3.3, upravo dostignuti, moglo bi da bude suviše nekonzervativno da se zanemare i uticaji drugog reda i uticaji tečenja, osim ako je mehanički koeficijent armature ( $\omega$ , videti 5.8.3.1 (1)) najmanje **0,25**.

## 5.8.5 METODE ANALIZE

(1) Metode analize obuhvataju generalnu metodu, koja se zasniva na nelinearnoj analizi drugog reda, videti 5.8.6, i sledeće dve uprošćene metode:

- (a) Metodu u kojoj se koristi nominalna krutost (*nominal stiffness*), videti 5.8.7
- (b) Metodu u kojoj se koristi nominalna krivina (*nominal curvature*), videti 5.8.8.

**Napomena 1:** Izbor uprošćene metode (a) ili (b), koja se primenjuje u određenoj zemlji, dat je u njenom Nacionalnom aneksu.

**Napomena 2:** Nominalni momenti savijanja drugog reda, koji se dobijaju uprošćenim metodama (a) i (b), neki put su veći od onih koji odgovaraju uticajima pri kojima nastaje stanje nestabilnosti. Time se obezbeđuje da je totalni momenat kompatibilan sa nosivošću poprečnog preseka.

(2) Metoda (a) može da se koristi i za izdvojene elemente i za konstrukcije u celini, ako su vrednosti nominalnih krutosti pravilno određene, videti 5.8.7.

(3) Metoda (b) je uglavnom pogodna za izdvojene elemente, videti 5.8.8. Međutim, uz realistične pretpostavke o raspodeli krivine, metoda data u 5.8.8 može da se koristi i za konstrukcije.

## 5.8.6 GENERALNA METODA

(1)P Generalna metoda se zasniva na nelinearnoj analizi, uključujući geometrijsku nelinearnost, odnosno uticaje drugog reda. Za generalnu metodu važe generalna pravila za nelinearnu analizu, data u 5.7.

(2)P Moraju da se koriste krive napon-deformacija za beton i za čelik koje su pogodne za globalnu analizu. Uticaj tečenja mora da se uzme u obzir.

(3) Dijagrami napon-dilatacija za beton i za čelik, dati u 3.1.5, izraz (3.14) i 3.2.7 (slika 3.8), mogu da se koriste. Sa dijagramima napon-dilatacija koji odgovaraju proračunskim vrednostima, proračunska vrednost graničnog opterećenja dobija se direktno iz analize. U izrazu (3.14), i u vrednosti  $k$ ,  $f_{cm}$  treba da se zameni sa proračunskom čvrstoćom betona pri pritisku  $f_{cd}$  a  $E_{cm}$  se zamenjuje sa

$$E_{cd} = E_{cm} / \gamma_{CE} \quad (5.20)$$

**Napomena:** Vrednost  $\gamma_{CE}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je 1,2.

(4) Ako se ne raspolaže preciznijim modelima, tečenje se može uzeti u obzir multipliciranjem svih vrednosti dilatacija u dijagramu napon-dilatacija za beton, prema 5.8.6 (3), sa faktorom  $(1 + \varphi_{ef})$ , gde je  $\varphi_{ef}$  efektivni koeficijent tečenja prema 5.8.4.

(5) Povoljan uticaj sadejstva betona sa prslinama u zategnutoj zoni (*tension stiffening*) može da se uzme u obzir.

**Napomena:** Taj uticaj je povoljan i zbog jednostavnosti uvek može da se zanemari.

(6) Normalno, uslovi ravnoteže i kompatibilnost dilatacija su zadovoljeni u velikom broju poprečnih preseka. Uprošćena alternativa je da se posmatra samo kritičan poprečni presek/ preseki, a da se pretpostavi odgovarajuća varijacija krivine na ostalim delovima elementa ili konstrukcije, na primer, slična momentu prvog reda ili deformacijama uprošćenim na neki drugi, odgovarajući način.

## 5.8.7 METODA U KOJOJ SE KORISTI NOMINALNA KRUTOST

### 5.8.7.1 OPŠTE ODREDBE

(1) U analizi drugog reda na osnovu krutosti (*second order analysis based on stiffness*), treba da se koriste nominalne vrednosti krutosti na savijanje, uzimajući u obzir uticaje prslina, materijalne nelinearnosti i tečenja na globalno ponašanje konstrukcije. To se odnosi i na su-

## EN 1992-1-1:2004

sedne elemente koji su obuhvaćeni analizom, na primer, grede, ploče i temelje. Kada to može da bude od značaja, interakcija tle-konstrukcija treba da se uzme u obzir.

(2) Rezultujući proračunski momenat savijanja koristi se za proračun poprečnih preseka za uticaje momenta savijanja i aksijalne sile, prema 6.1 odnosno 5.8.5.

### 5.8.7.2 NOMINALNA KRUTOST

(1) Sledeći model može se koristiti za procenu nominalne krutosti vitkih pritisnutih elemenata sa proizvoljnim poprečnim presekom:

$$EI = K_c E_{cd} I_c + K_s E_s I_s \quad (5.21)$$

gde je:

$E_{cd}$  proračunska vrednost modula elastičnosti betona, videti 5.8.6 (3)

$I_c$  momenat inercije poprečnog preseka betona

$E_s$  proračunska vrednost modula elastičnosti armature, 5.8.6 (3)

$I_s$  momenat inercije površine armature u odnosu na težište betona

$K_c$  koeficijent kojim se uzima u obzir uticaj prslina, tečenja, itd., videti 5.8.7.2 (2) ili (3)

$K_s$  koeficijent kojim se uzima u obzir doprinos armature, videti 5.8.7.2 (2) ili (3).

(2) Sledeći koeficijenti mogu da se koriste u izrazu (5.21), pod uslovom da je  $\rho \geq 0,002$ :

$$K_s = 1$$

$$K_c = k_1 k_2 / (1 + \varphi_{ef}) \quad (5.22)$$

gde je:

$\rho$  geometrijski odnos površina armature i betona,  $A_s / A_c$

$A_s$  ukupna površina armature

$A_c$  površina betonskog preseka

$\varphi_{ef}$  efektivni koeficijent tečenja betona, videti 5.8.4

$k_1$  koeficijent koji zavisi od klase čvrstoće betona, izraz (5.23)

$k_2$  koeficijent koji zavisi od aksijalne sile i vitkosti, izraz (5.24)

$$k_1 = \sqrt{f_{ck} / 20} \quad [\text{MPa}] \quad (5.23)$$

$$k_2 = n \cdot \frac{\lambda}{170} \leq 0,20 \quad (5.24)$$

gde je:

$n$  relativna aksijalna sila (*relative axial force*),  $N_{Ed} / (A_c f_{cd})$

$\lambda$  vitkost, videti 5.8.3.

Ako vitkost  $\lambda$  nije definisana, za  $k_2$  može da se uzme vrednost:

$$k_2 = n \cdot 0,30 \leq 0,20 \quad (5.25)$$

(3) Kao uprošćena alternativa, pod uslovom da je  $\rho \geq 0,01$ , u izrazu (5.21) mogu da se koriste sledeći koeficijenti:

$$K_s = 0$$

$$K_c = 0,3 / (1 + 0,5 \varphi_{ef}) \quad (5.26)$$

**Napomena:** Uprošćena alternativa može da bude pogodna kao prvi korak, posle kojeg treba nastaviti sa tačnijim proračunom, prema (2) u prethodnom tekstu.

(4) U statički neodređenim konstrukcijama, nepovoljni efekti prslina u susednim elementima treba da se uzmu u obzir. Izrazi (5.21 do 5.26) ne mogu generalno da se primene na takve elemente. Delimična isprskalost (*partial cracking*) i sadejstvo betona u zategnutoj zoni mogu se uzeti u obzir, na primer, prema 7.4.3. Međutim, kao uprošćenje, može da se pretpostavi da su preseci potpuno sa prslinama (*fully cracked sections*). Krutost treba da se sračuna sa efektivnim modulom elastičnosti betona:

$$E_{cd,eff} = E_{cd} / (1 + \varphi_{ef}) \quad (5.27)$$

gde je:

$E_{cd}$  proračunska vrednost modula elastičnosti prema 5.8.6 (3)

$\varphi_{ef}$  efektivni koeficijent tečenja; može da se koristi ista vrednost kao za stubove.

### 5.8.7.3 KOEFICIJENT POVEĆANJA MOMENTA

(1) Ukupan proračunski momenat, uključujući momenat drugog reda, može da se dobije povećanjem momenta savijanja određenog linearnom analizom (*magnification of the bending moments resulting from the linear analysis*), odnosno:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} \left[ 1 + \frac{\beta}{(N_B / N_{Ed}) - 1} \right] \quad (5.28)$$

gde je:

$M_{0Ed}$  momenat prvog reda; videti i 5.8.8.2 (2)

$\beta$  koeficijent koji zavisi od dijagrama momenata prvog i drugog reda, videti 5.8.7.3 (2) i (3) u daljem tekstu

$N_{Ed}$  proračunska vrednost aksijalnog opterećenja

$N_B$  opterećenje pri izvijanju određeno sa nominalnom krutošću.

(2) Za aksijalno opterećene izdvojene elemente sa konstantnim poprečnim presekom, normalno može da se pretpostavi da dijagram momenata drugog reda ima sinusni oblik. Tada je:

$$\beta = \pi^2 / c_0 \quad (5.29)$$

gde je:

$c_0$  koeficijent koji zavisi od dijagrama momenata prvog reda (na primer,  $c_0 = 8$  za konstantan momenat prvog reda,  $c_0 = 9,6$  za paraboličan i  $12$  za simetričan trougaoni dijagram, itd.).

(3) Za elemente bez transverzalnog opterećenja, različiti momenti prvog reda na krajevima elementa  $M_{01}$  i  $M_{02}$  mogu da se zamene ekvivalentnim konstantnim momentom prvog reda  $M_{0e}$ , prema 5.8.8.2 (2). U skladu sa pretpostavkom o konstantnom momentu prvog reda, treba koristiti  $c_0 = 8$ .

**Napomena:** Veličina  $c_0 = 8$  važi i za elemente sa dvostrukom krivinom. Treba zapaziti da u izvesnim slučajevima, u zavisnosti od vitkosti i aksijalne sile, momenat/ti na krajevima mogu biti veći od ekvivalentnog povećanog momenta.

## EN 1992-1-1:2004

(4) Kada pravila 5.8.7.3 (2) i (3) ne mogu da se primene, normalno je razumno uprošćenje da se pretpostavi da je  $\beta = 1$ . Izraz (5.28) svodi se tada na:

$$M_{Ed} = \frac{M_{0Ed}}{1 - (N_{Ed} / N_B)} \quad (5.30)$$

**Napomena:** 5.8.7.3 (4) važi i za globalnu analizu izvesnih vrsta konstrukcija, na primer, konstrukcija koje su ukrućene zidovima za ukrućenje i na slične načine, kada je glavni uticaj od dejstava momenat savijanja u sistemu za ukrućenje. Za drugačije vrste konstrukcija, generalniji pristup dat je u informativnom Aneksu H, poglavlje H.2.

### 5.8.8 METODA U KOJOJ SE KORISTI NOMINALNA KRIVINA

#### 5.8.8.1 OPŠTE ODREDBE

(1) Metoda u kojoj se koristi nominalna krivina pogodna je prvenstveno za izdvojene elemente sa konstantnom normalnom silom i definisanom efektivnom dužinom  $l_0$  (videti 5.8.3.2). Metoda daje nominalne momente drugog reda na osnovu deformacije ose elementa, koja se određuje na osnovu efektivne dužine i procenjene maksimalne krivine (videti i 5.8.5 (3)).

(2) Rezultujući proračunski momenat savijanja koristi se za proračun poprečnih preseka za uticaje momenta savijanja i aksijalne sile, prema 6.1.

#### 5.8.8.2 MOMENTI SAVIJANJA

(1) Proračunski momenat savijanja je:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 \quad (5.31)$$

gde je:

$M_{0Ed}$  momenat prvog reda, uključivo uticaje imperfekcija, videti i 5.8.8.2 (2)  
 $M_2$  nominalni momenat savijanja drugog reda, videti 5.8.8.2 (3).

Maksimalna veličina  $M_{Ed}$  data je dijagramima  $M_{0Ed}$  i  $M_2$ ; za dijagram  $M_2$  može da se pretpostavi da je u paraboličnog ili sinusnog oblika na efektivnoj dužini.

**Napomena:** Za statički neodređene elemente  $M_{0Ed}$  se određuje prema stvarnim konturnim uslovima, dok  $M_2$  zavisi od konturnih uslova preko efektivne dužine, videti 5.8.8.1 (1).

(2) Različite vrednosti momenata prvog reda na krajevima  $M_{01}$  i  $M_{02}$  mogu da se zamene ekvivalentnim momentom savijanja prvog reda na krajevima  $M_{0e}$ :

$$M_{0e} = 0,6 M_{02} + 0,4 M_{01} \geq 0,4 M_{02} \quad (5.32)$$

$M_{01}$  i  $M_{02}$  treba da su istog znaka ako zatežu istu stranu elementa a u suprotnom treba da su različitog znaka. Osim toga,  $|M_{02}| \geq |M_{01}|$ .

(3) Nominalni momenat savijanja drugog reda  $M_2$  u izrazu (5.31) je:

$$M_2 = N_{Ed} e_2 \quad (5.33)$$

gde je:

$N_{Ed}$  proračunska vrednost aksijalne sile  
 $e_2$  ugib =  $(1/r) l_0^2 / c$   
 $1/r$  krivina, videti 5.8.8.3

- $l_0$  efektivna dužina, videti 5.8.3.2  
 $c$  koeficijent koji zavisi od dijagrama krivine, videti 5.8.8.2 (4).

(4) Za konstantan poprečni presek normalno se usvaja  $c = 10 (\approx \pi^2)$ . Ako je momenat prvog reda konstantan, treba da se usvoji niža vrednost ( $\delta$  je donja granica, koja odgovara konstantnom ukupnom momentu).

**Napomena:** Vrednost  $\pi^2$  odgovara sinusnom dijagramu krivine. Vrednost za konstantnu krivinu je 8. Treba zapaziti da  $c$  zavisi od dijagrama **ukupne** krivine, dok  $c_0$  u 5.8.7.3 (2) zavisi samo od krivine koja odgovara momentu prvog reda.

### 5.8.8.3 KRIVINA

(1) Za elemente sa konstantnim simetričnim poprečnim presekom (uključivo i armaturu), može da se koristi izraz:

$$1/r = K_r \cdot K_\varphi \cdot 1/r_0 \quad (5.34)$$

gde je:

- $K_r$  korekcionni koeficijent koji zavisi od aksijalnog opterećenja, videti 5.8.8.3 (3)  
 $K_\varphi$  koeficijent kojim se uzima u obzir tečenje, videti 5.8.8.3 (4)  
 $1/r_0 = \varepsilon_{yd} / (0,45 d)$   
 $\varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s$   
 $d$  statička visina preseka, videti i 5.8.8.3 (2).

(2) Ukoliko sva armatura nije koncentrisana na suprotnim stranama preseka, nego je deo armature raspoređen paralelno sa ravni savijanja,  $d$  se definiše kao:

$$d = (h/2) + i_s \quad (5.35)$$

gde je  $i_s$  poluprečnik inercije ukupne površine armature.

(3) Veličina  $K_r$  u izrazu (5.34) dobija se iz:

$$K_r = (n_u - n) / (n_u - n_{bal}) \leq 1 \quad (5.36)$$

gde je:

- $n = N_{Ed} / (A_c f_{cd})$ , relativna aksijalna sila  
 $N_{Ed}$  proračunska vrednost aksijalne sile  
 $n_u = 1 + \omega$   
 $n_{bal}$  vrednost  $n$  u preseku sa maksimalnom nosivošću pri savijanju; može da se koristi vrednost **0,4**  
 $\omega = A_s f_{yd} / (A_c f_{cd})$   
 $A_s$  ukupna površina armature  
 $A_c$  površina betonskog poprečnog preseka.

(4) Uticaj tečenja betona treba da se uzme u obzir sa sledećim koeficijentom:

$$K_\varphi = 1 + \beta \varphi_{ef} \geq 1 \quad (5.37)$$

gde je:

- $\varphi_{ef}$  efektivni koeficijent tečenja, videti 5.8.4  
 $\beta = 0,35 + f_{ck} / 200 - \lambda / 150$

$\lambda$  vitkost, videti 5.8.3.1.

### 5.8.9 BIAKSIJALNO SAVIJANJE

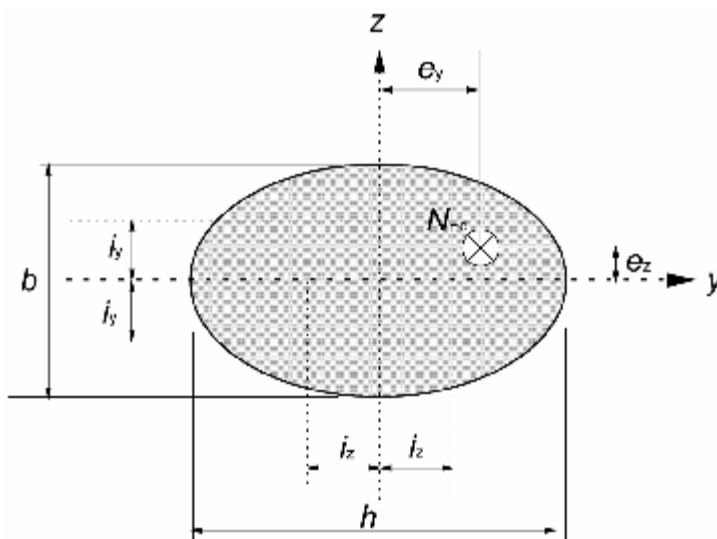
(1) Generalna metoda, opisana u 5.8.6, može da se koristi i za biaksijalno (koso) savijanje (*biaxial bending*). Sledeće odredbe važe kada se koriste uprošćene metode. Posebna pažnja treba da se obrati na iznalaženje preseka duž elementa u kojem je kombinacija momenata kritična.

(2) Kao prvi korak može da se proračuna svaki od glavnih pravaca posebno, zanemarujući biaksijalno savijanje. Imperfekcije treba uzeti u obzir samo u pravcu u kojem će imati najnepovoljniji efekat.

(3) Dalja provera nije potrebna ako vitkosti zadovoljavaju sledeća dva uslova:

$$\lambda_y/\lambda_z \leq 2 \quad \text{i} \quad \lambda_z/\lambda_y \leq 2 \quad (5.38a)$$

i ako relativni ekscentriciteti  $e_y/h$  i  $e_z/b$  (videti sliku 5.8) zadovoljavaju jedan od sledećih uslova:



Slika 5.8: Definicija ekscentriciteta  $e_y$  i  $e_z$

$$\frac{e_y/h_{eq}}{e_z/b_{eq}} \leq 0,2 \quad \text{ili} \quad \frac{e_z/b_{eq}}{e_y/h_{eq}} \leq 0,2 \quad (5.38b)$$

gde je:

- $b, h$  širina i visina poprečnog preseka
- $b_{eq} = i_y \cdot \sqrt{12}$  i  $h_{eq} = i_z \cdot \sqrt{12}$  za ekvivalentan pravougaoni presek
- $\lambda_y, \lambda_z$  vitkosti  $I_0/i$  u odnosu na  $y$ -osu, odnosno  $z$ -osu
- $i_y, i_z$  poluprečnici inercije u odnosu na  $y$ -osu, odnosno  $z$ -osu
- $e_z = M_{Edy}/N_{Ed}$ ; ekscentricitet u pravcu  $z$ -ose
- $e_y = M_{Edz}/N_{Ed}$ ; ekscentricitet u pravcu  $y$ -ose
- $M_{Edy}$  proračunski momenat oko  $y$ -ose, uključujući i momenat drugog reda
- $M_{Edz}$  proračunski momenat oko  $z$ -ose, uključujući i momenat drugog reda

$N_{Ed}$  proračunska vrednost aksijalnog opterećenja za odgovarajuću kombinaciju opterećenja.

(4) Ako uslovi u izrazu (5.38) nisu ispunjeni, biaksijalno savijanje treba da se uzme u obzir, uključujući i uticaje drugog reda u oba pravca (osim ako se oni mogu da se zanemare prema 5.8.2 (6) ili 5.8.3). Ako se ne raspolaže tačnijim proračunom poprečnog preseka za biaksijalno savijanje, može da se koristi sledeći uprošćeni kriterijum:

$$\left(\frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}}\right)^a + \left(\frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}}\right)^a \leq 1,0 \quad (5.39)$$

gde je:

$M_{Edz/y}$  proračunski momenat oko odgovarajuće ose, uključujući momenat drugog reda

$M_{Rdz/y}$  nosivost preseka pri savijanju u odgovarajućem pravcu

$a$  eksponent:

za kružne i eliptične poprečne preseke:  $a = 2$

za pravougaone poprečne preseke:

$N_{Ed}/N_{Rd}$	0,1	0,7	1,0
$a =$	1,0	1,5	2,0

uz linearnu interpolaciju za međuvrednosti

$N_{Ed}$  proračunska vrednost aksijalne sile

$N_{Rd} = A_c f_{cd} + A_s f_{yd}$ , proračunska nosivost preseka za aksijalnu silu

gde je:

$A_c$  bruto poprečni presek betona

$A_s$  površina podužne armature.

## 5.9 BOČNA NESTABILNOST VITKIH GREDA

(1)P Bočna nestabilnost (*lateral instability*) vitkih greda mora da se uzme u obzir kada je to potrebno, na primer, za prefabrikovane grede za vreme transporta i montaže, za grede bez dovoljnog bočnog ukrućenja u završenoj konstrukciji, itd. Pritom moraju da se uzmu u obzir geometrijske imperfekcije.

(2) Bočni ugib (*lateral deflection*) od  $l/300$  treba da se pretpostavi kao geometrijska imperfekcija u proračunu bočne stabilnosti greda kada nisu sprečena bočna pomeranja, gde je  $l$  ukupna dužina greda. U završenim konstrukcijama mogu da se uzmu u obzir ukrućenja usled veza sa susednim elementima.

(3) Uticaji drugog reda koji nastaju usled bočne nestabilnosti mogu da se zanemare ako su ispunjeni sledeći uslovi:

– za stalne situacije:  $\frac{l_{ot}}{b} \leq \frac{50}{(h/b)^{1/3}}$  i  $h/b \leq 2,5$  (5.40a)

– za prolazne situacije:  $\frac{l_{ot}}{b} \leq \frac{70}{(h/b)^{1/3}}$  i  $h/b \leq 3,5$  (5.40b)

gde je:

- $I_{0t}$  rastojanje između torzionih uklještenja
- $h$  ukupna visina grede u centralnom delu rastojanja  $I_{0t}$
- $b$  širina pritisnute flanše.

(4) Torziju koja nastaje usled bočne nestabilnosti treba uzeti u obzir u proračunu oslonačkih elemenata konstrukcije.

## 5.10 PRETHODNO NAPREGNUTI ELEMENTI I KONSTRUKCIJE

### 5.10.1 OPŠTE ODREDBE

(1)P U ovom standardu razmatra se prethodno naprezanje (*prestress*) koje na beton prenose zategnuti kablovi.

(2) Uticaji prethodnog naprezanja mogu da se uzmu u obzir kao dejstvo na konstrukciju ili kao povećanje nosivosti usled prethodnih dilatacija (*prestrain*) i prethodne krivine (*precurvature*). Nosivost treba da se sračuna na odgovarajući način, u zavisnosti od načina na koji su uticaji prethodnog naprezanja uzeti u obzir.

(3) Generalno, prethodno naprezanje se uvodi u kombinacije dejstava definisane u EN 1990 kao slučaj opterećenja (*load case*) i uticaji prethodnog naprezanja treba da se uključe u sile u preseku (unutrašnji momenat i aksijalnu silu).

(4) U skladu sa pretpostavkama u (3) u prethodnom tekstu, doprinos kablova za prethodno naprezanje nosivosti preseka treba da se ograniči na njihovu dodatnu nosivost iznad napona prethodnog zatezanja. Ta dodatna nosivost može da se sračuna pretpostavljajući da je koordinatni početak dijagrama napon-dilatacija kablova za prethodno naprezanje pomeren za vrednost prethodnog zatezanja.

(5)P Mora da se izbegne krta lom (*brittle failure*) elemenata usled loma kablova za prethodno naprezanje.

(6) Krta lom treba da se izbegne koristeći jedan ili više od sledećih načina:

- A: Predvideti minimalnu armaturu, prema 9.2.1.
- B: Koristiti prethodno zategnute kablove koji prijanjaju sa betonom.
- C: Predvideti lak pristup prethodno napregnutim betonskim elementima u cilju provere i kontrole stanja kablova nerazarajućim metodama ili odgovarajućim osmatranjem.
- D: Obezbediti zadovoljavajuće dokaze o pouzdanosti kablova.
- E: Ukoliko lom može da nastupi pri čestim kombinacijama dejstava, bilo usled povećanja opterećenja ili smanjenja sile prethodnog naprezanja, obezbediti da se prslina pojave pre nego što se prekorači kapacitet nosivosti, vodeći računa o preraspodeli momenata usled uticaja prslina.

**Napomena:** Izbor postupaka koji se primenjuju u određenoj zemlji, dat je u njenom Nacionalnom aneksu.

### 5.10.2 SILA PRETHODNOG NAPREZANJA ZA VREME ZATEZANJA

#### 5.10.2.1 MAKSIMALNA SILA ZATEZANJA

(1)P Maksimalna sila kojom se kabl zateže,  $P_{max}$ , (odnosno sila na aktivnom kraju za vreme zatezanja), ne sme da bude veća od:

$$P_{\max} = A_p \cdot \sigma_{p,\max} \quad (5.41)$$

gde je:

$$\begin{aligned} A_p & \text{ površina poprečnog preseka kabla} \\ \sigma_{p,\max} & \text{ maksimalni napon kojim je kabl zategnut} \\ & = \min\{k_1 \cdot f_{pk}; k_2 \cdot f_{p0,1k}\} \end{aligned}$$

**Napomena:** Vrednosti  $k_1$  i  $k_2$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti su  $k_1 = 0,8$  i  $k_2 = 0,9$ .

(2) Prekoračenje maksimalne sile zatezanja kablova (*overstressing*) dopušteno je ako sila na hidrauličkoj presi za zatezanje (*hydraulic jack*) može da se meri sa tačnošću od  $\pm 5\%$  od konačne vrednosti sile prethodnog naprezanja. U takvim slučajevima maksimalna sila prethodnog naprezanja može da se poveća na  $k_3 \cdot f_{p0,1k}$  (na primer, zbog pojave neočekivano velikog trenja pri prethodnom naprezanju kablova velike dužine).

**Napomena:** Vrednost  $k_3$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **0,95**.

### 5.10.2.2 OGRANIČENJE NAPONA U BETONU

(1)P Mora da se izbegne lokalni lom betona usled drobljenja ili cepanja (*crushing or splitting*) na krajevima prethodno napregnutih elemenata u kojima se kablovi prethodno ili naknadno zatežu (*pre-tensioned and post-tensioned*).

(2) Lokalno drobljenje ili cepanje betona u zoni ankera kablove koji se naknadno zatežu treba da se izbegne ispunjavanjem zahteva odgovarajućeg Evropskog tehničkog odobrenja ETA.

(3)P Čvrstoća betona u trenutku unošenja sile ili prenošenja (transfera) (*transfer of prestress*) sile prethodnog naprezanja na beton ne sme da bude manja od minimalne vrednosti definisane u odgovarajućem ETA.

(4) Ukoliko se prethodno naprezanje nekog pojedinačnog kabla vrši u koracima, zahtevana čvrstoća betona može da se smanji. Minimalna čvrstoća betona u trenutku vremena  $t$ ,  $f_{cm}(t)$ , treba da bude  $k_4$  [%] od zahtevane čvrstoće betona za punu silu prethodnog naprezanja, date u odgovarajućem ETA. Između minimalne čvrstoće betona i zahtevane čvrstoće betona za punu silu prethodnog naprezanja, sila prethodnog naprezanja može da se interpoluje između  $k_5$  [%] i **100%** od punog prethodnog naprezanja.

**Napomena:** Vrednosti  $k_4$  i  $k_5$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti su  $k_4 = 50$  i  $k_5 = 30$ .

(5) Napon pritiska u betonu konstrukcije od sile prethodnog naprezanja i drugih opterećenja koja deluju u trenutku zatezanja ili prenošenja sile prethodnog naprezanja, treba da se ograniči na:

$$\sigma_c \leq 0,6 f_{ck}(t) \quad (5.42)$$

gde je  $f_{ck}(t)$  karakteristična vrednost čvrstoće betona pri pritisku u vremenu  $t$  kada je izložen sili prethodnog naprezanja.

U prethodno napregnutim elementima u kojima se kablovi prethodno zatežu, u trenutku prenošenja sile prethodnog naprezanja napon u betonu može da se poveća do  $k_6 \cdot f_{ck}(t)$ , ako se ispitivanjem ili iskustvom može da dokaže da neće doći do podužnih prslina.

**Napomena:** Vrednost  $k_6$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **0,7**.

## EN 1992-1-1:2004

Ukoliko je napon pritiska u betonu stalno veći od  $0,45 f_{ck}(t)$ , treba da se uzme u obzir nelinearnost tečenja betona.

### 5.10.2.3 MERENJA

(1)P Pri naknadnom zatezanju kablova sila prethodnog naprezanja i odgovarajuće izduženje kabla moraju da se provere merenjem. Moraju da se kontrolišu i stvarni gubici usled trenja.

### 5.10.3 SILA PRETHODNOG NAPREZANJA

(1)P Srednja vrednost sile prethodnog naprezanja  $P_{m,t}(x)$  u posmatranom trenutku vremena  $t$ , na rastojanju  $x$  (ili mereno po trasi kabla) od aktivnog kraja kabla, jednaka je maksimalnoj sili  $P_{max}$  kojom se kabl zateže na aktivnom kraju, umanjenoj za trenutne gubitke i gubitke koji zavise od vremena (videti dalji tekst). Svi gubici se uzimaju u apsolutnim vrednostima.

(2) Vrednost početne sile prethodnog naprezanja (*initial prestress force*)  $P_{m0}(x)$  (u trenutku  $t = t_0$ ), kojoj je beton izložen neposredno posle zatezanja i ankerovanja kablova (pri naknadnom zatezanju kablova) (*post-tensioning*), ili posle prenošenja prethodnog naprezanja na beton (pri prethodnom zatezanju kablova) (*pre-tensioning*), dobija se kada se sila prethodnog zatezanja  $P_{max}$  umanjuje za trenutne gubitke (*immediate losses*)  $\Delta P_i(x)$ , i ne treba da bude veća od sledeće vrednosti:

$$P_{m0}(x) = A_p \sigma_{pm0}(x) \quad (5.43)$$

gde je:

$$\sigma_{pm0}(x) \text{ napon u kabl u neposredno posle zatezanja ili prenošenja sile} \\ = \min \{k_7 \cdot f_{pk}; k_8 \cdot f_{p0,1}\}$$

**Napomena:** Vrednosti  $k_7$  i  $k_8$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti su  $k_7 = 0,75$  i  $k_8 = 0,85$ .

(3) Kada se određuju trenutni gubici  $\Delta P_i(x)$  treba da se uzmu u obzir sledeći trenutni uticaji usled kojih nastaju gubici pri prethodnom ili pri naknadnom zatezanju, gde koji od tih uticaja odgovara, u zavisnosti od postupka prethodnog naprezanja (videti 5.10.4 i 5.10.5):

- gubici usled elastičnih deformacija betona  $\Delta P_{ei}$
- gubici usled kratkotrajnog dejstva relaksacije  $\Delta P_r$
- gubici usled trenja  $\Delta P_{\mu}(x)$
- gubici pri ankerovanju  $\Delta P_{sl}$ .

(4) Srednja vrednost sile prethodnog naprezanja  $P_{m,t}(x)$  u vremenu  $t > t_0$  treba da se odredi vodeći računa o postupku prethodnog naprezanja. Pored trenutnih gubitaka datih u (3) u prethodnom tekstu, treba da se uzmu u obzir i gubici prethodnog naprezanja koji zavise od vremena (*time-dependent losses of prestress*)  $\Delta P_{c+s+tr}(x)$  (videti 5.10.6), koji su rezultat tečenja i skupljanja betona i dugotrajne relaksacije čelika za prethodno naprezanje, tako da je  $P_{m,t}(x) = P_{m0}(x) - \Delta P_{c+s+tr}(x)$ .

### 5.10.4 TRENUTNI GUBICI PRETHODNOG NAPREZANJA PRI PRETHODNOM ZATEZANJU KABLOVA

(1) Sledeći gubici koji nastaju za vreme prethodnog zatezanja kablova treba da se uzmu u obzir:

- (i) **za vreme zatezanja:** gubitak usled trenja na mestima previjanja (u slučaju poligonalnih žica ili užadi) i gubici usled uvlačenja klina (*wedge draw-in*) u anker-nim uređajima.
  - (ii) **pre prenošenja (transfera) sile prethodnog naprezanja na beton:** gubitak usled relaksacije kablova za prethodno naprezanje za vreme koje protekne od zatezanja kablova do prenošenja sile, odnosno prethodnog naprezanja betona.
- Napomena:** U slučaju zaparivanja (*heat curing*) betona, gubici usled skupljanja betona i relaksacije čelika za prethodno naprezanje imaju drugačije vrednosti i treba da se sračunaju na odgovarajući način; direktni termički uticaji isto tako moraju da se uzmu u obzir (videti 10.3.2.2 i Aneks D).
- (iii) **pri prenošenju sile prethodnog naprezanja na beton:** gubitak usled elastične deformacije betona od dejstva sile prethodno zategnutih kablova na betonski element kada se otpuste sa anker-a na oporcima.

## 5.10.5 TRENUTNI GUBICI PRETHODNOG NAPREZANJA PRI NAKNADNOM ZATEZANJU KABLOVA

### 5.10.5.1 GUBICI USLED TRENUTNIH DEFORMACIJA BETONA

(1) Treba da se vodi računa o gubitku sile u kablu usled deformacije betona, u zavisnosti od redosleda zatezanja kablova.

(2) Može da se pretpostavi da je veličina tog gubitka,  $\Delta P_{el}$ , jednaka srednjem gubitku u svakom kablu, prema izrazu:

$$\Delta P_{el} = A_p \cdot E_p \cdot \Sigma \left[ \frac{j \cdot \Delta \sigma_c(t)}{E_{cm}(t)} \right] \quad (5.44)$$

gde je:

- $\Delta \sigma_c(t)$  promena napona u težistu kablova u vremenu  $t$
- $j$  koeficijent čija je vrednost  $(n-1)/2n$  gde je  $n$  broj istih kablova koji se sukcesivno zatežu. Kao aproksimacija može da se uzme da je  $n = 1/2$
- $1$  za promene stalnih dejstava posle prethodnog naprezanja.

### 5.10.5.2 GUBICI USLED TRENJA

(1) Gubici usled trenja (*losses due to friction*)  $\Delta P_\mu(x)$  pri naknadnom zatezanju kablova mogu da se odrede prema izrazu:

$$\Delta P_\mu(x) = P_{max} (1 - e^{-\mu(\theta + kx)}) \quad (5.45)$$

gde je:

- $\theta$  zbir skretnih uglova (*angular displacement*) na dužini  $x$  (bez obzira na pravac ili znak)
- $\mu$  koeficijent trenja između kabla i cevi (kanala)
- $k$  nenamerno ugaono skretanje (*unintentional angular displacement*) unutrašnjih kablova (po jedinici dužine kabla)
- $x$  rastojanje duž kabla od tačke u kojoj je sila u kablu jednaka  $P_{max}$  (sila na aktivnom kraju kabla za vreme zatezanja).

Vrednosti  $\mu$  i  $k$  date su u odgovarajućem ETA za izabrani sistem za prethodno naprezanje. Vrednost  $\mu$  zavisi od površinskih karakteristika kabla i cevi, od prisustva rđe, od izduženja kabla i od trase kabla.

Vrednost  $k$  za nenamerna ugaona skretanja kablova zavisi od kvaliteta izvođenja, od rastojanja između oslonaca kablova, od tipa cevi ili zaštitne obloge koja se primenjuje i od stepena vibriranja betona pri ugrađivanju.

(2) U nedostatku podataka koji su dati u odgovarajućem Evropskom tehničkom odobrenju, u izrazu (5.45) mogu da se usvoje vrednosti  $\mu$  date u tabeli 5.1.

(3) Kada se ne raspolaže podacima koji su dati u odgovarajućem ETA za sistem prethodnog naprezanja koji se koristi, za uobičajena nenamerna skretanja unutrašnjih kablova može generalno da se pretpostavi da su u opsegu  $0,005 < k < 0,01$  po metru kabla.

(4) Za spoljašnje kablove gubici prethodnog naprezanja usled nenamernih skretanja mogu da se zanemare.

**Tabela 5.1: Koeficijenti trenja  $\mu$  za naknadno zatezanje unutrašnjih i spoljašnjih kablova bez priranja sa betonom**

	Unutrašnji kablovi <sup>1)</sup>	Spoljašnji kablovi bez priranja sa betonom:			
		Čelična zaštitna cev bez podmazivanja	HDPE zaštitna cev bez podmazivanja	Čelična zaštitna cev sa podmazivanjem	HDPE zaštitna cev sa podmazivanjem
Hladno vučena žica	0,17	0,25	0,14	0,18	0,12
Uže	0,19	0,24	0,12	0,16	0,10
Šipka sa deformisanim poprečnim presekom	0,65	–	–	–	–
Glatka okrugla šipka	0,33	–	–	–	–

<sup>1)</sup> za kablove koji ispunjavaju približno polovinu cevi

**Napomena:** HPDE – (*High density polyethylene*) polietilen visoke gustine.

### 5.10.5.3 GUBICI U ANKERIMA

(1) Treba da se vodi računa o gubicima usled uvlačenja klina (*wedge draw-in*) u uređajima za ankerovanje, u toku ankerovanja kablova posle zatezanja, i usled deformacije samog ankera.

(2) Vrednosti uvlačenja klina date su u odgovarajućem ETA za izabrani sistem prethodnog naprezanja.

### 5.10.6 GUBICI PRETHODNOG NAPREZANJA KOJI ZAVISE OD VREMENA PRI PRETHODNOM I PRI NAKNADNOM ZATEZANJU KABLOVA

(1) Gubici prethodnog naprezanja koji zavise od vremena (*time-dependent losses of prestress*) mogu da se sračunaju uzimajući u obzir sledeća dva uzroka smanjenja napona:

- (a) usled smanjenja dilatacija, izazvanog deformacijom betona usled tečenja i skupljanja betona pod stalnim opterećenjima
- (b) zbog smanjenja napona u čeliku za prethodno naprezanje usled relaksacije pri zatezanju.

**Napomena:** Relaksacija čelika za prethodno naprezanje zavisi od pada napona usled tečenja i skupljanja betona. Ta interakcija se, generalno i približno, u proračunu može da se uzme u obzir sa redukcionim koeficijentom **0,8**.

(2) Uprošćena metoda za određivanje gubitaka sile prethodnog naprezanja koji zavise od vremena, u preseku  $x$ , pri stalnim opterećenjima, data je izrazom (5.46):

$$\Delta P_{c+s+r} = A_p \Delta \sigma_{p,c+s+r} = A_p \frac{\varepsilon_{cs} E_p + 0,8 \Delta \sigma_{pr} + \frac{E_p}{E_{cm}} \varphi(t, t_0) \cdot \sigma_{c,QP}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \frac{A_p}{A_c} \left( 1 + \frac{A_c}{I_c} z_{cp}^2 \right) [1 + 0,8 \varphi(t, t_0)]} \quad (5.46)$$

gde je:

$\Delta\sigma_{p,c+s+r}$	apsolutna vrednost promene napona u kablovima usled tečenja, skupljanja i relaksacije, u preseku $x$ , u vremenu $t$
$\epsilon_{cs}$	procenjena dilatacija skupljanja, prema 3.1.4 (6), u apsolutnoj vrednosti
$E_p$	modul elastičnosti čelika za prethodno naprezanje, videti 3.3.6 (2)
$E_{cm}$	modul elastičnosti betona (tabela 3.1)
$\Delta\sigma_{pr}$	apsolutna vrednost promene napona u kابلu u preseku $x$ , u vremenu $t$ , usled relaksacije čelika za prethodno naprezanje. Određuje se za napon $\sigma_p = \sigma_p(G + P_{m0} + \psi_2 Q)$ gde je $\sigma_p = \sigma_p(G + P_{m0} + \psi_2 Q)$ početni napon u kablovima usled početne sile prethodnog naprezanja i kvazi-stalnih dejstava
$\varphi(t, t_0)$	koeficijent tečenja u vremenu $t$ usled dejstva opterećenja od vremena $t_0$
$\sigma_{c,QP}$	napon u betonu na kontaktu sa kablovima, usled sopstvene težine i početnog prethodnog naprezanja, i drugih kvazi-stalnih dejstava kada su od značaja. Vrednost napona $\sigma_{c,QP}$ može da bude od dela sopstvene težine i početnog prethodnog naprezanja ili od ukupne kvazi-stalne kombinacije dejstava ( $\sigma_c(G + P_{m0} + \psi_2 Q)$ ), u zavisnosti od posmatrane faze izvođenja
$A_p$	površina svih kablova za prethodno naprezanje u posmatranom preseku $x$
$A_c$	površina betonskog preseka
$I_c$	momenat inercije betonskog preseka
$z_{cp}$	rastojanje između težišta betonskog preseka i težišta kablova.

Naponi pritiska i odgovarajuće dilatacije u izrazu (5.46) treba da se uzmu sa pozitivnim znakom.

(3) Za kablove sa prijanjanjem izraz (5.46) važi za vrednosti lokalnih napona u posmatranom preseku, a za kablove bez prijanjanja betona i čelika ako se uzmu u obzir srednje vrednosti napona. Srednje vrednosti napona u kablovima bez prijanjanja za spoljašnje kablove treba sračunati na pravim odsečcima, ograničenim idealizovanim prevojnima tačkama, a na čitavoj dužini u slučaju unutrašnjih kablova.

### 5.10.7 UZIMANJE U OBZIR PRETHODNOG NAPREZANJA U ANALIZI KONSTRUKCIJA

(1) Usled prethodnog naprezanja sa spoljašnjim kablovima u konstrukciji mogu da nastanu momenti savijanja drugog reda.

(2) Momenti usled sekundarnih uticaja prethodnog naprezanja nastaju samo u statički neodređenim konstrukcijama.

(3) U linearnoj analizi i primarni i sekundarni uticaji prethodnog naprezanja treba da se uzmu u obzir pre bilo kakve preraspodele sila i momenata (videti 5.5).

(4) U plastičnoj i nelinearnoj analizi sekundarni uticaji prethodnog naprezanja mogu da se uzmu u obzir kao dodatne plastične rotacije, o kojima onda treba voditi računa u proveru kapaciteta rotacije.

(5) Kruti spoj (*rigid bond*) između kablova i betona može da se pretpostavi posle injektiranja kablova koji se naknadno zatežu. Međutim, pre injektiranja kablovi koji se naknadno zatežu treba da se uzmu u obzir bez prijanjanja betona i čelika.

- (6)** Može da se pretpostavi da su spoljašnji kablovi između devijatora pravolinijski.

## 5.10.8 UTICAJI PRETHODNOG NAPREZANJA U GRANIČNOM STANJU NOSIVOSTI

(1) Generalno, proračunska vrednost sile prethodnog naprezanja može da se odredi kao  $P_{d,t}(x) = \gamma_P P_{m,t}(x)$  (videti 5.10.3 (4) za definiciju  $P_{m,t}(x)$ ) i 2.4.2.2 za  $\gamma_P$ .

(2) Za prethodno napregnute elemente sa kablovima koji su permanentno bez spoja sa betonom, generalno je potrebno da se uzmu u obzir deformacije čitavog elementa kada se sračunava povećanje napona u čeliku za prethodno naprezanje. Ukoliko nije sproveden detaljan proračun, može da se pretpostavi da je povećanje napona od efektivnog prethodnog naprezanja do napona u graničnom stanju nosivosti  $\Delta\sigma_{p,ULS}$ .

**Napomena:** Vrednost povećanja napona  $\Delta\sigma_{p,ULS}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **100 MPa**.

(3) Ako se povećanje napona sračunava iz stanja deformacije čitavog elementa, treba da se koriste srednje vrednosti svojstava materijala. Proračunska vrednost porasta napona  $\Delta\sigma_{pd} = \Delta\sigma_p \cdot \gamma_{\Delta P}$  treba da se odredi primenjujući parcijalne koeficijente sigurnosti  $\gamma_{\Delta P, sup}$  i  $\gamma_{\Delta P, inf}$ , respektivno.

**Napomena:** Vrednosti  $\gamma_{\Delta P, sup}$  i  $\gamma_{\Delta P, inf}$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti su  $\gamma_{\Delta P, sup} = 1,2$  i  $\gamma_{\Delta P, inf} = 0,8$ . Ako se koristi linearna analiza sa preseccima bez prslina, može da se pretpostavi niža granica deformacija i preporučena vrednost za oba koeficijenta  $\gamma_{\Delta P, sup}$  i  $\gamma_{\Delta P, inf}$  je **1,0**.

## 5.10.9 UTICAJI PRETHODNOG NAPREZANJA U GRANIČNOM STANJU UPOTREBLJIVOSTI I GRANIČNOM STANJU ZAMORA

(1)P U proračunima graničnih stanja upotrebljivosti i graničnog stanja zamora mora da se vodi računa o mogućim varijacijama prethodnog naprezanja. Dve karakteristične vrednosti sile prethodnog naprezanja u graničnom stanju upotrebljivosti određuju se prema izrazima:

$$P_{k, sup} = r_{sup} P_{m, t}(x) \quad (5.47)$$

$$P_{k, inf} = r_{inf} P_{m, t}(x) \quad (5.48)$$

gde je:

$P_{k, sup}$  gornja karakteristična vrednost  
 $P_{k, inf}$  donja karakteristična vrednost.

**Napomena:** Vrednosti  $r_{sup}$  i  $r_{inf}$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti su:

- za prethodno zatezanje ili kablove bez prianjanja sa betonom:  $r_{sup} = 1,05$  i  $r_{inf} = 0,95$
- za naknadno zatezanje sa kablovima sa prianjanjem:  $r_{sup} = 1,10$  i  $r_{inf} = 0,90$
- kada su preduzete odgovarajuće mere (na primer, direktna merenja prethodnog zatezanja):  
 $r_{sup} = r_{inf} = 1,0$ .

## 5.11 ANALIZA NEKIH POSEBNIH KONSTRUKCIJSKIH ELEMENATA

(1)P Ploče oslonjene na stubove definisane su kao ravne ploče (*flat slabs*).

(2)P Zidovi koji prihvataju sile smicanja (zidovi za ukrućenje, smičući zidovi) (*shear walls*) su nearmirani ili amirani betonski zidovi koji doprinose bočnoj stabilnosti konstrukcije.

**Napomena:** Za informacije o analizi ravnih ploča i smičućih zidova videti Aneks I.

## GLAVA 6

# GRANIČNA STANJA NOSIVOSTI

### 6.1 SAVIJANJE SA ILI BEZ AKSIJALNE SILE

**(1)P** Ovo poglavlje odnosi se na proračun delova greda, ploča i sličnih vrsta konstrukcijskih elemenata sa kontinualnim tokom napona i deformacija (*undisturbed regions*), u kojima ravni preseki ostaju približno ravni i posle opterećenja. Za proračun i konstrukcijske detalje u oblastima diskontinuiteta u gredama i drugim elementima u kojima ravni preseki ne ostaju ravni, može da se koristi 6.5.

**(2)P** Pri određivanju graničnog momenta nosivosti (*ultimate moment resistance*) armiranih ili prethodno napregnutih betonskih poprečnih preseka usvajaju su sledeće pretpostavke:

- ravni preseki ostaju ravni,
- dilatacija u armaturi koja prijanja sa betonom (*bonded reinforcement*), ili u kablovima za prethodno naprezanje sa prijanjanjem, i pri zatezanju i pri pritisku jednaka je dilataciji u okolnom betonu,
- zanemarena je čvrstoća betona pri zatezanju,
- naponi u pritisnutom betonu određeni su prema proračunskom dijagramu napon-dilatacija datom u 3.1.7,
- naponi u armaturi ili u čeliku za prethodno naprezanje određeni su prema proračunskim dijagramima u 3.2 (slika 3.8) i 3.3 (slika 3.10),
- početna dilatacija kablova za prethodno naprezanje uzeta je u obzir pri određivanju napona u kablovima.

**(3)P** Dilatacija u betonu pri pritisku mora da se ograniči na  $\epsilon_{cu2}$ , ili  $\epsilon_{cu3}$ , u zavisnosti od dijagrama napon-dilatacija koji se koristi, videti 3.1.7 i tabelu 3.1. Dilatacije u armaturi i čeliku za prethodno naprezanje moraju da se ograniče na  $\epsilon_{ud}$  (gde ta granica postoji); videti 3.2.7 (2) i 3.3.6 (7).

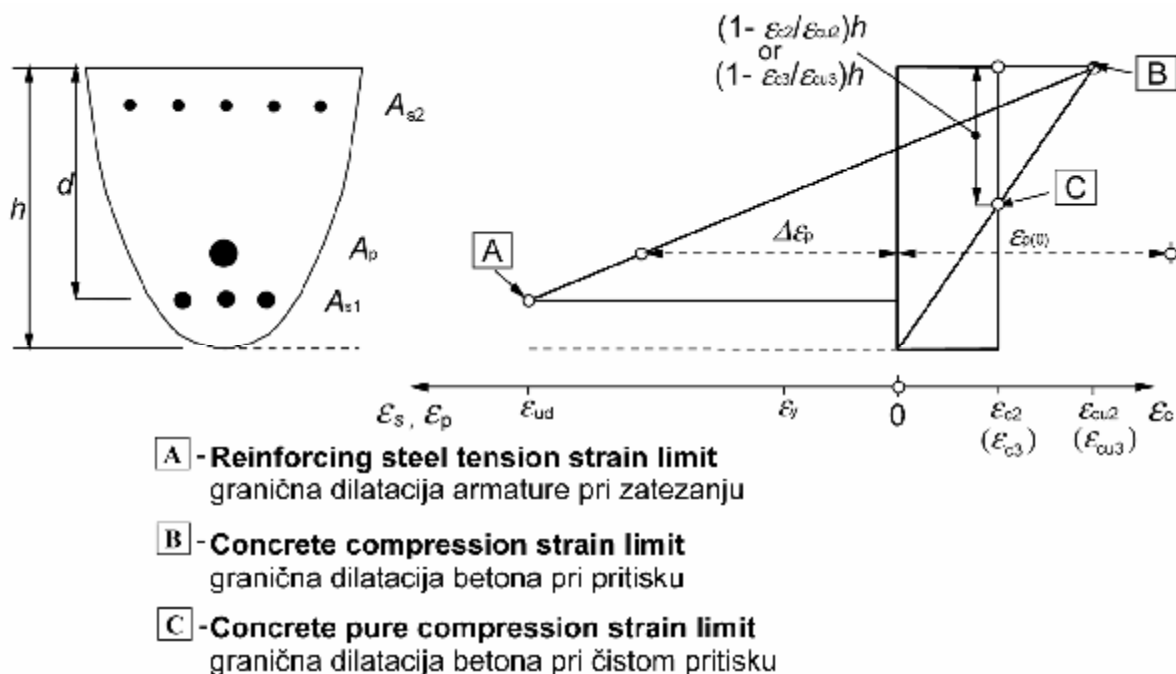
**(4)** Za simetrično armirane poprečne preseke opterećene silom pritiska, potrebno je da se pretpostavi minimalni ekscentricitet  $e_0 = h/30$ , ali ne manji od **20 mm**, gde je  $h$  visina preseka.

**(5)** U delovima poprečnih preseka koji su izloženi približno koncentrisanom opterećenju ( $e/h < 0,1$ ), kao što su pritisnute flanše sandučastih preseka, srednja dilatacija pritiska u tom delu preseka treba da se ograniči na  $\epsilon_{c2}$  (ili  $\epsilon_{c3}$  ako se koristi bilinearni dijagram na slici 3.4).

**(6)** Mogući opseg dijagrama dilatacija prikazan je na slici 6.1.

**(7)** Za prethodno napregnute elemente sa kablovima koji ostaju stalno bez prijanjanja sa betonom videti 5.10.8.

**(8)** Za spoljašnje prethodno napregnute kablove pretpostavlja se da je dilatacija u čeliku za prethodno naprezanje između dva susedna kontaktna preseka (ankera ili sedla devijatora) konstantna. Dilatacija čelika za prethodno naprezanje je onda jednaka početnoj dilataciji, ostvarenoj neposredno posle završetka prethodnog naprezanja, uvećanoj za dilataciju usled deformacije konstrukcije između posmatranih kontaktnih preseka. Videti i 5.10.



Slika 6.1: Mogući dijagrami dilatacija u graničnom stanju nosivosti

## 6.2 SMICANJE

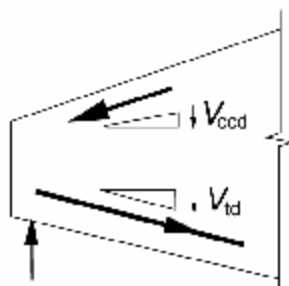
### 6.2.1 GENERALNI POSTUPAK PRORAČUNA

(1)P Za proračun nosivosti pri smicanju (*shear resistance*) definisane su sledeće vrednosti:

- $V_{Rd,c}$  proračunska vrednost nosivosti pri smicanju elementa bez armature za smicanje
- $V_{Rd,s}$  proračunska vrednost sile smicanja koju može da prihvati armatura za smicanje na granici razvlačenja
- $V_{Rd,max}$  proračunska vrednost maksimalne sile smicanja koju element može da prihvati, ograničena lomom (drobljenjem) (*crushing*) betona u pritisnutim štapovima.

U elementima sa pojasevima (flanšama) (*chords*) u nagibu, definisane su sledeće dodatne vrednosti (videti sliku 6.2):

- $V_{ccd}$  proračunska vrednost smičuće komponente sile u pritisnutoj zoni, kada je pritisnuti pojas u nagibu
- $V_{td}$  proračunska vrednost smičuće komponente sile u zategnutoj armaturi, kada je zategnuti pojas u nagibu.



Slika 6.2: Smičuće komponente u elementima sa pojasevima u nagibu

(2) Nosivost pri smicanju elementa sa armaturom za smicanje jednaka je:

$$V_{Rd} = V_{Rd,s} + V_{ccd} + V_{td} \quad (6.1)$$

(3) U zonama elementa gde je  $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$  nije potrebna nikakva proračunska armatura za smicanje.  $V_{Ed}$  je proračunska sila smicanja u posmatranom preseku usled spoljašnjeg opterećenja i prethodnog naprezanja (sa ili bez prijanjanja betona i čelika).

(4) Kada prema proračunu smicanja nije potrebna armatura za smicanje, treba ipak predvideti minimalnu armaturu za smicanje prema 9.2.2. Minimalna armatura za smicanje može da se izostavi u elementima kao što su ploče (pune, rebraste ili sa otvorima u poprečnom preseku) (*solid, ribbed and hollow core slabs*), u kojima je moguća transverzalna redistribucija opterećenja. Minimalna armatura za smicanje može da se izostavi i u elementima od manje važnosti (na primer, u gredama iznad otvora raspona  $\leq 2$  m) koji ne doprinose značajnije globalnoj nosivosti i stabilnosti konstrukcije.

(5) U zonama elemenata u kojima je  $V_{Ed} > V_{Rd,c}$ , prema izrazu (6.2), treba da se predvidi armaturu za smicanje dovoljna da je  $V_{Ed} \leq V_{Rd}$  (videti izraz (6.1)).

(6) Zbir proračunske sile smicanja i dodatnih smičućih komponenti sila iz flanši nosača, kada su u nagibu,  $V_{Ed} - V_{ccd} - V_{td}$ , nigde u elementu ne sme da prekorači dopuštenu maksimalnu vrednost  $V_{Rd,max}$  (videti 6.2.3).

(7) Podužna zategnuta armatura treba da bude u stanju da prihvati dodatnu silu zatezanja usled smicanja (videti 6.2.3 (7)).

(8) U elementima koji su dominantno izloženi jednako podeljenom opterećenju, proračunska sila smicanja ne treba da se proverava na rastojanju koje je manje od  $d$  od ivice oslonca. Sva armatura potrebna za smicanje treba da se produži do oslonca. Osim toga, treba proveriti da smicanje na osloncu nije veće od  $V_{Rd,max}$  (videti i 6.2.2 (6) i 6.2.3 (8)).

(9) Kada opterećenje deluje u donjoj zoni preseka, osim armature koja je potrebna za smicanje treba obezbediti i dodatnu vertikalnu armaturu, dovoljnu da prenese opterećenje u gornju zonu preseka.

## 6.2.2 ELEMENTI U KOJIMA NIJE POTREBNA PRORAČUNSKA ARMATURA ZA SMICANJE

(1) Proračunska vrednost nosivosti pri smicanju  $V_{Rd,c}$  data je izrazom:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho / f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \quad (6.2.a)$$

sa minimalnom vrednošću

$$V_{Rd,c} = (V_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d \quad (6.2.b)$$

gde je:

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

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \quad \text{sa } d \text{ u [mm]}$$

$$\rho_i = \frac{A_{sl}}{b_w d} \leq 0,02$$

$A_{sl}$  površina zategnute armature, koja se produžava za  $\geq (l_{bd} + d)$  dalje od posmatranog preseka (videti sliku 6.3)

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

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0,2 f_{cd} \text{ u [MPa]}$$

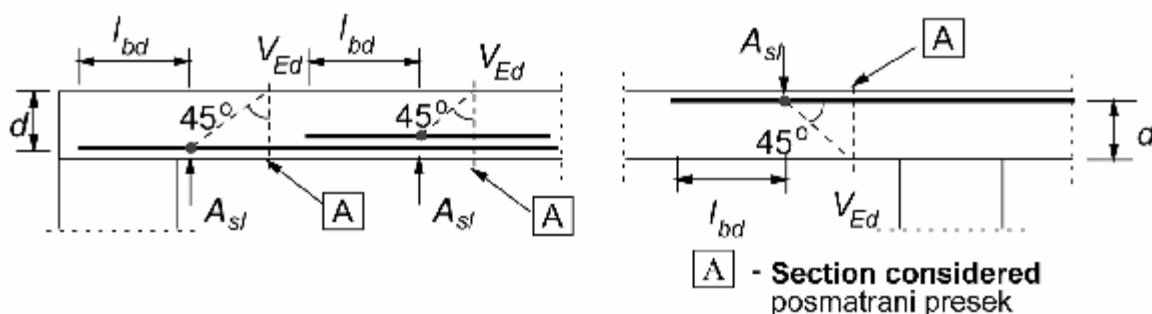
$N_{Ed}$  aksijalna sila u poprečnom preseku od opterećenja ili prethodnog naprezanja, u [N] ( $N_{Ed} > 0$  za pritisak). Uticaj prinudnih deformacija na  $N_E$  može da se zanemari

$A_c$  površina poprečnog preseka betona u [mm<sup>2</sup>]

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

**Napomena:** Vrednosti  $C_{Rd,c}$ ,  $v_{min}$  i  $k_1$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost za  $C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c$ , za  $v_{min}$  vrednosti su date u izrazu (6.3N) i  $k_1 = 0,15$ .

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \quad (6.3N)$$



Slika 6.3: Definicija  $A_{sl}$  u izrazu (6.2)

(2) U prethodno napregnutim elementima preko jednog polja, bez armature za smicanje, nosivost pri smicanju u zonama sa prslinama usled savijanja može da se sračuna prema izrazu (6.2a). U zonama u kojima nema prslina od savijanja (gde je napon u betonu pri zatezanju savijanjem manji od  $f_{ctk,0,05}/\gamma_c$ ), nosivost pri smicanju treba da se ograniči na vrednost čvrstoće betona pri zatezanju. U tim zonama nosivost pri smicanju data je izrazom:

$$V_{Rd,c} = \frac{I \cdot b_w}{S} \sqrt{(f_{ctd})^2 + \alpha_1 \sigma_{cp} f_{ctd}} \quad (6.4)$$

gde je:

$I$  moment inercije poprečnog preseka

$b_w$  širina poprečnog preseka u težišnoj osi, vodeći računa o otvorima cevi za kablove, prema izrazima (6.16) i (6.17)

$S$  statički moment površine poprečnog preseka iznad težišne ose, u odnosu na težišnu osu

$\alpha_1 = I_x/I_{pt2} \leq 1,0$  za prethodno zategnute kablove  
 $= 1,0$  za druge vrste prethodnog naprezanja

$I_x$  rastojanje posmatranog preseka od početka dužine prenošenja (*transmission length*) sile prethodnog naprezanja

$I_{pt2}$  gornja granična vrednost dužine prenošenja sile prethodnog naprezanja, prema izrazu (8.18)

$\sigma_{cp}$  napon pritiska u betonu, u težišnoj osi preseka, od aksijalnog opterećenja i/ili prethodnog naprezanja ( $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c$  u [MPa],  $N_{Ed} > 0$  za pritisak).

Za poprečne preseke u kojima se širina preseka menja po visini, glavni napon može da ima maksimalnu vrednost na osi koja se razlikuje od težišne ose. U takvom slučaju minimalna vrednost nosivosti pri smicanju treba da se odredi sračunavanjem  $V_{Rd,c}$  u različitim osama po visini poprečnog preseka.

(3) Proračun nosivosti pri smicanju prema izrazu (6.4) nije potreban za poprečne preseke koji se nalaze na rastojanju od oslonca manjem od preseka elastične težišne ose i prave koja polazi od unutrašnje ivice oslonca pod uglom od  $45^\circ$ .

(4) U opštem slučaju elemenata koji su izloženi dejstvu momenta savijanja i aksijalne sile, za koje može da se dokaže da u njima ne nastaju prsline usled momenata savijanja u GSN, treba da se koristi 12.6.3.

(5) Za proračun podužne armature u zonama sa prslinama usled savijanja  $M_{Ed}$  - linija treba da se pomeri za dužinu  $a_1 = d$  u nepovoljnom pravcu (videti 9.2.1.3 (2)).

(6) Za elemente opterećene sa gornje strane, doprinos sili smicanja  $V_{Ed}$  od opterećenja koje deluje unutar rastojanja  $0,5d \leq a_v \leq 2d$  od ivice oslonca (ili od sredine ležišta, kada se koriste fleksibilna ležišta), može da se smanji sa koeficijentom  $\beta = a_v / 2d$ . To smanjenje može da se primeni u proračunu  $V_{Rd,c}$  u izrazu (6.2.a). Smanjenje važi samo ako je podužna armatura potpuno ankerovana na osloncu. Za  $a_v \leq 0,5d$  treba da se uzme vrednost  $a_v = 0,5d$ .

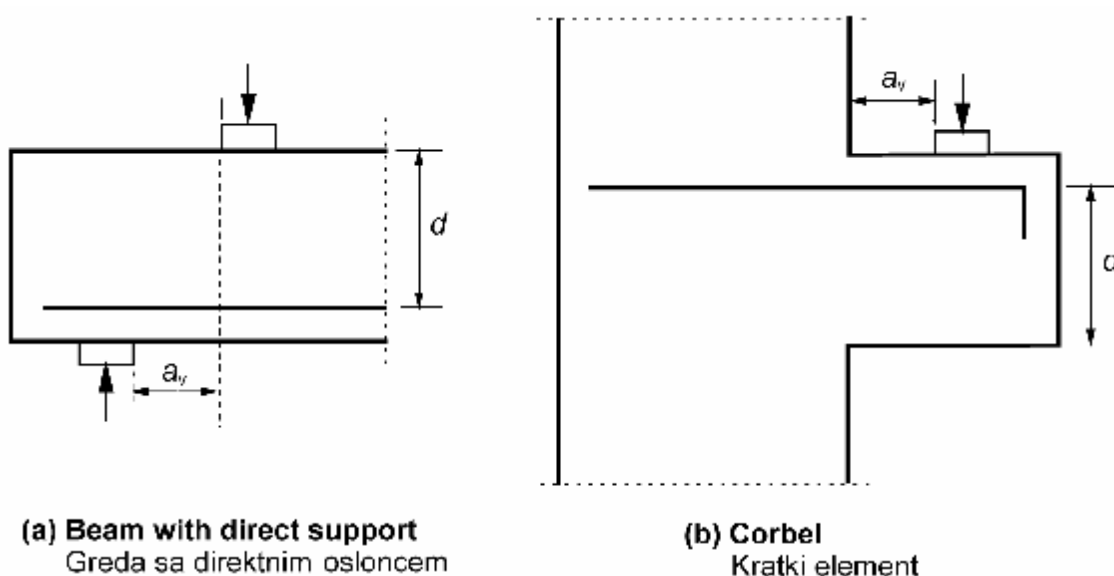
Sila smicanja  $V_{Ed}$ , sračunata bez smanjenja sa koeficijentom  $\beta$ , treba uvek da zadovolji uslov:

$$V_{Ed,c} \leq 0,5 b_w d v f_{cd} \quad (6.5)$$

gde je  $v$  koeficijent smanjenja čvrstoće betona sa prslinama usled smicanja (*strength reduction factor for concrete cracked in shear*).

**Napomena:** Vrednost  $v$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost sledi iz izraza;

$$v = 0,6 \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] \quad (f_{ck} \text{ u MPa}) \quad (6.6N)$$



#### 6.4: Opterećenja u blizini oslonaca

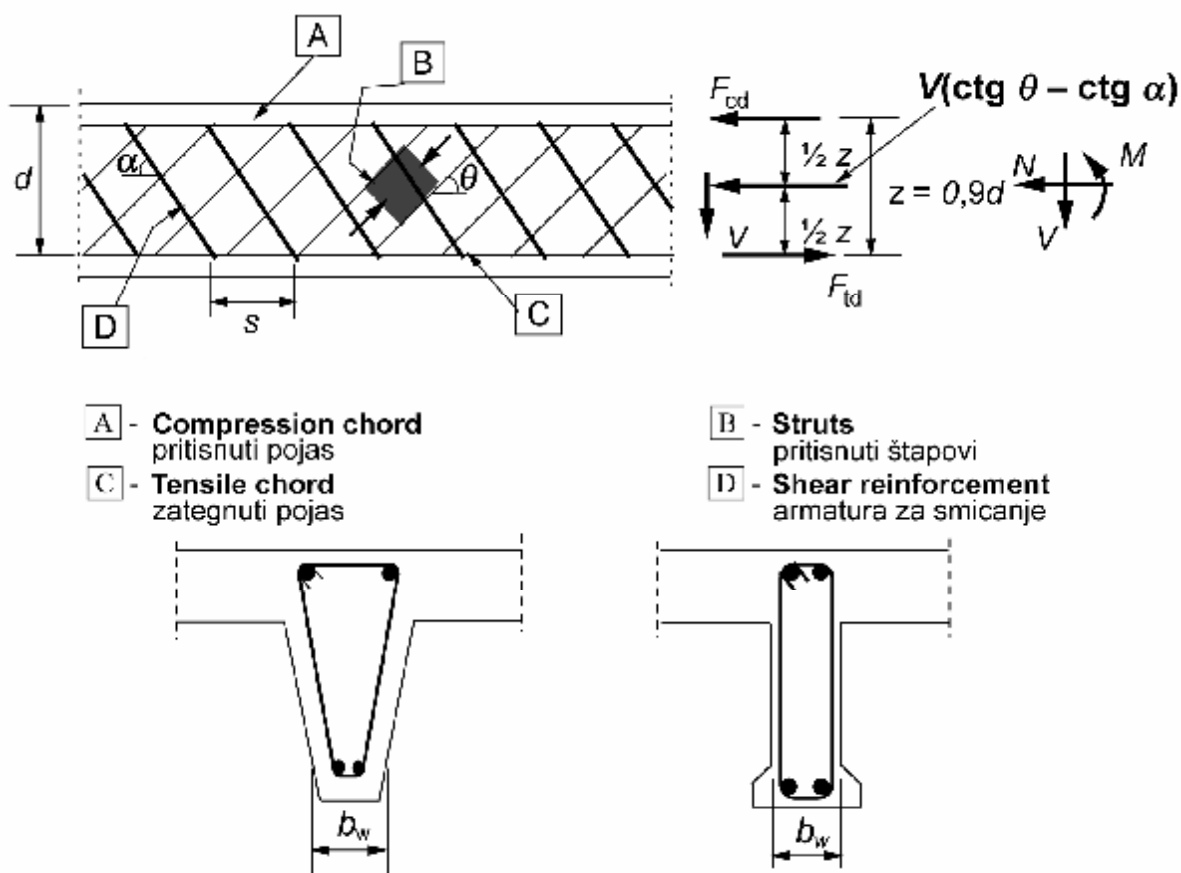
(7) Grede opterećene u blizini oslonaca i kratki elementi (*corbels*) mogu alternativno da se proračunaju primenom modela sa pritisnutim štapovima i zategama. Za tu alternativu treba da se koristi 6.5.

### 6.2.3 ELEMENTI U KOJIMA JE POTREBNA PRORAČUNSKA ARMATURA ZA SMICANJE

(1) Proračun elemenata u kojima je potrebna armatura za smicanje zasniva se na modelu rešetke (*truss model*) (slika 6.5). Granične vrednosti nagiba kosih pritisnutih štapova (*struts*) u rebru  $\theta$  date su u 6.2.3 (2).

Na slici 6.5 prikazane su sledeće oznake:

- $\alpha$  ugao između armature za smicanje i ose grede upravne na silu smicanja (prikazan na slici 6.5 kao pozitivan)
- $\theta$  ugao između pritisnutog betonskog štapa i ose grede upravne na silu smicanja
- $F_{td}$  proračunska vrednost sile zatezanja u podužnoj armaturi
- $F_{cd}$  proračunska vrednost sile pritiska u betonu u pravcu podužne ose elementa
- $b_w$  minimalna širina poprečnog preseka između zategnutog i pritisnutog pojasa
- $z$  krak unutrašnjih sila (*inner lever arm*) za element sa konstantnom visinom poprečnog preseka, koji odgovara momentu savijanja u posmatranom elementu. U analizi smicanja armiranobetonskih elemenata bez aksijalne sile, normalno može da se usvoji aproksimativna vrednost  $z = 0,9d$ .



Slika 6.5: Model rešetke i oznake za elemente sa armaturom za smicanje

U elementima sa kablovima za prethodno naprezanje koji su u nagibu, u zategnutom pojasu treba da se predvidi podužna armatura za prihvatanje podužne sile zatezanja od smicanja, definisane u (7) u daljem tekstu.

(2) Ugao  $\theta$  treba da se ograniči.

**Napomena:** Granične vrednosti za  $\text{ctg } \theta$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene granične vrednosti date su izrazom (6.7N).

$$1 \leq \text{ctg } \theta \leq 2,5 \quad (6.7N)$$

(3) Za elemente sa vertikalnom armaturom za smicanje, nosivost pri smicanju,  $V_{Rd}$ , jednaka je manjoj od sledeće dve vrednosti:

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

**Napomena:** Ako se koristi izraz (6.10) vrednost  $f_{ywd}$  u izrazu (6.8) treba da se smanji na  $0,8 f_{ywk}$ .

i

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} / (\text{ctg } \theta + \text{tg } \theta) \quad (6.9)$$

gde je:

- $A_{sw}$  površina preseka armature za smicanje
- $s$  rastojanje uzengija (*stirrups*)
- $f_{ywd}$  proračunska granica razvlačenja armature za smicanje
- $v_1$  koeficijent kojim se smanjuje čvrstoća betona zbog prslina od smicanja
- $\alpha_{cw}$  koeficijent kojim se uzima u obzir stanje napona u pritisnutom pojasu.

**Napomena 1:** Vrednosti  $v_1$  i  $\alpha_{cw}$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost za  $v_1$  je  $v$  (videti izraz (6.6N)).

**Napomena 2:** Ako je proračunski napon u armaturi za smicanje manji od 80% od karakteristične vrednosti granice razvlačenja  $f_{yk}$ , za  $v_1$  može da se usvoji vrednost:

$$v_1 = 0,6 \quad \text{za } f_{ck} \leq 60 \text{ MPa} \quad (6.10.aN)$$

$$v_1 = 0,9 - f_{ck} / 200 > 0,5 \quad \text{za } f_{ck} > 60 \text{ MPa} \quad (6.10.bN)$$

**Napomena 3:** Preporučena vrednost  $\alpha_{cw}$  je:

$$1 \quad \text{za konstrukcije koje nisu prethodno napregnute} \quad (6.11.aN)$$

$$(1 + \sigma_{cp} / f_{cd}) \quad \text{za } 0 < \sigma_{cp} \leq 0,25 f_{cd} \quad (6.11.bN)$$

$$1,25 \quad \text{za } 0,25 f_{cd} < \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd} \quad (6.11.cN)$$

$$2,5 (1 - \sigma_{cp} / f_{cd}) \quad \text{za } 0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < 1,0 f_{cd} \quad (6.11.cN)$$

gde je:

- $\sigma_{cp}$  srednja vrednost napona pritiska u betonu, sa pozitivnim znakom, od proračunske aksijalne sile. Dobija se kao srednja vrednost napona u betonskom preseku, uzimajući u obzir i armaturu. Vrednost  $\sigma_{cp}$  ne treba da se sračuna na rastojanju manjem od  $0,5d \text{ctg } \theta$  od ivice oslonca.

**Napomena 4:** Maksimalna efektivna površina preseka armature za smicanje  $A_{sw,max}$ , za  $\text{ctg } \theta = 1$ , data je izrazom:

$$\frac{A_{sw,max} f_{ywd}}{b_w s} \leq \frac{1}{2} \alpha_{cw} v_1 f_{cd} \quad (6.12N)$$

(4) Za elemente sa armaturom za smicanje u nagibu, nosivost pri smicanju jednaka je manjoj od sledeće dve vrednosti:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} (\operatorname{ctg} \theta + \operatorname{ctg} \alpha) \sin \alpha \quad (6.13)$$

i

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} (\operatorname{ctg} \theta + \operatorname{ctg} \alpha) / (1 + \operatorname{ctg}^2 \theta) \quad (6.14)$$

**Napomena:** Maksimalna efektivna armatura za smicanje,  $A_{sw,max}$ , za  $\operatorname{ctg} \theta = 1$ , dobija se iz izraza:

$$\frac{A_{sw,max} f_{ywd}}{b_w s} \leq \frac{1}{2} \frac{\alpha_{cw} v_1 f_{cd}}{\sin \alpha} \quad (6.15)$$

(5) U zonama elemenata u kojima nema diskontinuiteta sile  $V_{Ed}$  (na primer, za jednako podeljeno opterećenje), armatura za smicanje na svakom inkrementu dužine  $l = z (\operatorname{ctg} \theta + \operatorname{ctg} \alpha)$  može da se sračuna prema najmanjoj vrednosti  $V_{Ed}$  na posmatranom inkrementu dužine.

(6) Kada su u rebru kablovi u injektiranim cevima prečnika  $\varnothing > b_w/8$ , nosivost pri smicanju  $V_{Rd,max}$  treba da se sračuna sa nominalnom debljinom rebra datom izrazom:

$$b_{w,nom} = b_w - 0,5 \Sigma \varnothing \quad (6.16)$$

gde je  $\varnothing$  spoljašnji prečnik cevi a  $\Sigma \varnothing$  se određuje na najnepovoljnijem nivou visine poprečnog preseka.

Za cevi od rebrastog lima, u kojima su kablovi injektirani, za  $\varnothing \leq b_w/8$  može da se smatra da je  $b_{w,nom} = b_w$ .

Za cevi koje nisu injektirane, za injektirane plastične cevi i za kablove bez prijanjanja sa betonom, nominalna širina rebra je:

$$b_{w,nom} = b_w - 1,2 \Sigma \varnothing \quad (6.17)$$

Vrednost **1,2** u izrazu (6.17) uvedena je da bi se uzelo u obzir cepanje (*splitting*) pritisnutih betonskih štapova usled poprečnog zatezanja. Ako je obezbeđena adekvatna poprečna armatura ta vrednost može da se smanji na **1,0**.

(7) Dodatna sila zatezanja u podužnoj armaturi,  $\Delta F_{td}$ , usled smicanja  $V_{Ed}$ , može da se sračuna prema:

$$\Delta F_{td} = 0,5 V_{Ed} (\operatorname{ctg} \theta - \operatorname{ctg} \alpha) \quad (6.18)$$

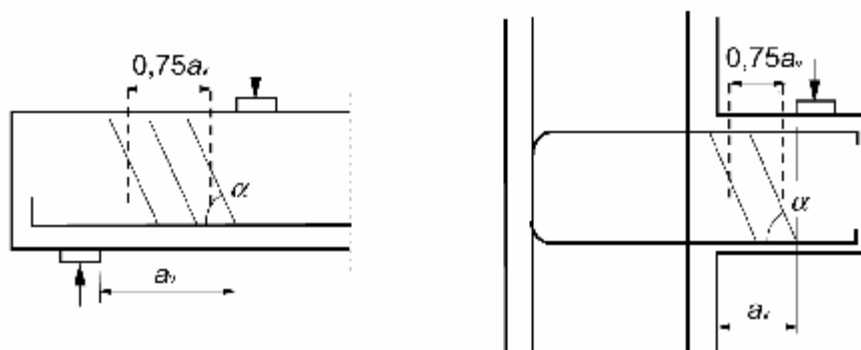
pri čemu  $(M_{Ed}/z) + \Delta F_{td}$  ne treba da se uzme veće od  $M_{Ed,max}/z$ , gde je  $M_{Ed,max}$  maksimalni momenat duž raspona grede.

(8) Za elemente koji su opterećeni na gornjoj strani, unutar rastojanja  $0,5d \leq a_v \leq 2,0d$  od ivice oslonca, doprinos tog opterećenja sili smicanja  $V_{Ed}$  može da se smanji sa koeficijentom  $\beta = a_v / 2d$ . Sila smicanja  $V_{Ed}$ , sračunata na taj način, treba da zadovolji uslov:

$$V_{Ed} \leq A_{sw} f_{ywd} \sin \alpha \quad (6.19)$$

gde je  $A_{sw} f_{ywd}$  nosivost armature za smicanje koja prolazi kroz kose prsline od smicanja na rastojanju  $a_v$  između opterećenih površina (videti sliku 6.6). U obzir treba da se uzme samo armatura za smicanje na centralnom delu tog rastojanja, na dužini **0,75**  $a_v$ . Koeficijent sma-

njenja  $\beta$  treba da se primeni samo za proračun armature za smicanje. To smanjenje važi samo ako je podužna armatura potpuno ankerovana na osloncu.



**Slika 6.6: Armatura za smicanje u kratkim rasponima u kojima je dominantno smicanje, sa direktnim dejstvom pritisnutog štapa**

Za  $a_v < 0,5d$  treba da se uzme vrednost  $a_v = 0,5d$ .

Vrednost  $V_{Ed}$ , sračunata bez smanjenja sa koeficijentom  $\beta$ , treba uvek da zadovolji izraz (6.5).

#### 6.2.4 SMICANJE IZMEĐU REBRA I FLANŠI U T-PRESECIMA

(1) Nosivost pri smicanju flanše (ploče) (*shear strength of the flange*) može da se sračuna ako se flanša posmatra kao sistem pritisnutih štapova kombinovan sa zategama koje predstavlja zategnuta armatura.

(2) Treba da se obezbedi minimalna količina podužne armature, kako je propisano u 9.3.1.

(3) Podužni napon smicanja,  $v_{Ed}$ , na spoju između jedne strane flanše i rebra (*shear stress between the flange and web*), može da se odredi na osnovu promene normalne (podužne) sile u posmatranom delu flanše, prema izrazu:

$$v_{Ed} = \Delta F_d / (h_f \cdot \Delta x) \quad (6.20)$$

gde je:

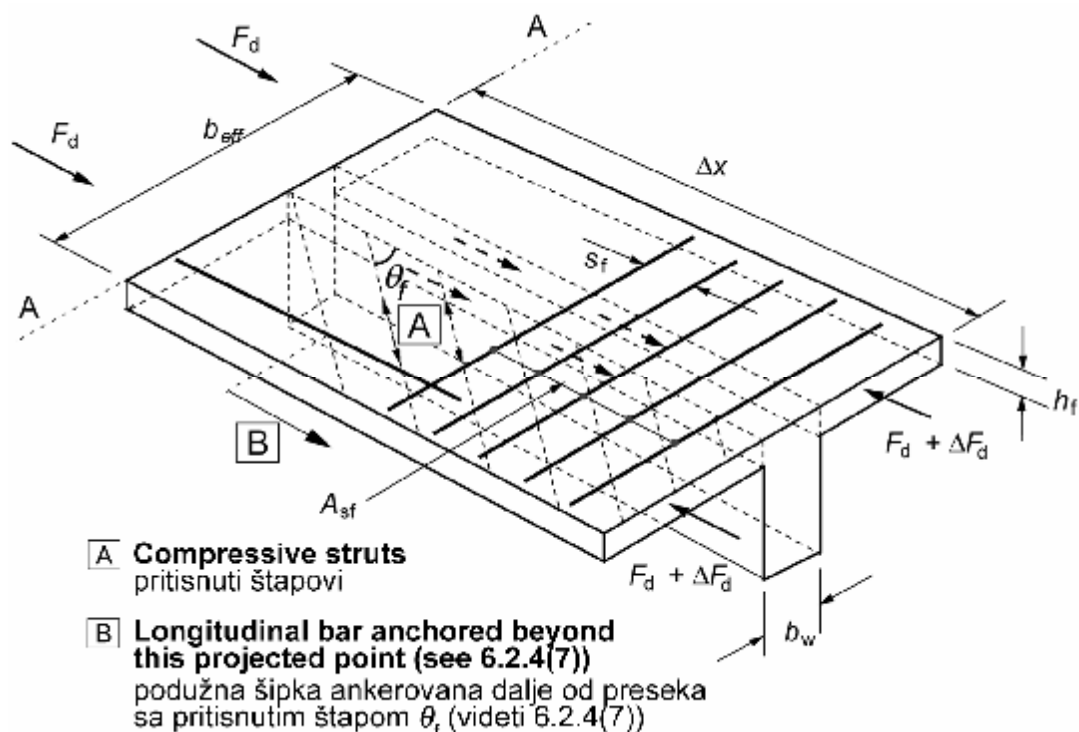
- $h_f$  debljina flanše na spoju sa rebrom
- $\Delta x$  posmatrana dužina flanše i rebra, videti sliku 6.7
- $\Delta F_d$  promena normalne sile u flanši na dužini  $\Delta x$ .

Maksimalna vrednost koja može da se pretpostavi za  $\Delta x$  je polovina rastojanja između preseka u kojem je momenat jednak nuli i preseka u kojem momenat ima maksimalnu vrednost. Kada na nosač deluju koncentrisana opterećenja, dužina  $\Delta x$  ne treba da je veća od rastojanja preseka u kojima deluju koncentrisana opterećenja.

(4) Transverzalna armatura po jedinici dužine  $A_{sf}/s_f$  može da se odredi na sledeći način:

$$(A_{sf} f_{yd} / s_f) > v_{Ed} \cdot h_f / ctg \theta_f \quad (6.21)$$

Da bi se sprečilo drobljenje betona u pritisnutim štapovima u flanši, treba da je zadovoljen uslov:



Slika 6.7: Oznake za spoj između flanše i rebra

$$v_{Ed} \leq v f_{cd} \sin \theta_f \cos \theta_f \quad (6.22)$$

**Napomena:** Dopušteni opseg vrednosti  $\cotg \theta_f$ , koji se primenjuje u određenoj zemlji, dat je u njenom Nacionalnom aneksu. Ako se ne raspolaze rezultatima tačnijih proračuna, preporučene vrednosti su:

$$1,0 \leq \cotg \theta_f \leq 2,0 \quad \text{za pritisnute flanše } (45^\circ \geq \theta_f \geq 26,5^\circ)$$

$$1,0 \leq \cotg \theta_f \leq 1,25 \quad \text{za zategnute flanše } (45^\circ \geq \theta_f \geq 38,6^\circ)$$

(5) U slučaju kombinovanog smicanja između flanše i rebra i transverzalnog savijanja flanše, površina armature treba da bude veća od vrednosti koja je data izrazom (6.21) ili od polovine vrednosti koja je data izrazom (6.21), uvećane za armaturu koja je potrebna za transverzalno savijanje flanše.

(6) Ako je  $v_{Ed}$  manje ili jednako  $k f_{ctd}$  nije potrebna dodatna armatura za savijanje.

**Napomena:** Vrednost  $k$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je 0,4.

(7) Podužna zategnuta armatura u flanši treba da bude ankerovana dalje od preseka sa pritisnutim štapom kojim se vraća sila u rebro, u preseku u kojem je ta armatura potrebna (videti presek A-A na slici 6.7).

## 6.2.5 SMICANJE NA KONTAKTU BETONA UGRAĐENIH U RAZLIČITO VREME

(1) Osim zahteva u 6.2.1 do 6.2.4, napon smicanja na kontaktu betona ugrađenih u različito vreme (stari i novi beton, nastavci betoniranja) (*shear at the interface between concrete cast at different times*), treba da zadovolji i uslov:

$$v_{Edi} \leq v_{Rdi} \quad (6.23)$$

gde je  $v_{Edi}$  proračunska vrednost napona smicanja na kontaktu dva betona i data je izrazom:

$$v_{Edi} = \beta V_{Ed} / (z b_i) \quad (6.24)$$

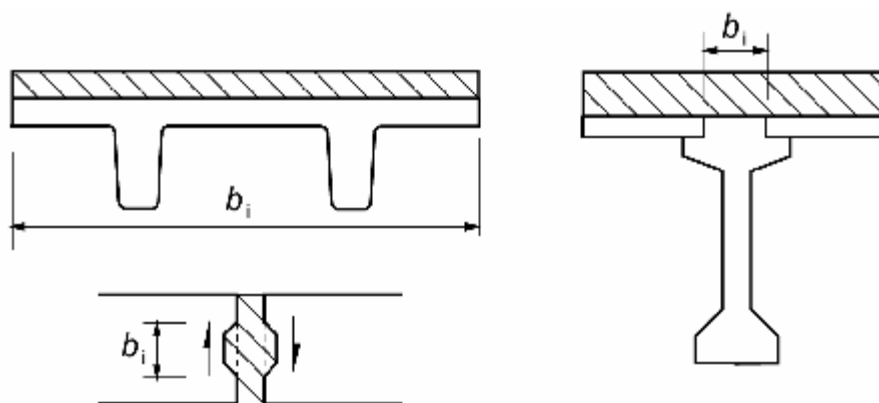
gde je:

- $\beta$  odnos podužne sile na površini novog betona i ukupne podužne sile, u pritisutoj ili u zategnutoj zoni, obe sračunate za posmatrani presek
- $V_{Ed}$  transverzalna sila smicanja
- $z$  krak unutrašnjih sila za kompozitni presek
- $b_i$  širina kontaktne površine između betona ugrađenih u različito vreme (videti sliku 6.8)
- $v_{Rdi}$  proračunska čvrstoća pri smicanju na kontaktu dva betona, data izrazom:

$$v_{Rdi} = c f_{ctd} + \mu \sigma_n + \rho f_{yd} (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 v f_{cd} \quad (6.25)$$

gde je:

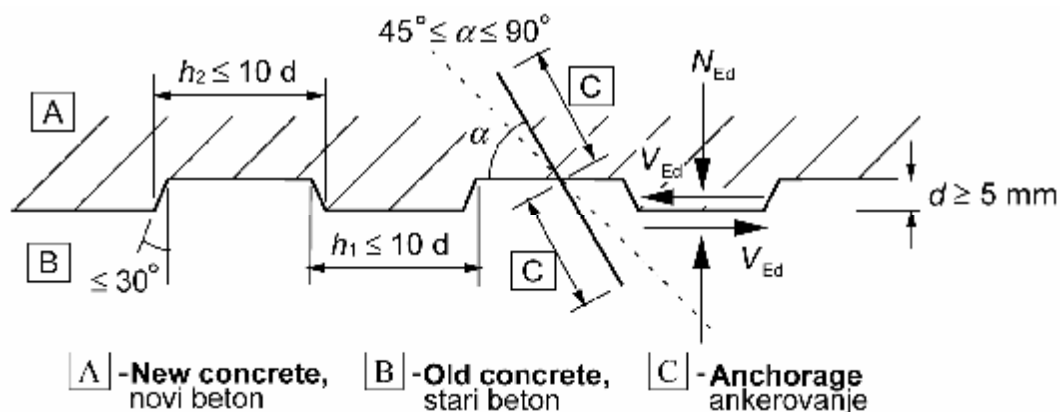
- $c$  i  $\mu$  koeficijenti koji zavise od hrapavosti kontaktne površine (nastavka betoniranja) (videti (2) u daljem tekstu)
- $f_{ctd}$  vrednost proračunske čvrstoće betona pri zatezanju, definisana u 3.1.6 (2)P
- $\sigma_n$  napon od minimalne spoljašnje normalne sile koja može da deluje na kontaktnu površinu istovremeno sa silom smicanja, pozitivan ako je pritisak, sa gornjom granicom  $\sigma_n < 0,6 f_{cd}$ , a negativan ako je zatezanje. Kada je  $\sigma_n$  zatezanje,  $c f_{ctd}$  treba da se uzme da je jednako nuli
- $\rho = A_s / A_i$
- $A_s$  površina armature koja prolazi kroz kontaktnu površinu, uključivo običnu armaturu za smicanje (ukoliko je ima), koja je odgovarajuće ankerovana sa obe strane kontaktne površine
- $A_i$  površina kontakta (spoja)
- $\alpha$  ugao definisan na slici 6.9, koji treba da je  $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$
- $v$  koeficijent redukcije čvrstoće (videti 6.2.2(6)).



**Slika 6.8: Primeri kontakta starog i novog betona**

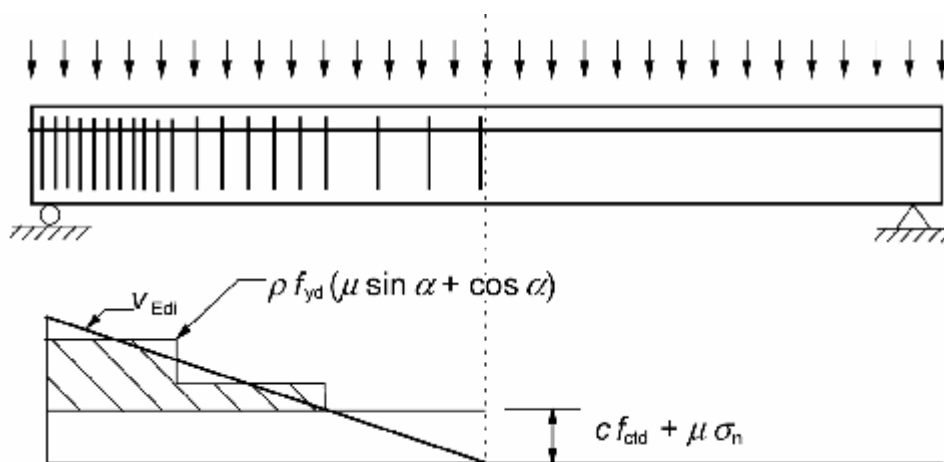
(2) Ako se ne raspolaže tačnijim podacima, površine spojeva mogu da se klasifikuju kao veoma glatke, glatke, hrapave ili ozubljene (rebraste), sa sledećim primerima za pojedine slučajeve:

- **veoma glatke:** površine koje su izbetonirane u čeličnoj, plastičnoj ili specijalno obrađenoj drvenoj oplati (*moulds*):  $c = 0,25$  i  $\mu = 0,5$
- **glatke:** površine dobijene kliznom oplatom ili ekstrudiranjem, ili slobodne površine bez naknadne obrade posle vibriranja:  $c = 0,35$  i  $\mu = 0,6$
- **hrapave:** površine sa neravninama od najmanje **3 mm** na oko **40 mm** rastojanja, dobijene grebanjem, eksponiranjem strukture agregata ili drugim postupcima kojima se dobija slična površina:  $c = 0,45$  i  $\mu = 0,7$
- **ozubljene:** površine sa ozubljenom (rebrastom) konturom koja odgovara slici 6.9:  $c = 0,50$  i  $\mu = 0,9$ .



**Slika 6.9: Ozubljena konstrukcijska spojnica (nastavak betoniranja)**

(3) Može da se koristi stepenasti dijagram poprečne armature (armature za prošivanje), kako je prikazano na slici 6.10. Kada je nastavak betoniranja između dva betona različite starosti obezbeđen armaturom (na primer, lestvičastom armaturom) (*lattice girders*), može da se uzme da je doprinos armature vrednosti  $v_{Rdi}$  jednak rezultanti sila u svim dijagonalama, pod uslovom da je  $45^\circ \leq \alpha \leq 135^\circ$ .



**Slika 6.10: Dijagram smicanja i raspored armature na spoju starog i novog betona**

(4) Poduzna nosivost pri smicanju spojnica ispunjenih malterom između ploča ili elemenata zidova, može da se sračuna prema 6.2.5 (1). Međutim, u slučajevima kada spoj može da ima značajne prsline, treba da se uzme da je  $c$  jednako nuli za glatke i hrapave površine a jednako **0,5** za orebene površine (videti i 10.9.3 (12)).

- (5) Pri opterećenjima na zamor ili pri dinamičkim opterećenjima, veličine  $c$  u izrazu 6.2.5 (1) treba da se uzme dvostruko manje.

## 6.3 TORZIJA

### 6.3.1 OPŠTE ODREDBE

- (1)P Kada statička ravnoteža konstrukcije zavisi od otpornosti na torziju elemenata konstrukcije, mora da se sprovede detaljan proračun uticaja od torzije i za granična stanja nosivosti i za granična stanja upotrebljivosti.
- (2) Kada u statički neodređenim konstrukcijama torzija nastaje samo iz uslova kompatibilnosti deformacija, i kada stabilnost konstrukcije ne zavisi od otpornosti na torziju, u graničnom stanju nosivosti normalno nije potrebno voditi računa o torziji. U takvim slučajevima, da bi se sprečile preterane prsline u elementima treba da se obezbedi minimalna armatura u obliku uzengija i podužnih šipki, prema 7.3 i 9.2.
- (3) Nosivost preseka pri torziji može da se sračuna korišćenjem koncepta tankozidnog zatvorenog preseka (*thin-walled sections*), u kojem je ravnoteža zadovoljena zatvorenim tokom smicanja (*closed shear flow*). Puni preseci mogu da se modeliraju ekvivalentnim tankozidnim presecima. Kompleksni oblici preseka, kao što su T- preseci, mogu da se podele na niz subpreseka (komponentalnih preseka), od kojih se svaki modelira kao ekvivalentan tankozidni presek a ukupna nosivost pri torziji predstavlja sumu nosivosti pojedinačnih elemenata.
- (4) Raspodela ukupnih momenata torzije na komponentalne preseke treba da je u srazmeri sa njihovim torzionim krutostima u stanju bez prsline. Za preseke sa unutrašnjim otvorima ekvivalentna debljina zida ne treba da bude veća od stvarne debljine zida.
- (5) Svaki komponentalni element preseka može da se proračuna posebno.

### 6.3.2 POSTUPAK PRORAČUNA

- (1) Napon smicanja u zidu preseka koji je izložen momentu čiste torzije (*pure torsional moment*) može da se sračuna prema izrazu:

$$\tau_{t,i} \cdot t_{ef,i} = \frac{T_{Ed}}{2 A_k} \quad (6.26)$$

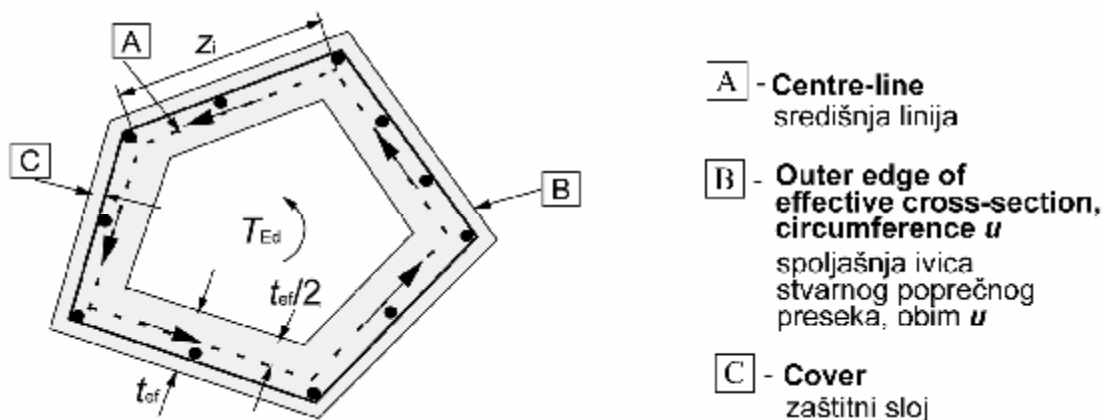
Sila smicanja  $V_{Ed,i}$  u zidu  $i$  od torzije data je izrazom:

$$V_{Ed,i} = \tau_{t,i} \cdot t_{ef,i} z_i \quad (6.27)$$

gde je:

- $T_{Ed}$  proračunski momenat torzije (videti sliku 6.11)
- $A_k$  površina zatvorena središnjim linijama obimnih zidova, uključujući i površine unutrašnjih otvora
- $\tau_{t,i}$  napon smicanja od torzije u zidu  $i$
- $t_{ef,i}$  efektivna debljina zida. Može da se uzme da je jednaka  $A/u$ , ali ne treba da je manja od dvostrukog rastojanja između spojašnje ivice i težišta podužne armature. Za preseke sa otvorima gornja granica je stvarna debljina zida

- A** ukupna površina poprečnog preseka unutar spoljašnjeg obima, uključujući i površine unutrašnjih otvora
- u** spoljašnji obim poprečnog preseka
- z<sub>i</sub>** dužina zida *i* u poprečnom preseku, definisana rastojanjem između presečnih tačaka središnjih linija susjednih zidova.



**Slika 6.11: Oznake i definicije koje se koriste u 6.3**

(2) Uticaji torzije i smicanja i za preseke sa otvorima i za pune elemente mogu da se superponiraju, pretpostavljajući isti nagib pritisnutih štapova  $\theta$ . Granice date za  $\theta$  u 6.2.3 (2) potpuno važe i za slučaj kombinovanog smicanja i torzije.

Maksimalna nosivost elementa opterećenog na smicanje i torziju sledi iz 6.3.2 (4).

(3) Potrebna površina preseka podužne armature za torziju  $\Sigma A_{si}$  može da se sračuna iz izraza (6.28):

$$\frac{\Sigma A_{si} f_{yd}}{u_k} = \frac{T_{Ed}}{2A_k} \text{ctg } \theta \quad (6.28)$$

gde je:

- $u_k$  obim površine  $A_k$
- $f_{yd}$  proračunska granica razvlačenja podužne armature  $A_{si}$
- $\theta$  ugao pritisnutih štapova (videti sliku 6.5).

U pritisnutim pojasevima podužna armatura može da se smanji srazmerno sili pritiska koja deluje u pojasu. U zategnutim pojasevima podužna armatura za torziju treba da se doda ostaloj armaturi. Generalno, podužna armatura treba da se rasporedi po dužini stranice zida u poprečnom preseku,  $z_i$ , ali za manje preseke može da bude i koncentrisana na krajevima dužine zida.

(4) Maksimalna nosivost elementa izloženog dejstvu torzije i smicanja ograničena je kapacitetom nosivosti pritisnutih betonskih štapova. Da ta nosivost ne bi bila prekoračena treba da bude zadovoljen uslov:

$$T_{Ed}/T_{Rd,max} + V_{Ed}/V_{Rd,max} \leq 1,0 \quad (6.29)$$

gde je:

- $T_{Ed}$  proračunski momenat torzije

$V_{Ed}$  proračunska vrednost transversalne sile  
 $T_{Rd,max}$  proračunska nosivost pri momentu torzije, prema

$$T_{Rd,max} = 2v \alpha_{cw} f_{cd} A_k t_{ef,i} \sin\theta \cos\theta \quad (6.30)$$

gde  $v$  sledi iz izraza (6.2.2(6)) i  $\alpha_{cw}$  iz izraza (6.9), a

$V_{Rd,max}$  je maksimalna proračunska nosivost pri smicanju, prema izrazima (6.9) ili (6.14). U poprečnim presecima bez otvora pri određivanju  $V_{Rd,max}$  može da se koristi puna širina rebra.

(5) Za približno pravougaone pune preseke potrebna je samo minimalna armatura (videti 9.2.1.1) pod uslovom da je zadovoljen odnos:

$$T_{Ed}/T_{Rd,c} + V_{Ed}/V_{Rd,c} \leq 1,0 \quad (6.31)$$

gde je:

$T_{Rd,c}$  momenat torzije pri kojem nastaju prsline, koji može da se odredi iz uslova  $\tau_{t,i} = f_{ctd}$

$V_{Rd,c}$  proračunska nosivost pri smicanju elementa u kojem nije potrebna armatura za smicanje, data izrazom (6.2).

### 6.3.3 OGRANIČENA TORZIJA

(1) Za tankozidne zatvorene i za pune poprečne preseke ograničena torzija (*warping torsion*) normalno može da se zanemari.

(2) U otvorenim tankozidnim elementima može da bude potrebno da se razmatraju uticaji ograničene torzije. Za veoma vitke poprečne preseke proračun treba da se sprovede koristeći model gredne mreže (*beam-grid model*) a za druge slučajeve model rešetke (*truss model*). U svim slučajevima proračun treba da bude u skladu sa pravilima za proračun elemenata opterećenih momentom savijanja, podužnom normalnom silom i silom smicanja.

## 6.4 PROBIJANJE

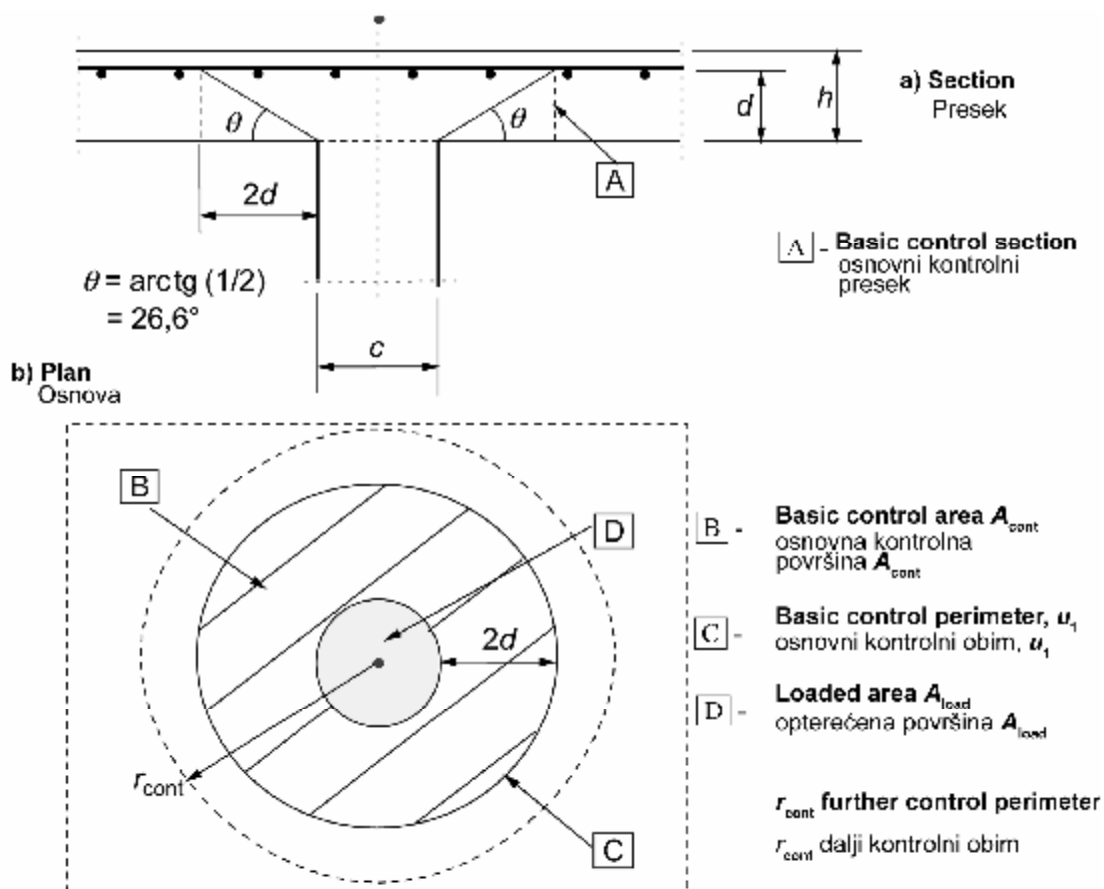
### 6.4.1 OPŠTE ODREDBE

(1)P Pravila u ovom poglavlju dopunjavaju pravila koja su data u 6.2 i obuhvataju smicanje pri probijanju (*punching shear*) u punim pločama, kasetiranim pločama sa punim delom ploče nad stubovima i u fundamentima.

(2)P Smicanje pri probijanju može da nastane od koncentrisane sile ili reakcije koja deluje na relativno maloj površini, koja se naziva opterećena površina (*loaded area*)  $A_{load}$  ploče ili fundamenta.

(3) Pogodan proračunski model za proveru loma pri probijanju u graničnom stanju nosivosti prikazan je na slici 6.12.

(4) Nosivost pri smicanju (*shear resistance*) treba da se proveriti na ivici stuba i na osnovnom kontrolnom obimu (perimetru)  $u_1$ . Ako je na tom obimu potrebna armatura za smicanje, treba odrediti udaljeniji obim  $u_{out,ef}$  na kojem armatura za smicanje više nije potrebna.

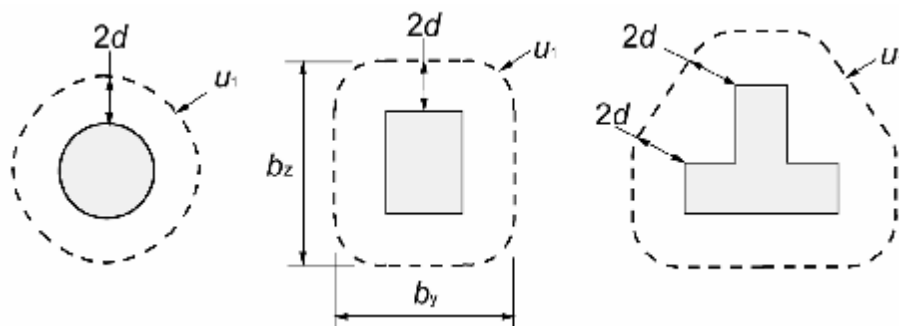


**Slika 6.12: Proračunski model za smicanje od probijanja u graničnom stanju nosivosti**

(5) Pravila data u 6.4 principijelno su formulisana za slučaj jednako podeljenog opterećenja. U specijalnim slučajevima, kao što su temeljne stope, opterećenje unutar kontrolnog obima doprinosi nosivosti konstrukcijskog sistema i može da se oduzme kada se određuje proračunski napon smicanja od probijanja.

### 6.4.2 RASPODELA OPTEREĆENJA I OSNOVNI KONTROLNI OBIM

(1) Osnovni kontrolni obim (*basic control perimeter*)  $u_1$  normalno može da se usvoji na rastojanju od  $2,0 d$  od opterećene površine i treba da je tako konstruisan da ima minimalnu dužinu (videti sliku 6.13).



**Slika 6.13: Tipični osnovni kontrolni obimi oko opterećenih površina**

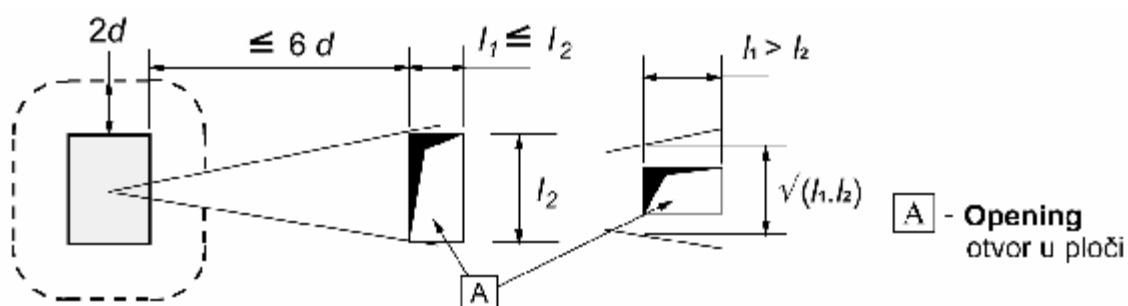
Pretpostavlja se da je statička visina ploče konstantna i normalno može da se uzme da iznosi:

$$d_{\text{eff}} = \frac{(d_y + d_z)}{2} \quad (6.32)$$

gde su  $d_y$  i  $d_z$  statičke visine armature u dva ortogonalna pravca.

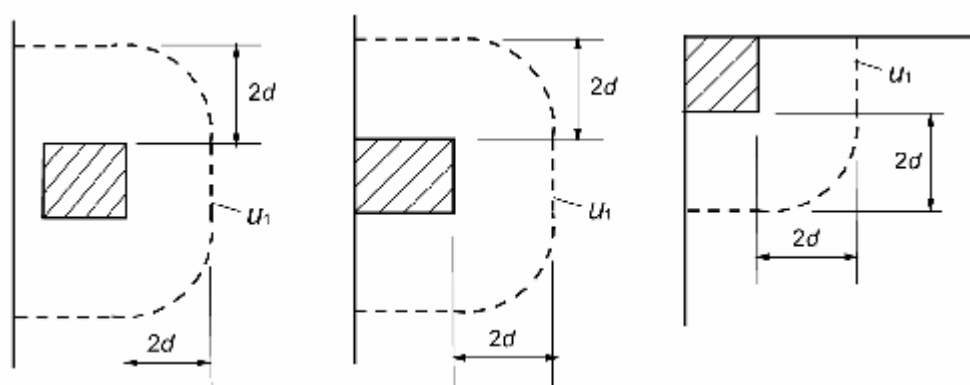
(2) Kontrolni obimi na rastojanju manjem od  $2d$  treba da se analiziraju kada se koncentrisanoj sili suprotstavlja pritisak velikog intenziteta (na primer, pritisak tla ispod fundamenta), ili uticaji opterećenja ili reakcije koja deluju unutar  $2d$  od konture opterećene površine.

(3) Za opterećene površine koje se nalaze u blizini otvora u ploči, ako najkraće rastojanje između obima opterećene površine i ivice otvora nije veće od  $6d$ , treba smatrati da deo kontrolnog obima između dve tangente povučene iz centra opterećene površine, tako da tangiraju konturu otvora, ne učestvuje u prihvatanju napona smicanja od probijanja (videti sliku 6.14).



**Slika 6.14: Kontrolni obim u blizini otvora u ploči**

(4) Kada se opterećena površina nalazi u blizini ivice ili ugla ploče, kontrolni obim treba da se usvoji kao na slici 6.15, ako se tako dobija manji obim (isključujući neoslonjene ivice) od onog koji se dobija prema odredbama (1) i (2) u prethodnom tekstu.

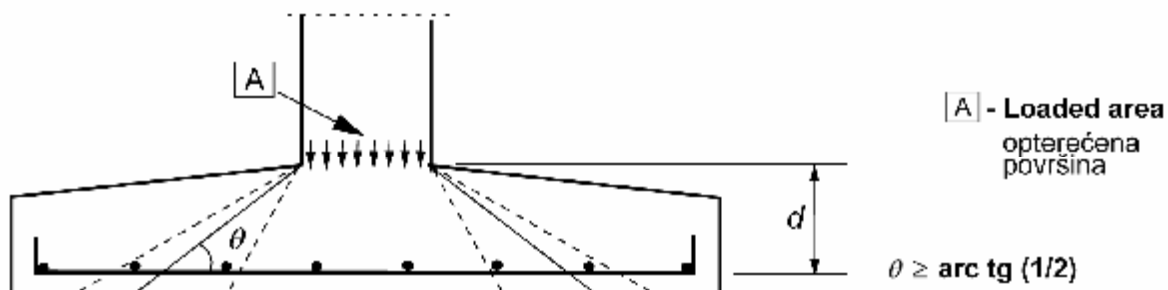


**Slika 6.15: Osnovni kontrolni obimi za opterećene površine u blizini ili na ivici ili u uglu ploče**

(5) Za opterećene površine na ivici ili u uglu ploče, ili u blizini ivice ili ugla ploče, odnosno na rastojanju manjem od  $d$ , uvek treba da se predvidi specijalna ivična armaturu, videti 9.3.1.4.

## EN 1992-1-1:2004

(6) Kontrolni presek (*control section*) je presek ploče duž kontrolnog obima, čija je visina jednaka statičkoj visini ploče  $d$ . Za ploče konstantne debljine kontrolni presek je upravan na srednju ravan ploče. Za ploče ili fundamente promenljive debljine, koja se ne menja stepenasto (*step footings*), može da se pretpostavi da je efektivna statička visina jednaka statičkoj visini na obimu opterećene površine, kako je prikazano na slici 6.16.



**Slika 6.16: Statička visina kontrolnog preseka u temeljnoj stopi promenljive debljine**

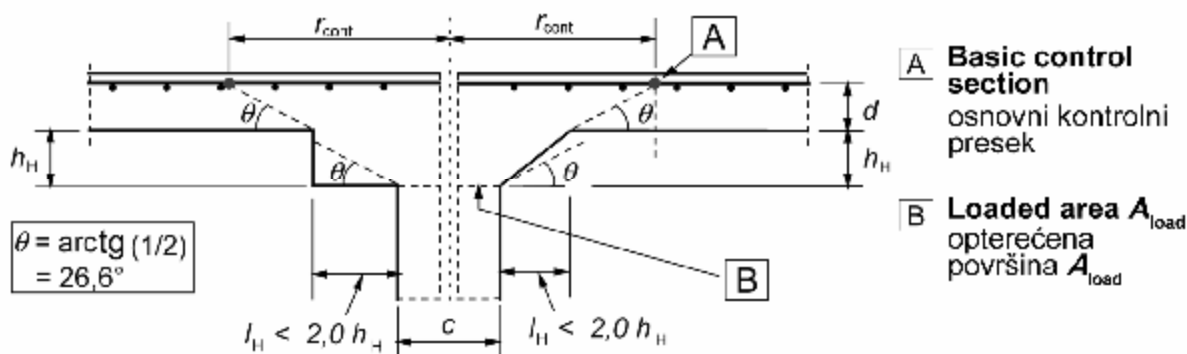
(7) Ostali kontrolni obimi,  $u_i$ , unutar i izvan osnovne kontrolne površine, treba da budu istog oblika kao osnovni kontrolni obim.

(8) Za ploče sa kružnim kapitelima (*column heads*) nad stubovima, sa odnosom  $l_H < 2,0 h_H$  (videti sliku 6.17), provera napona smicanja usled probijanja prema 6.4.3 potrebna je samo u kontrolnom preseku van kapitela. Može da se uzme da je rastojanje tog preseka od ose stuba  $r_{\text{cont}}$  jednako vrednosti:

$$r_{\text{cont}} = 2,0 d + l_H + 0,5c \quad (6.33)$$

gde je:

$l_H$  rastojanje od konture stuba do ivice kapitela  
 $c$  prečnik kružnog stuba.



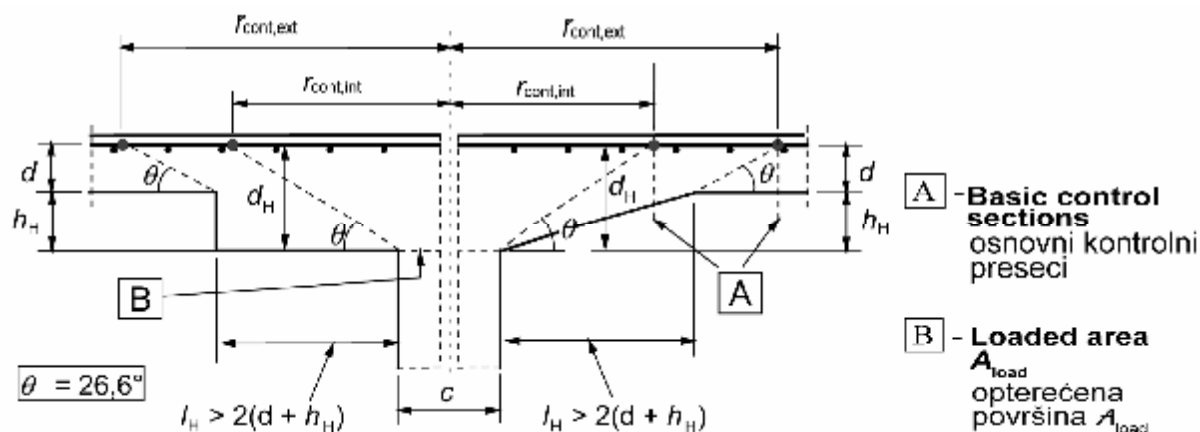
**Slika 6.17: Ploča sa kapitelom, kada je  $l_H < 2,0 h_H$**

Za stub pravougaonog poprečnog preseka sa pravougaonim kapitelom sa odnosom  $l_H < 2,0 h_H$  (videti sliku 6.17) i sa ukupnim dimenzijama  $l_1$  i  $l_2$  ( $l_1 = c_1 + 2 l_{H1}$ ,  $l_2 = c_2 + 2 l_{H2}$ ,  $l_1 \leq l_2$ ), za vrednost  $r_{\text{cont}}$  može da se uzme manja od sledeće dve vrednosti:

$$r_{\text{cont}} = 2d + 0,56 \sqrt{l_1 l_2} \quad (6.34)$$

$$r_{\text{cont}} = 2,0 d + 0,69 l_1 \quad (6.35)$$

(9) Za ploče sa kapitelima sa odnosom  $l_H > 2,0 h_H$  (videti sliku 6.18), kontrolni preseći treba da se provere i kroz kapitel i kroz ploču.



Slika 6.18: Ploča sa kapitelom kada je  $l_H > 2,0 (d + h_H)$

(10) Odredbe 6.4.2 i 6.4.3 važe i za kontrolne preseke kroz kapitel, pri čemu za vrednost  $d$  treba da se uzme  $d_H$ , prema slici 6.18).

(11) Za kružne stubove može da se uzme da su rastojanja od ose stuba do kontrolnih preseka na slici 6.18:

$$r_{cont,ext} = l_H + 2,0 d + 0,5 c \quad (6.36)$$

$$r_{cont,int} = 2,0 (d + h_H) + 0,5 c \quad (6.37)$$

### 6.4.3 PRORAČUN NAPONA SMICANJA OD PROBIJANJA

(1)P Postupak proračuna napona smicanja od probijanja zasniva se na proračunu kontrolnih preseka duž ivica stuba i osnovnog kontrolnog obima  $u_1$ . Ukoliko je na osnovnom kontrolnom obimu potrebna armatura za smicanje od probijanja, treba odrediti dalji kontrolni obim  $u_{out,ef}$  na kojem armatura za smicanje od probijanja više nije potrebna. Definisani su sledeći proračunski naponi smicanja (u MPa) duž kontrolnih preseka:

- $V_{Rd,c}$  proračunska vrednost graničnog napona smicanja od probijanja ploče (proračunska vrednost čvrstoće pri smicanju) bez armature za smicanje u posmatranom kontrolnom preseku
- $V_{Rd,cs}$  proračunska vrednost graničnog napona smicanja od probijanja ploče sa armaturom za smicanje u posmatranom kontrolnom preseku
- $V_{Rd,max}$  proračunska vrednost maksimalnog napona smicanja od probijanja u posmatranom kontrolnom preseku.

(2) Treba da se izvrše sledeće provere:

(a) Po obimu stuba, ili po obimu opterećene površine, proračunska vrednost maksimalnog napona smicanja od probijanja ne sme da bude prekoračena:

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

(b) Armatura za smicanje od probijanja nije potrebna ako je:

$$V_{Ed} < V_{Rd,c}$$

## EN 1992-1-1:2004

(c) Kada je  $v_{Ed}$  u posmatranom kontrolnom preseku veće od vrednosti  $v_{Rd,c}$ , treba predvideti armaturu za smicanje od probijanja, prema 6.4.5.

(3) Kada je oslonačka reakcija ekscentrična u odnosu na kontrolni obim, maksimalni napon smicanja od probijanja dobija se iz izraza:

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_i d} \quad (6.38)$$

gde je:

- $d$  srednja statička visina ploče, za koju može da se uzme  $(d_y + d_z)/2$ , gde su:
- $d_y, d_z$  statičke visine u kontrolnom preseku u  $y$  i  $z$  pravcu
- $u_i$  dužina posmatranog kontrolnog obima
- $\beta$  koeficijent dat izrazom:

$$\beta = 1 + k \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_1}{W_1} \quad (6.39)$$

gde je:

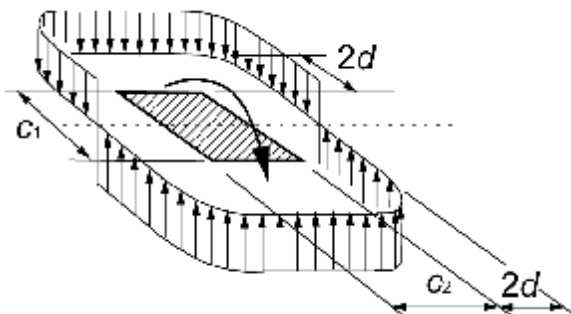
- $u_1$  dužina osnovnog kontrolnog obima
- $k$  koeficijent koji zavisi od veličine dimenzija stuba  $c_1$  i  $c_2$ : vrednost tog koeficijenta zavisi od odnosa neuravnoteženog momenta koji izaziva nesimetrično smicanje i savijanje i torzija (videti tabelu 6.1)
- $W_1$  odgovara dijagramu smicanja, kako je prikazano na slici 6.19, i funkcija je osnovnog kontrolnog obima  $u_1$ :

$$W_1 = \int_0^{u_1} |e| dl \quad (6.40)$$

- $dl$  dužina inkrementa obima
- $e$  rastojanje od  $dl$  do ose u odnosu na koju deluje momenat  $M_{Ed}$

**Tabela 6.1: Vrednosti koeficijenta  $k$  za pravougaone opterećene površine**

$c_1/c_2$	$\leq 0,5$	1,0	2,0	$\geq 3,0$
$k$	0,45	0,60	0,70	0,80



**Slika 6.19: Dijagram smicanja od neuravnoteženog momenta na spoju ploče i unutrašnjeg stuba**

Za pravougaoni stub:

$$W_1 = \frac{c_1^2}{2} + c_1 c_2 + 4 c_2 d + 16 d^2 + 2\pi d c_1 \quad (6.41)$$

gde je:

$c_1$  dimenzija stuba paralelna sa ekscentricitetom opterećenja

$c_2$  dimenzija stuba upravna na ekscentricitet opterećenja.

Za unutrašnje stubove kružnog poprečnog preseka  $\beta$  sledi iz izraza:

$$\beta = 1 + 0,6\pi \frac{e}{D + 4d} \quad (6.42)$$

gde je  $D$  prečnik kružnog stuba.

Za unutrašnji stub pravougaonog poprečnog preseka, kada je opterećenje ekscentrično u odnosu na obe ose, za određivanje koeficijenta  $\beta$  može da se koristi sledeći približan izraz:

$$\beta = 1 + 1,8 \sqrt{\left(\frac{e_y}{b_z}\right)^2 + \left(\frac{e_z}{b_y}\right)^2} \quad (6.43)$$

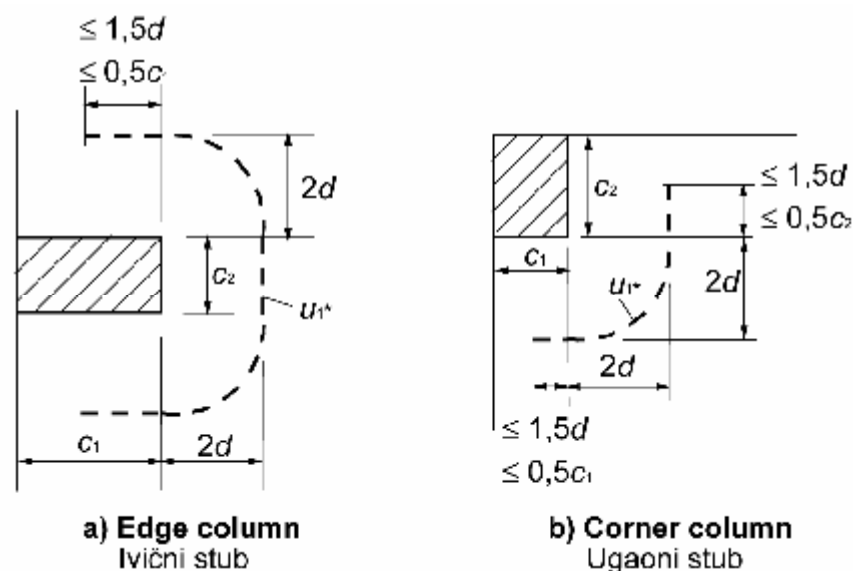
gde su:

$e_y$  i  $e_z$  ekscentriciteti  $M_{Ed}/V_{Ed}$  u pravcu  $y$  odnosno  $z$  ose

$b_y$  i  $b_z$  dimenzije kontrolnog obima (videti sliku 6.13).

**Napomena:**  $e_y$  sledi iz momenta oko  $z$  ose a  $e_z$  iz momenta oko  $y$  ose.

(4) Za spoj ploča i ivičnih stubova, kada je ekscentricitet upravno na ivicu ploče (koji odgovara momentu savijanja oko ose koja je paralelna ivici ploče) u smeru unutrašnjosti ploče, i kada nema ekscentriciteta koji je paralelan ivici ploče, može da se smatra da je sila probijanja uniformno raspodeljena duž kontrolnog obima  $u_{1*}$ , kako je prikazano na slici 6.20 (a).



**Slika 6.20: Redukovani osnovni kontrolni obim  $u_{1*}$**

Kada ekscentricitet postoji u oba ortogonalna pravca,  $\beta$  može da se odredi iz izraza:

$$\beta = \frac{u_1}{u_{1*}} + k \frac{u_1}{W_1} e_{par} \quad (6.44)$$

gde je:

- $u_1$  osnovni kontrolni obim (videti sliku 6.15)
- $u_{1*}$  redukovani osnovni kontrolni obim (videti sliku 6.20(a))
- $e_{par}$  ekscentricitet paralelan ivici ploče, koji odgovara momentu savijanja oko ose upravne na ivicu ploče
- $k$  koeficijent koji može da se odredi iz tabele 6.1, pri čemu odnos  $c_1/c_2$  treba da bude zamenjen sa  $c_1/2c_2$
- $W_1$  se sračunava za osnovni kontrolni obim  $u_1$  (videti sliku 6.13).

Za pravougaoni stub prikazan na slici 6.20(a):

$$W_1 = \frac{c_2^2}{4} + c_1c_2 + 4c_1d + 8d^2 + \pi d c_2 \quad (6.45)$$

Ako ekscentricitet upravno na ivicu ploče nije u smeru unutrašnjosti ploče, izraz (6.39) ostaje u važnosti. Kada se sračunava  $W_1$  ekscentricitet  $e$  treba da se meri od centra kontrolnog obima.

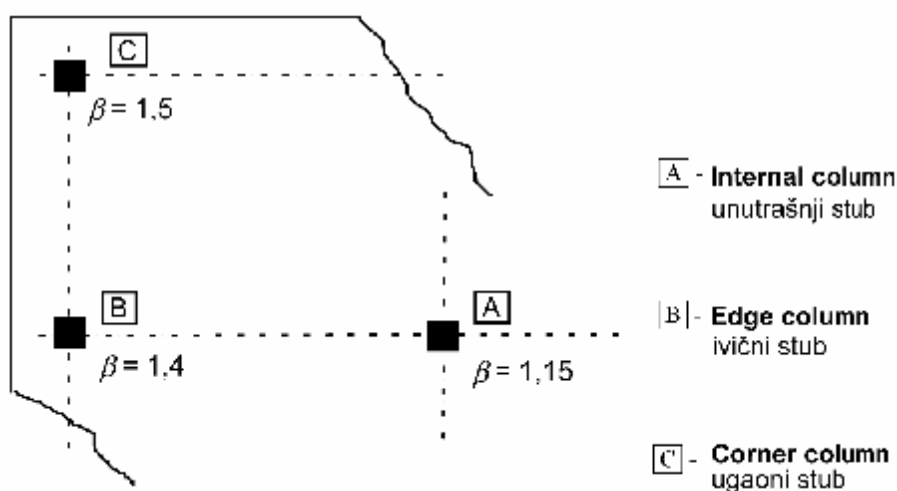
(5) Za spoj ploča i ugaonih stubova, kada je ekscentricitet u smeru unutrašnjosti ploče, može da se pretpostavi da je sila probijanja uniformno raspodeljena po obimu redukovanog kontrolnog obima  $u_{1*}$ , kako je prikazano na slici 6.20b). Može da se smatra da je tada  $\beta$  vrednost data odnosom:

$$\beta = \frac{u_1}{u_{1*}} \quad (6.46)$$

Ako je ekscentricitet u spoljašnjem smeru, van ploče, važi izraz (6.39).

(6) Za konstrukcije čija bočna stabilnost ne zavisi od ramovskog dejstva između ploča i stubova, i kada se dužine susednih raspona ne razlikuju za više od **25%**, za koeficijent  $\beta$  mogu da se koriste približne vrednosti.

**Napomena:** Vrednosti  $\beta$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti date su na slici 6.21N.



Slika 6.21N: Preporučene vrednosti za koeficijent  $\beta$

(7) Kada koncentrisano opterećenje deluje u blizini stuba ravne ploče (bez kapitela), smanjenje sile smicanja prema izrazima 6.2.2 (6) i 6.2.3 (8) ne važi, i ne treba da se uzme u obzir u proračunu.

(8) Sila probijanja  $V_{Ed}$  u temeljnoj ploči može da se smanji uzimajući u obzir povoljno dejstvo pritiska tla.

(9) Ako kablovi za prethodno naprezanje prolaze kroz kontrolni presek pod nagibom, vertikalna komponenta  $V_{pd}$  sile u kablovima može da se uzme u obzir kao povoljno dejstvo.

#### 6.4.4 NOSIVOST PRI SMICANJU OD PROBIJANJA PLOČA ILI STOPA STUBOVA BEZ ARMATURE ZA SMICANJE

(1) Nosivost pri smicanju od probijanja (nosivost pri probijanju) (*punching shear resistance*) ploče treba da se dokaže za osnovni kontrolni presek prema 6.4.2. Proračunska vrednost graničnog napona smicanja od probijanja [MPa] data je izrazom:

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \geq (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) \quad (6.47)$$

gde je:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \quad d \text{ u [mm]}$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \cdot \rho_{lz}} \leq 0,02$$

$\rho_{ly}, \rho_{lz}$  odnosi površine zategnute armature za koju beton prijanja, u  $y$  odnosno u  $z$  pravcu, i površine betona. Vrednosti  $\rho_{ly}$  i  $\rho_{lz}$  treba da se sračunaju kao srednje vrednosti, uzimajući u obzir armaturu na širini ploče jednakoj širini stuba, uvećanoj za po  $3d$  sa svake strane

$$\sigma_{cp} = (\sigma_{cy} + \sigma_{cz}) / 2$$

gde su:

$\sigma_{cy}, \sigma_{cz}$  normalni naponi u betonu u kritičnom preseku, u  $y$  i u  $z$  pravcu (u MPa, pozitivni ako su pritisak):

$$\sigma_{cy} = \frac{N_{Ed,y}}{A_{cy}} \quad \text{i} \quad \sigma_{cz} = \frac{N_{Ed,z}}{A_{cz}}$$

$N_{Edy}, N_{Edz}$  podužne sile u čitavom polju za unutrašnje stubove a podužna sila kroz kontrolni presek za ivične stubove. Sila može da bude od opterećenja ili od prethodnog naprezanja

$A_c$  površina betona, u skladu sa definicijom  $N_{Ed}$ .

**Napomena:** Vrednosti  $C_{Rd,c}$ ,  $v_{min}$  i  $k$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti su  $C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c$ , za  $v_{min}$  je data izrazom (6.3N) i za  $k$  je  $0,1$ .

(2) Nosivost pri probijanju stopa stubova treba da se proveriti na kontrolnim obimima unutar rastojanja od  $2d$  od konture stuba.

Za koncentrisano opterećenje merodavna neto vrednost sile probijanja je:

$$V_{Ed,red} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed} \quad (6.48)$$

gde je:

## EN 1992-1-1:2004

- $V_{Ed}$  proračunska vrednost sile smicanja (sile u stubu)  
 $\Delta V_{Ed}$  neto rasterećujuća sila unutar posmatranog kontrolnog obima, usmerena na gore, nasuprot reakciji stuba, odnosno pritisak tla umanjen za sopstvenu težinu temeljne stope

$$v_{Ed} = V_{Ed,red} / ud \quad (6.49)$$

$$v_{Rd} = C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} \times 2d/a \geq v_{min} \times 2d/a \quad (6.50)$$

gde je:

- $a$  rastojanje od konture stuba do posmatranog kontrolnog obima  
 $C_{Rd,c}$  kako je definisano u 6.4.4 (1)  
 $v_{min}$  kako je definisano u 6.4.4 (1)  
 $k$  kako je definisano u 6.4.4 (1).

Za ekscentrično opterećenje

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed,red}}{ud} \left[ 1 + k \frac{M_{Ed} u}{V_{Ed,red} W} \right] \quad (6.51)$$

gde je  $k$  definisano u 6.4.3 (3) ili 6.4.3 (4), u zavisnosti od razmatranog slučaja, a  $W$  je vrednost slična  $W_1$ , samo za obim  $u$ .

### 6.4.5 NOSIVOST PRI SMICANJU OD PROBIJANJA PLOČA ILI STOPA STUBOVA SA ARMATUROM ZA SMICANJE

- (1) Kada je potrebna, armatura za smicanje treba da se sračuna prema izrazu (6.52):

$$v_{Rd,cs} = 0,75 v_{Rd,c} + 1,5 (d/s_r) A_{sw} f_{ywd,ef} [1/(u_1 d)] \sin \alpha \quad (6.52)$$

gde je:

- $A_{sw}$  površina armature za smicanje na dužini jednog kontrolnog obima oko stuba [ $mm^2$ ]  
 $s_r$  radialno rastojanje obima duž kojih je raspoređena armatura za smicanje [ $mm$ ]  
 $f_{ywd,ef}$  efektivna proračunska čvrstoća pri zatezanju armature za smicanje od probijanja, prema  
 $f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 d \leq f_{ywd}$  [Mpa]  
 $d$  srednja vrednost statičkih visina ploče u ortogonalnim pravcima [ $mm$ ]  
 $\alpha$  ugao između armature za smicanje i ravni ploče.

Ako postoji samo jedna linija na kojoj se šipke armature savijaju iz gornje u donju zonu (*single line of bent-down bars*), za odnos  $d/s_r$  u izrazu (6.52) može da se uzme vrednost **0,67**.

- (2) Konstrukcijski detalji armature za smicanje od probijanja dati su u 9.4.3.  
(3) Neposredno uz stub proračunska vrednost napona smicanja od probijanja ne sme da bude veća od maksimalne vrednosti:

$$v_{Ed} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_0 d} \leq v_{Rd,max} \quad (6.53)$$

gde je:

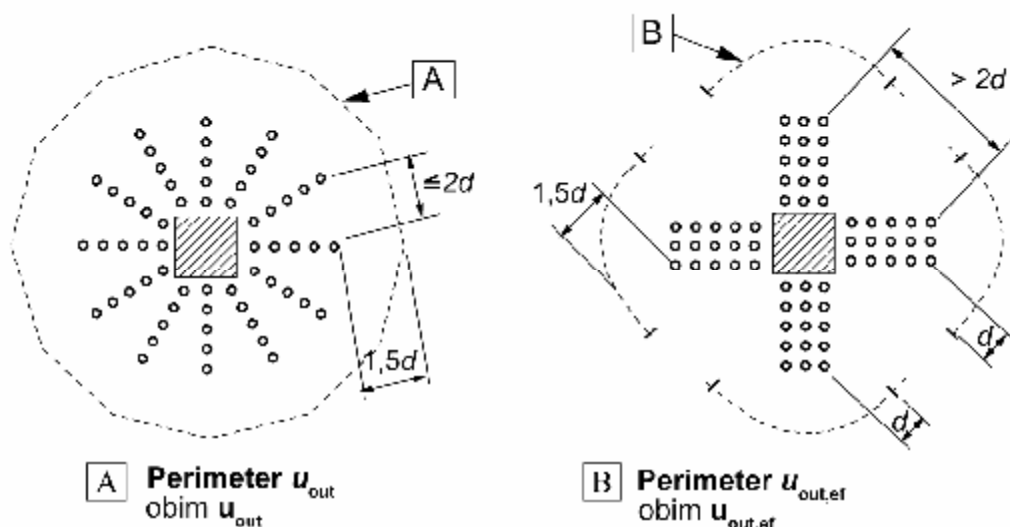
- $u_0$  za unutrašnji stub  $u_0 =$  dužina obima stuba [mm]  
 za ivični stub  $u_0 = c_2 + 3d \leq c_2 + 2c_1$  [mm]  
 za ugaoni stub  $u_0 = 3d \leq c_1 + c_2$  [mm]  
 $c_1, c_2$  dimenzije stuba, kako je prikazano na slici 6.20  
 $v$  videti izraz (6.6).  
 $\beta$  videti 6.4.3 (3), (4) i (5).

**Napomena:** Vrednost  $V_{Rd,max}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je  $0,5v f_{cd}$ .

- (4) Kontrolni obim na kojem nije potrebna armatura za smicanje usled probijanja,  $u_{out}$  (ili  $u_{out,ef}$ , videti sliku 6.22), treba sračunati iz izraza (6.54):

$$u_{out,ef} = \beta V_{Ed} / (v_{Rd,c} d) \quad (6.54)$$

Najudaljeniji obim armature za smicanje treba da bude na rastojanju koje nije veće od  $kd$  unutar  $u_{out}$  (ili  $u_{out,ef}$ , videti sliku 6.22).



**Slika 6.22: Kontrolni obimi na unutrašnjim stubovima**

**Napomena:** Vrednost  $k$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je  $1,5$ .

- (5) Za drugačije, patentirane oblike armature za smicanje,  $V_{Rd,cs}$  treba odrediti ispitivanjem, u skladu sa odgovarajućim ETA. Videti i 9.4.3.

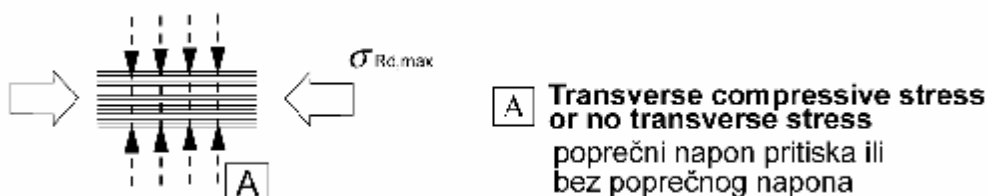
## 6.5 PRORAČUN KORIŠĆENJEM MODELA SA PRITISNUTIM ŠTAPOVIMA I ZATEGAMA

### 6.5.1 OPŠTA ODREDBA

- (1)P U slučajevima nelinearne raspodele dilatacija (na primer, na osloncima, u zoni koncentrisanih sila ili ravnih stanja napona), za proračun mogu da se koriste modeli sa pritisnutim štapovima i zategama (*strut-and-tie models*) (videti i 5.6.4).

### 6.5.2 PRITISNUTI ŠTAPOVI

(1) Proračunska čvrstoća pritisnutog betonskog štapu u zoni u kojoj deluju poprečni naponi pritiska, ili nema poprečnih napona, može da se sračuna iz izraza (6.55) (videti sliku 6.23).

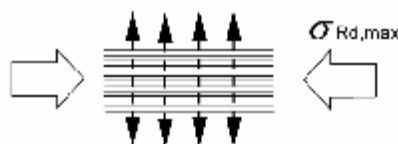


**Slika 6.23: Proračunska čvrstoća pritisnutih betonskih štapova bez poprečnog zatezanja**

$$\sigma_{Rd,max} = f_{cd} \quad (6.55)$$

U zonama u kojima deluje višeaksijalni pritisak može da bude opravdano da se pretpostavi veća proračunska čvrstoća.

(2) Proračunska čvrstoća pritisnutih betonskih štapova treba da se smanji u pritisnutim zonama sa prslinama, posebno podužnim. Ako se ne koristi precizniji proračun, proračunska čvrstoća može da se sračuna iz izraza (6.56) (videti sliku 6.24).



**Slika 6.24: Proračunska čvrstoća pritisnutih betonskih štapova sa poprečnim zatezanjem**

$$\sigma_{Rd,max} = 0,6v f_{cd} \quad (6.56)$$

**Napomena:** Vrednost  $v$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost data je izrazom (6.57N).

$$v = 1 - f_{ck} / 250 \quad (6.57N)$$

(3) Za pritisnute štapove između direktno opterećenih površina, kao što je slučaj kod kratkih elemenata ili visokih greda malog raspona (visoki nosači) (*deep beams*), alternativne metode proračuna date su u 6.2.2 i 6.2.3.

### 6.5.3 ZATEGE

(1) Proračunska čvrstoća pri zatezanju transverzalnih zatega (*ties*) i armature treba da se ograniči, prema 3.2 i 3.3.

(2) Armatura treba da bude adekvatno ankerovana u čvorovima.

(3) U koncentrisanim čvorovima (*concentrated nodes*) potrebna armatura za uravnoteženje sila u čvoru može da se rasporedi na izvesnoj dužini (videti slike 6.25 a) i 6.25 b)).

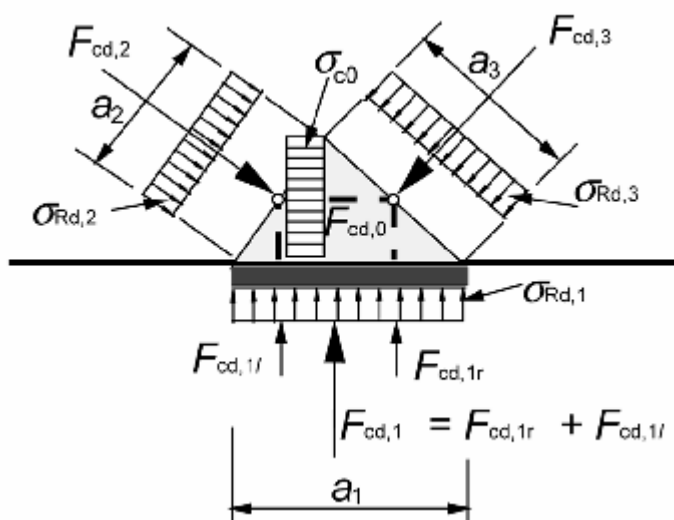


- a) u pritisnutim čvorovima (*compression nodes*) u kojima nema zatega ankerovanih u čvoru (videti sliku 6.26):

$$\sigma_{Rd,max} = k_1 v f_{cd} \quad (6.60)$$

gde je  $\sigma_{Rd,max}$  maksimalni napon koji može da deluje na stranama čvora. Videti 6.5.2 (2) za definiciju  $v$ .

**Napomena:** Vrednost  $k_1$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **1,0**.

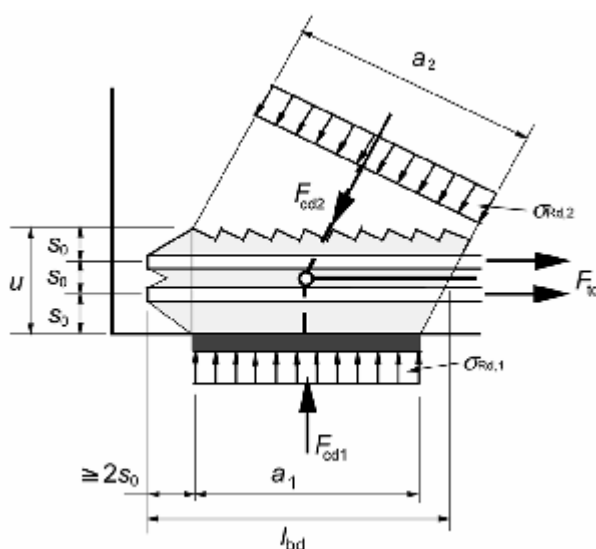


Slika 6.26: Pritisnuti čvor bez zatega

- b) u čvorovima u kojima ima i pritisnutih i zategnutih elemenata (pritisnuto-zategnuti čvorovi), u kojima su zatege ankerovane samo u jednom pravcu (*compression - tension nodes with anchored ties in one direction*), (videti sliku 6.27):

$$\sigma_{Rd,max} = k_2 v f_{cd} \quad (6.61)$$

gde je  $\sigma_{Rd,max}$  veća od vrednosti  $\sigma_{Rd,1}$  i  $\sigma_{Rd,2}$ . Videti 6.5.2 (2) za definiciju  $v$ .



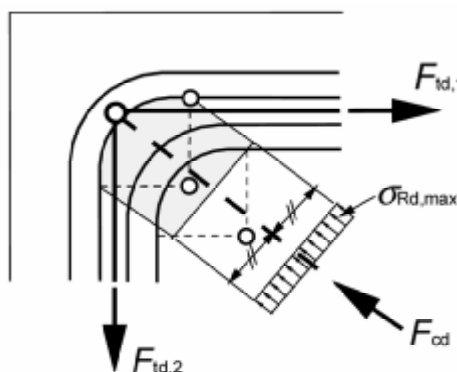
Slika 6.27: Pritisnuto-zategnuti čvor sa armaturom za zategu samo u jednom pravcu

**Napomena:** Vrednost  $k_2$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **0,85**.

c) u pritisnuto-zategnutim čvorovima, sa zategama ankerovanim u više nego jednom pravcu (*compression - tension nodes with anchored ties in more than one direction*), (videti sliku 6.28):

$$\sigma_{Rd,max} = k_3 v' f_{cd} \quad (6.62)$$

**Napomena:** Vrednost  $k_3$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **0,75**.



**Slika 6.28: Pritisnuto-zategnuti čvor sa armaturom za zatege u dva pravca**

(5) Pod uslovima navedenim u daljem tekstu, vrednosti proračunskih napona pritiska datih u 6.5.4 (4) mogu da se povećaju za najviše **10%**, ako je ispunjen bar jedan od sledećih zahteva:

- čvor je sigurno izložen triaksijalnoj kompresiji,
- svi uglovi između pritisnutih štapova i zatega su  $\geq 55^\circ$ ,
- naponi koji deluju na osloncima ili na mestima dejstva koncentrisanih sila su jednako podeljeni (*uniform*), a čvor je utegnut uzengijama,
- armatura je raspoređena u više slojeva,
- čvor je pouzdano utegnut odgovarajućom dispozicijom ležišta ili trenjem.

(6) Triaksijalno pritisnuti čvorovi (*triaxially compressed nodes*) mogu da se proračunaju prema izrazima (3.24) i (3.25), sa  $\sigma_{Rd,max} \leq k_4 v' f_{cd}$ , ako je za sva tri pravca pritisnutih štapova poznat raspored opterećenja.

**Napomena:** Vrednost  $k_4$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **3,0**.

(7) Ankerovanje armature u pritisnuto-zategnutim čvorovima počinje na početku čvora, na primer, u slučaju oslonca ankerovanje počinje na njegovoj unutrašnjoj ivici (videti sliku 6.27). Dužina ankerovanja treba da obuhvati ukupnu dužinu čvora. U izvesnim slučajevima armatura može da se ankeruje i iza čvora. Za ankerovanje i savijanje armature videti 8.4 do 8.6.

(8) Pritisnuti čvorovi u ravni, u kojima se spajaju tri pritisnuta štapa, mogu da se proračunaju prema slici 6.26. Maksimalni srednji glavni naponi u čvoru ( $\sigma_{c0}$ ,  $\sigma_{c1}$ ,  $\sigma_{c2}$ ,  $\sigma_{c3}$ ) treba da se provere prema 6.5.4 (4) a). Normalno može da se pretpostavi da je:  $F_{cd,1}/a_1 = F_{cd,2}/a_2 = F_{cd,3}/a_3$ , odakle sledi  $\sigma_{cd,1} = \sigma_{cd,2} = \sigma_{cd,3} = \sigma_{cd,0}$ .

(9) Čvorovi na mestima savijanja armature mogu da se analiziraju prema slici 6.28. Srednji naponi u pritisnutim štapovima treba da se provere prema 6.5.4 (5). Prečnik valjka za savijanje armature treba da se proveri prema 8.3.

## 6.6 ANKEROVANJE I NASTAVLJANJE PREKLAPANJEM

(1)P Proračunski napon prijanjanja (*design bond stress*) ograničen je na vrednost koja zavisi od karakteristika površine armature, čvrstoće betona pri zatezanju i utezanja okolnog betona. Utezanje zavisi od zaštitnog sloja betona, poprečne (transverzalne) armature i poprečnog pritiska.

(2) Dužina za prenošenje potrebne sile zatezanja pri ankerovanju ili nastavljanju armature preklapanjem sračunava se uz pretpostavku da je napon prijanjanja na toj dužini konstantan.

(3) Pravila za za proračun i konstrukcijske detalje armature pri ankerovanju i nastavljanju preklapanjem data su u 8.4 do 8.8.

## 6.7 LOKALNO OPTEREĆENJE

(1)P Za lokalno opterećene površine koncentrisanim silama ili silama raspodeljenim na maloj površini (lokalni naponi) (*partially loaded areas*), moraju da se uzmu u obzir mogućnost lokalnog loma usled drobljenja (*crushing*) betona (videti dalji tekst) i poprečne sile zatezanja (videti 6.5).

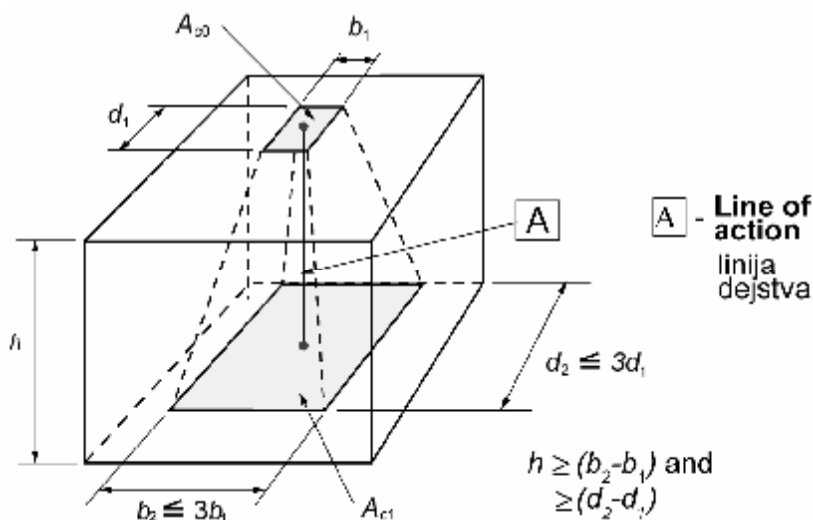
(2) Za jednako podeljeno lokalno opterećenje koje deluje na površini  $A_{c0}$  (videti sliku 6.29), granična sila pritiska (*concentrated resistance force*) može da se odredi prema izrazu:

$$F_{Rdu} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{A_{c1} / A_{c0}} \leq 3,0 \cdot f_{cd} \cdot A_{c0} \quad (6.63)$$

gde je:

$A_{c0}$  lokalno opterećena površina

$A_{c1}$  maksimalna proračunska površina na koju može da se raspodeli opterećenje (*maximum design distribution area*), čiji je oblik sličan sa  $A_{c0}$ .



Slika 6.29: Proračunska raspodela opterećenja za lokalno opterećene površine

(3) Proračunska površina za raspodelu  $A_{c1}$  za graničnu silu pritiska  $F_{Rdu}$ , treba da zadovolji sledeće uslove:

- visina u pravcu opterećenja do proračunske površine  $A_{c1}$  na kojoj se sila raspodeljuje treba da odgovara uslovima prikazanim na slici 6.29
- središte proračunske površine  $A_{c1}$  treba da bude na pravcu dejstva sile kroz središte lokalno opterećene površine  $A_{c0}$
- ako postoji više od jedne sile pritiska koja deluje na poprečni presek betona, proračunske površine raspodele ne treba da se preklapaju.

Vrednost  $F_{Rdu}$  treba da se smanji ako opterećenje nije jednako podeljeno na površini  $A_{c0}$  ili ako postoje velike sile smicanja.

(4) Treba da se obezbedi armatura za silu zatezanja usled uticaja lokalnog dejstva.

## 6.8 ZAMOR

### 6.8.1 USLOVI ZA PROVERU

(1)P Nosivost konstrukcija na zamor (*resistance of structures to fatigue*) u specijalnim slučajevima mora da se dokaže. Taj proračun mora da se sprovede posebno za beton a posebno za čelik.

(2) Proračun na zamor potreban je za konstrukcije i za elemente konstrukcija koji su izloženi redovno ponavljanim ciklusima opterećenja (na primer, kranske staze, mostovi izloženi velikim saobraćajnim opterećenjima).

### 6.8.2 SILE U PRESEKU I NAPONI ZA PRORAČUN NA ZAMOR

(1)P Proračun napona mora da se zasniva na pretpostavci da su poprečni preseki u stanju prslina, zanemarujući čvrstoću betona pri zatezanju ali zadovoljavajući kompatibilnost dilatacija.

(2)P Uticaj različitih svojstava prijanjanja čelika za prethodno naprezanje i armature sa betonom mora da se uzme u obzir povećanjem varijacije napona u armaturi, sračunate pod pretpostavkom idealnog prijanjanja betona i armature, sa koeficijentom  $\eta$  datim izrazom:

$$\eta = \frac{A_s + A_p}{A_s + A_p \sqrt{\xi (\varnothing_s / \varnothing_p)}} \quad (6.64)$$

gde je:

$A_s$  površina armature

$A_p$  površina kabla ili kablova za prethodno naprezanje

$\varnothing_s$  najveći prečnik armature

$\varnothing_p$  prečnik ili ekvivalentni prečnik čelika za prethodno naprezanje

$\varnothing_p = 1,6 \sqrt{A_p}$  za svežnjeve (*bundles*) kablova za prethodno naprezanje

$\varnothing_p = 1,75 \varnothing_{\text{wire}}$  za pojedinačnu užad od 7 žica (*single 7 wire strands*)

$\varnothing_p = 1,20 \varnothing_{\text{wire}}$  za pojedinačnu užad od 3 žice (*single 3 wire strands*)

$\xi$  odnos čvrstoće prijanjanja kablova sa betonom za prethodno naprezanje i rebraste armature. Taj odnos je predmet odgovarajućeg ETA. Ako se tim vrednostima ne raspolaže, mogu da se koriste vrednosti date u tabeli 6.2.

**Tabela 6.2: Odnos čvrstoće prijanjanja sa betonom,  $\xi$ , kablova za prethodno naprezanje i armature**

Čelik za prethodno naprezanje	$\xi$		
	prethodno zatezanje	naknadno zatezanje sa prijanjanjem	
		$\leq C 50/60$	$\geq C 70/85$
glatke šipke i žice	ne važi	0,3	0,15
užad	0,6	0,5	0,25
uzubljene ( <i>indented</i> ) žice	0,7	0,6	0,3
rebraste šipke	0,8	0,7	0,35

**Napomena:** Za međuvrednosti između C 50/60 i C70/85 može da se koristi interpolacija.

(3) U proračunu armature za smicanje nagib pritisnutih štapova  $\theta_{fat}$  može da se sračuna koristeći model pritisnutih štapova i zatega ili prema izrazu (6.65):

$$\text{tg } \theta_{fat} = \sqrt{\text{tg } \theta} \leq 1,0 \quad (6.65)$$

gde je:

$\theta$  ugao pritisnutih betonskih štapova u odnosu na osu grede koji je pretpostavljen u proračunu za GSN (videti 6.2.3).

### 6.8.3 KOMBINACIJE DEJSTAVA

(1)P Za proračun varijacije napona (*stress ranges*), dejstva na konstrukciju moraju da se podele na dejstva koja nisu ciklična (*non-cyclic*) i na ciklična dejstva koja izazivaju zamor (veliki broj ponavljanja opterećenja) (*fatigue-inducing cyclic actions*).

(2)P Osnovna kombinacija za neciklično opterećenje slična je definiciji kombinacije za česta opterećenja za GSU:

$$E_d = E \{ G_{k,j}; P; \psi_{1,1} Q_{k,1}; \psi_{2,i} Q_{k,i} \} \quad j \geq 1; \quad i > 1 \quad (6.66)$$

Kombinacija dejstava u velikoj zagradi  $\{ \}$ , (koja se naziva osnovna kombinacija) (*basic combination*), može da se izrazi kao:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \text{ "+" } P \text{ "+" } \psi_{1,1} Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{j \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.67)$$

**Napomena:**  $Q_{k,1}$  i  $Q_{k,i}$  su neciklična dejstva koja nisu stalna (*non/permanent*).

(3)P Ciklično dejstvo mora da se kombinuje sa nepovoljnom osnovnom kombinacijom:

$$E_d = E \{ \{ G_{k,j}; P; \psi_{1,1} Q_{k,1}; \psi_{2,i} Q_{k,i} \}; Q_{fat} \} \quad j \geq 1; \quad i > 1 \quad (6.68)$$

Kombinacija dejstava u velikoj zagradi  $\{ \}$ , (koja se naziva osnovna kombinacija plus ciklično dejstvo) (*basic combination plus the cyclic action*), može da se izrazi kao:

$$\left( \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \text{ "+" } P \text{ "+" } \psi_{1,1} Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i)1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \right) \text{ "+" } Q_{fat} \quad (6.69)$$

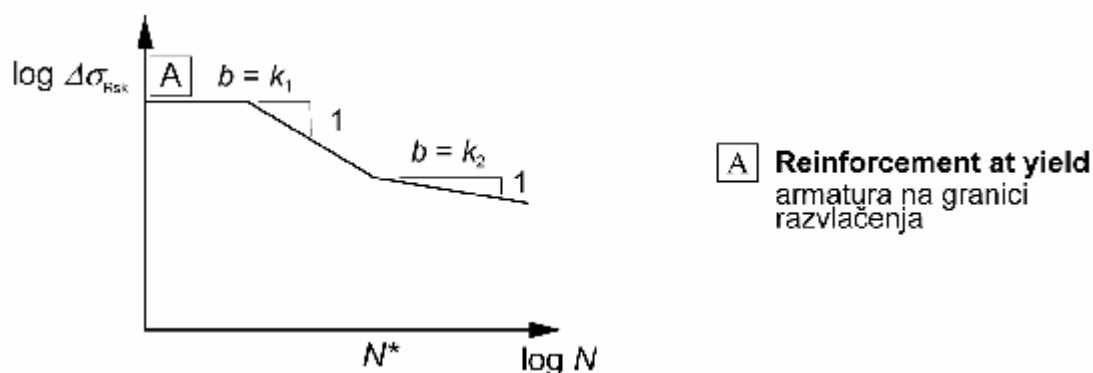
gde je:

$Q_{fat}$  opterećenje na zamor čiji se uticaj analizira (na primer, saobraćajno opterećenje, kako je definisano u EN 1991, ili drugo ciklično opterećenje).

#### 6.8.4 POSTUPAK PRORAČUNA ARMATURE I ČELIKA ZA PRETHODNO NAPREZANJE

(1) Nepovoljno dejstvo zamora (oštećenje od zamora) (pad čvrstoće pri zatezanju) (*fatigue damage*), koje izaziva ciklično opterećenje sa konstantnom amplitudom  $\Delta\sigma$ , može da se odredi koristeći odgovarajuće S-N krive (slika 6.30) za armaturu i za čelik za prethodno naprezanje. Aplicirano opterećenje treba da se pomnoži sa  $\gamma_{F,fat}$ . Preostali opseg varijacije napona posle  $N^*$  ciklusa (*resisting stress range at  $N^*$  cycles*)  $\Delta\sigma_{Rsk}$ , koji se tako dobija, treba da se подели sa parcijalnim koeficijentom sigurnosti  $\gamma_{S,fat}$ .

**Napomena 1:** Vrednost  $\gamma_{F,fat}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je 1,0.



**Slika 6.30: Oblik karakteristične krive čvrstoće pri zamoru (S-N krive za armaturu i za čelik za prethodno naprezanje)**

**Napomena 2:** Vrednosti parametara za S-N krive za armaturu i za čelik za prethodno naprezanje, koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti date su u tabeli 6.3N i 6.4N za armaturu, odnosno za čelik za prethodno naprezanje.

**Tabela 6.3N: Parametri za S-N krive za armaturu**

Vrsta armature	$N^*$	eksponent za napone		$\Delta\sigma_{Rsk}$ [Mpa] posle $N^*$ ciklusa
		$k_1$	$k_2$	
Prave i savijene šipke <sup>1</sup>	$10^8$	5	9	162,5
Zavarene šipke i armaturne mreže <sup>2</sup>	$10^7$	3	5	58,5
Uređaji za nastavljjanje (nastavci) ( <i>splicing devices</i> )	$10^7$	3	5	35

**Napomena:** Vrednosti za  $\Delta\sigma_{Rsk}$  su vrednosti za prave šipke. Vrednosti za savijene šipke dobijaju se korišćenjem redukcionog faktora  $\zeta = 0,35 + 0,026 D/\emptyset$   
gde je:  
 $D$  prečnik valjka oko kojeg je šipka savijena  
 $\emptyset$  prečnik šipke

Tabela 6.4N: Parametri za S-N krive za čelik za prethodno naprezanje

S-N krive za čelik za prethodno naprezanje koji se koristi za	$N^*$	eksponent za napone		$\Delta\sigma_{Rsk}$ [MPa] posle $N^*$ ciklusa
		$k_1$	$k_2$	
prethodno zatezanje	$10^8$	5	9	185
naknadno zatezanje				
– pojedinačna užad ( <i>single strands</i> ) u plastičnim cevima	$10^6$	5	9	185
– pravi kablovi ili zakrivljeni kablovi u plastičnim cevima	$10^6$	5	10	150
– zakrivljeni kablovi u čeličnim cevima	$10^6$	5	7	120
– nastavci (uređaji za nastavljajanje) ( <i>splicing devices</i> )	$10^6$	5	5	80

(2) Za ciklična opterećenja sa različitim amplitudama (*multiple cycles with variable amplitudes*) oštećenje od zamora može da se odredi sumiranjem, koristeći Palmgren-Minerovo pravilo (*Palmgren-Miner Rule*). Na osnovu tog pravila koeficijent oštećenja od zamora (*fatigue damage factor*)  $D_{Ed}$  čelika, usled odgovarajućih opterećenja na zamor, treba da zadovolji uslov:

$$D_{Ed} = \sum_i \frac{n(\Delta\sigma_i)}{N(\Delta\sigma_i)} < 1 \quad (6.70)$$

gde je:

$n(\Delta\sigma_i)$  broj ciklusa sa varijacijom napona  $\Delta\sigma_i$  kojima je element bio izložen  
 $N(\Delta\sigma_i)$  preostali broj ciklusa do loma za varijaciju napona  $\Delta\sigma_i$ .

(3)P Ako su čelik za prethodno naprezanje ili armatura izloženi opterećenjima na zamor, sračunati naponi ne smeju da prekorače proračunsku granicu razvlačenja čelika.

(4) Granica razvlačenja treba da se proveriti ispitivanjem pri zatezanju čelika koji se koristi.

(5) Kada se odredbe iz 6.8 koriste za ocenu preostalog eksploatacionog veka (*remaining life*) postojećih konstrukcija, ili za utvrđivanje potrebe za ojačanjem (*strengthening*), ako je proces korozije već započeo, varijacija napona može da se odredi redukovanjem eksponenta napona  $k_2$  za prave i za savijene šipke.

**Napomena:** Vrednost  $k_2$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je 5.

(6)P Amplituda napona zavarenih šipki nikada ne sme da bude veća od amplituda napona za prave i za savijene šipke.

### 6.8.5 PRORAČUN NA OSNOVU AMPLITUDE NAPONA ZA EKVIVALENTNO OŠTEĆENJE OD ZAMORA

(1) Umesto eksplicitnog proračuna oštećenja od zamora prema 6.8.4, provera dejstva zamora za standardne slučajeve sa poznatim opterećenjima (železnički i drumski mostovi) može da se sprovede na sledeći način:

- za čelik, proračunom amplitude napona za ekvivalentno oštećenje od zamora, prema 6.8.5 (3)

- za beton, proračunom varijacije napona pri pritisku za ekvivalentno oštećenje od zamora, prema 6.8.7.

(2) Metoda amplitude napona za ekvivalentno oštećenje od zamora (*Method of damage equivalent stress range*), sastoji se u predstavljanju stvarne varijacije opterećenja na zamor sa  $N^*$  ciklusa varijacije napona sa konstantnom amplitudom. U EN 1992-2 dati su odgovarajući modeli za opterećenja na zamor i postupci za proračun ekvivalentne amplitude napona  $\Delta\sigma_{S, \text{equ}}$  za kolovozne konstrukcije drumskih i železničkih mostova.

(3) Za armaturu, ili za čelik za prethodno naprezanje i uređaje za nastavljanje kablova, može da se pretpostavi da je nosivost na zamor adekvatna ako je zadovoljen izraz (6.71):

$$\gamma_{F, \text{fat}} \cdot \Delta\sigma_{S, \text{equ}}(N^*) \leq \frac{\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)}{\gamma_{S, \text{fat}}} \quad (6.71)$$

gde je:

$\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)$  amplituda napona za  $N^*$  ciklusa prema odgovarajućoj S-N krivi, prikazanoj na slici 6.30.

**Napomena:** Videti i tabele 6.3N i 6.4N.

$\Delta\sigma_{S, \text{equ}}(N^*)$  amplituda napona za ekvivalentno oštećenje od zamora za različite vrste armature, uzimajući u obzir broj ciklusa opterećenja  $N^*$ . Za uobičajene konstrukcije zgrada  $\Delta\sigma_{S, \text{equ}}(N^*)$  može da se aproksimira sa  $\Delta\sigma_{S, \text{max}}$

$\Delta\sigma_{S, \text{max}}$  maksimalna amplituda napona u čeliku za merodavnu kombinaciju opterećenja.

### 6.8.6 DRUGI PRORAČUNI

(1) Može da se pretpostavi da je nosivost na zamor nezavarenih šipki zategnute armature adekvatna ako je amplituda varijacije napona od čestog cikličnog opterećenja, kombinovanog sa osnovnom kombinacijom,  $\Delta\sigma_S \leq k_1$ .

**Napomena:** Vrednost  $k_1$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **70 MPa**.

Za zavarene zategnute šipke armature može da se smatra da imaju adekvatnu nosivost na zamor ako je amplituda varijacije napona od čestog opterećenja, kombinovanog sa osnovnom kombinacijom,  $\Delta\sigma_S \leq k_2$ .

**Napomena:** Vrednost  $k_2$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **35 MPa**.

(2) Kao uprošćenje odredbe (1) u prethodnom tekstu, proračun može da se sprovede za čestu kombinaciju opterećenja. Ako je taj uslov zadovoljen nisu potrebne dalje provere.

(3) Kada se koriste zavareni spojevi ili uređaji za nastavljanje u prethodno napregnutom betonu, pri čestoj kombinaciji opterećenja sa srednjom vrednošću sile prethodnog naprezanja,  $P_m$ , redukovanom sa koeficijentom  $k_3$ , u betonskom preseku ne treba da budu naponi zatezanja u zoni **200 mm** oko kablova za prethodno naprezanje ili oko armature.

**Napomena:** Vrednost  $k_3$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **0,9**.

### 6.8.7 PRORAČUN BETONA PRI PRITISKU ILI PRI SMICANJU

(1) Može se smatrati da je čvrstoća na zamor pritisnutog betona zadovoljavajuća ako je ispunjen sledeći uslov:

$$E_{cd,max,equ} + 0,43 \sqrt{1 - R_{equ}} \leq 1 \quad (6.72)$$

gde je:

$$R_{equ} = \frac{E_{cd,min,equ}}{E_{cd,max,equ}} \quad (6.73)$$

$$E_{cd,min,equ} = \frac{Q_{cd,min,equ}}{f_{cd,fat}} \quad (6.74)$$

$$E_{cd,max,equ} = \frac{Q_{cd,max,equ}}{f_{cd,fat}} \quad (6.75)$$

gde je:

$R_{equ}$	odnos napona
$E_{cd,min,equ}$	minimalni nivo napona pritiska
$E_{cd,max,equ}$	maksimalni nivo napona pritiska
$f_{cd,fat}$	proračunska čvrstoća na zamor betona prema (6.76)
$\sigma_{cd,max,equ}$	gornji napon granične amplitude za $N$ ciklusa
$\sigma_{cd,min,equ}$	donji napon granične amplitude za $N$ ciklusa.

**Napomena:** Vrednost  $N$  ( $\leq 10^6$  ciklusa), koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je  $N = 10^6$  ciklusa.

$$f_{cd,fat} = k_1 \beta_{cc}(t_0) f_{cd} \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] \quad (6.76)$$

gde je:

$\beta_{cc}(t_0)$	koeficijent za čvrstoću betona pri prvom opterećenju (videti 3.1.2(6))
$t_0$	starost betona na početku cikličnog opterećenja betona u danima.

**Napomena:** Vrednost  $k_1$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost za  $N = 10^6$  ciklusa je **0,85**.

(2) Može da se smatra da beton ima potrebnu nosivost na zamor pri pritisku ako je ispunjen sledeći uslov:

$$\frac{\sigma_{c,max}}{f_{cd,fat}} \leq 0,5 + 0,45 \frac{\sigma_{c,min}}{f_{cd,fat}} \quad (6.77)$$

$$\begin{aligned} &\leq 0,9 \quad \text{za } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \\ &\leq 0,8 \quad \text{za } f_{ck} > 50 \text{ MPa} \end{aligned}$$

gde je:

$\sigma_{c,max}$	maksimalni napon pritiska u nekom vlaknu preseka za čestu kombinaciju opterećenja (pozitivan je pritisak)
$\sigma_{c,min}$	minimalni napon pritiska u istom vlaknu preseka u kojem deluje i $\sigma_{c,max}$ . Ako je $\sigma_{c,min}$ zatezanje treba da se uzme da je $\sigma_{c,min} = 0$ .

(3) Izraz (6.77) važi i za pritisnute štapove elemenata opterećenih na smicanje. U tom slučaju čvrstoća betona  $f_{cd,fat}$  treba da se smanji sa koeficijentom redukcije čvrstoće (videti 6.2.2 (6)).

(4) Za konstrukcijske elemente u kojima nije potrebna proračunska armatura za smicanje za granično stanje nosivosti, može da se pretpostavi da beton ima odgovarajuću nosivost na zamor od uticaja smicanja kada su ispunjeni sledeći uslovi:

$$- \text{ za } \frac{V_{Ed,min}}{V_{Ed,max}} \geq 0:$$

$$\frac{|V_{Ed,max}|}{|V_{Rd,c}|} \leq 0,5 + 0,45 \frac{|V_{Ed,min}|}{|V_{Rd,c}|} \begin{cases} \leq 0,9 \text{ za } \leq \text{C50/60} \\ \leq 0,8 \text{ za } \geq \text{C55/67} \end{cases} \quad (6.78)$$

$$- \text{ za } \frac{V_{Ed,min}}{V_{Ed,max}} < 0:$$

$$\frac{|V_{Ed,max}|}{|V_{Rd,c}|} \leq 0,5 - \frac{|V_{Ed,min}|}{|V_{Rd,c}|} \quad (6.79)$$

gde je:

- $V_{Ed,max}$  proračunska vrednost maksimalne sile smicanja za čestu kombinaciju opterećenja
- $V_{Ed,min}$  proračunska vrednost minimalne sile smicanja za čestu kombinaciju opterećenja u istom poprečnom preseku u kojem deluje i  $V_{Ed,max}$
- $V_{Rd,c}$  proračunska vrednost nosivosti pri smicanju prema izrazu (6.2.a).

## GLAVA 7

# GRANIČNA STANJA UPOTREBLJIVOSTI (GSU)

### 7.1 OPŠTE ODREDBE

(1)P U ovoj glavi obuhvaćena su uobičajena granična stanja upotrebljivosti - GSU (*serviceability limit states - SLS*). Ta stanja su:

- ograničenje napona (*stress limitation*) (videti 7.2)
- kontrola prslina (*crack control*) (videti 7.3)
- kontrola ugiba (*deflection control*) (videti 7.4).

Druga granična stanja upotrebljivosti (na primer, vibracije), mogu da budu od značaja za pojedine konstrukcije ali ona nisu obuhvaćena ovim standardom.

(2) U proračunu napona i ugiba može da se pretpostavi da su poprečni preseći bez prslina (*uncracked*) ako naponi zatezanja pri savijanju nisu veći od  $f_{ct,eff}$ . Za vrednost  $f_{ct,eff}$  može da se uzme  $f_{ctm}$  ili  $f_{ctm,fl}$ , pod uslovom da se za proračun minimalne površine zategnute armature koristi ista vrednost. Za proračun širine prslina (*crack widths*) i sudejstva zategnutog betona (*tension stiffening*) treba da se koristi  $f_{ctm}$ .

### 7.2 OGRANIČENJE NAPONA

(1)P Napon pritiska u betonu mora da se ograniči da bi se izbegle podužne prsline, mikro-prsline ili veliko tečenje betona, kada bi te pojave mogle da izazovu neprihvatljive uticaje na funkciju konstrukcije.

(2) Podužne prsline (*longitudinal cracks*) 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 pritisnutoj 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  $k_1 f_{ck}$  (videti tabelu 4.1).

**Napomena:** Vrednost  $k_1$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **0,6**.

(3) 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 da se uzme u obzir nelinearno tečenje (videti 3.1.4).

**Napomena:** Vrednost  $k_2$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **0,45**.

(4)P Naponi zatezanja u armaturi moraju da se ograniče da bi se izbegla neelastična dilatacija (*inelastic strain*) i neprihvatljive veličine prslina ili deformacija.

(5) Može da se pretpostavi da veličina prslina u betonu ili deformacija neće biti neprihvatljiva ako napon zatezanja u armaturi za karakterističnu kombinaciju opterećenja ne prekorači  $k_3 f_{yk}$ . Kada je napon posledica prinudne deformacije, napon zatezanja u armaturi ne treba da bude veći od  $k_4 f_{yk}$ . Srednja vrednost napona u kablovima za prethodno naprezanje ne treba da bude veća od  $k_5 f_{pk}$ .

**Napomena:** Vrednosti  $k_3$ ,  $k_4$  i  $k_5$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti su  $k_3 = 0,8$ ,  $k_4 = 1$  i  $k_5 = 0,75$ .

## 7.3 KONTROLA PRSLINA

### 7.3.1 OPŠTA RAZMATRANJA

**(1)P** Prsline moraju da se ograniče na veličinu koja neće nepovoljno da utiče na ispravno funkcionisanje ili trajnost konstrukcije, niti da učini da izgled konstrukcije bude neprihvatljiv.

**(2)** Pojava prslina je normalna u armiranobetonskim konstrukcijama izloženim savijanju, smicanju, torziji ili zatezanju, bilo od direktnih opterećenja ili sprečenih ili prinudnih deformacija.

**(3)** Prsline mogu da nastanu i usled drugih uzroka, kao što su plastično skupljanje ili ekspanzivne hemijske reakcije u očvrslom betonu. Takve prsline mogu biti neprihvatljivo velike ali je način da se one izbegnu i kontrolišu izvan opsega ovog poglavlja.

**(4)** Kada ne ometaju funkcionisanje konstrukcije, prsline u betonu mogu da se dozvole i nisu potrebne nikakve mere za kontrolu njihove širine.

**(5)** Treba da se usvoji granična vrednost računске širine prsline,  $w_{max}$ , vodeći računa o predviđenoj nameni i prirodi konstrukcije kao i o koštanju ograničenja prslina.

**Napomena:** Vrednost  $w_{max}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti za odgovarajuće klase izloženosti date su u tabeli 7.1N.

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

Klasa izloženosti	Armiranobetonski i prethodno napregnuti elementi sa kablovima bez prijanjanja sa betonom	Prethodno napregnuti elementi sa kablovima sa prijanjanjem
	Kvazi-stalna kombinacija opterećenja	Česta kombinacija opterećenja
<b>X0, XC1</b>	0,4 <sup>1</sup>	0,2
<b>XC2, XC3, XC4</b>	0,3	0,2 <sup>2</sup>
<b>XD1, XD2, XS1, XS2, XS3</b>		dekompresija
<p><b>Napomena 1:</b> Za klase izloženosti <b>X0, XC1</b>, širina prsline nema uticaja na trajnost i to ograničenje treba samo da obezbedi prihvatljiv izgled konstrukcije. Ako nema uslova koji se odnose na izgled ovo ograničenje može da se ublaži.</p> <p><b>Napomena 2:</b> Za te klase izloženosti, osim toga, treba da se proverí i dekompresija za kvazi-stalnu kombinaciju opterećenja.</p>		

Ako nema specifičnih zahteva (na primer, vodonepropustljivost), može da se pretpostavi da će ograničenje proračunskih širina prslina za kvazi-stalne kombinacije 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 da se pretpostavi da će ograničenje proračunskih širina prslina za česte kombinacije 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 sa betonom ili cevi za kablove najmanje **25 mm** unutar pritisnutog betona.

**(6)** Za elemente koji su prethodno napregnuti samo kablovima bez prijanjanja, važe zahtevi za armiranobetonske elemente. Za elemente u kojima su kombinovani kablovi sa prijanjanjem i kablovi bez prijanjanja sa betonom, važe zahtevi za prethodno napregnute betonske elemente sa kablovima koji prijanjaju sa betonom.

(7) Posebne mere mogu da budu potrebne za elemente izložene uticajima sredine klase izloženosti **XD3**. Izbor odgovarajućih mera zavisi od prirode agresivnog agensa koji je u pitanju.

(8) Kada se koriste modeli sa pritisnutim štapovima i zategama u kojima su pritisnuti štapi orijentisani prema trajektorijama napona pritiska u stanju bez prslina, iz sila u zategama mogu da se odrede odgovarajući naponi zatezanja u čeliku radi određivanja širine prslina (videti 5.6.4 (2)).

(9) Širine prslina (*crack widths*) mogu da se sračunaju prema 7.3.4. Uprošćena alternativa je da se ograniči prečnik ili rastojanje šipki armature, prema 7.3.3.

### 7.3.2 MINIMALNE POVRŠINE ARMATURE

(1)P Kada se zahteva kontrola prslina, u zonama u kojima se očekuje zatezanje potrebna je minimalna površina armature sa prijanjanjem sa betonom. Ta površina može da se odredi iz uslova ravnoteže sile zatezanja u betonu, neposredno pre pojave prslina (*cracking*), i sile zatezanja u armaturi na granici razvlačenja, ili pri nižem naponu, ukoliko je potrebno da se ograniči širina prslina.

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

$$A_{s,min} \sigma_s = k_c k f_{ct,eff} A_{ct} \quad (7.1)$$

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 prslina (*before formation of the first crack*)
- $\sigma_s$  apsolutna vrednost maksimalnog dopuštenog napona u armaturi neposredno posle pojave prslina (*after formation of the crack*). Za tu vrednost može da se uzme granica razvlačenja armature  $f_{yk}$ . Međutim, niži napon može da bude potreban da bi se zadovoljili uslovi ograničenja širine prslina prema predviđenom maksimalnom prečniku ili rastojanju šipki armature (videti 7.3.3 (2))
- $f_{ct,eff}$  srednja vrednost efektivne čvrstoće betona pri zatezanju u trenutku pojave prvih prslina:  
 $f_{ct,eff} = f_{ctm}$  ili manje, ( $f_{ctm}(t)$ ), ukoliko se prslina 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 prslina, 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:

$$k_c = 0,4 \cdot \left[ 1 - \frac{\sigma_c}{k_1(h/h^*) f_{ct,eff}} \right] \geq 1 \quad (7.2)$$

– 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:

$\sigma_c$  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 da se odredi uzimajući u obzir karakteristične vrednosti sile prethodnog naprezanja i aksijalne sile za merodavnu kombinaciju dejstava

$$h^* \quad h^* = h \quad \text{za } h < 1,0 \text{ m}$$

$$h^* = 1,0 \text{ m} \quad \text{za } h \geq 1,0 \text{ m}$$

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

$$k_1 = 1,5 \quad \text{ako je } N_{Ed} \text{ sila pritiska}$$

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

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

(3) Može da se pretpostavi da kablovi za prethodno naprezanje koji prijanjaju sa betonom imaju uticaja na kontrolu prsline u zategnutoj zoni na rastojanju  $\leq 150 \text{ mm}$  od ose kabla. Taj uticaj može da se uzme u obzir dodavanjem veličine  $\xi_1 A'_p \Delta \sigma_p$  sa leve strane izraza (7.1),

gde je:

$A'_p$  površina prethodno ili naknadno zategnutih kablova na delu preseka površine  $A_{c,eff}$

$A_{c,eff}$  efektivna površina zategnutog betona oko armature ili kablova za prethodno naprezanje, visine  $h_{c,eff}$ , gde je  $h_{c,eff}$  manja od veličina  $2,5(h-d)$ ,  $(h-x)/3$  ili  $h/2$  (videti sliku 7.1)

$\xi_1$  korigovani odnos čvrstoće prijanjanja sa betonom (*adjusted ratio of bond strength*) kablova za prethodno naprezanje i armature, uzimajući u obzir razlike u prečnicima:

$$= \sqrt{\xi \cdot \frac{\sigma_s}{\sigma_p}} \quad (7.5)$$

$\xi$  odnos čvrstoće prijanjanja sa betonom kablova za prethodno naprezanje i armature, prema tabeli 6.2 u 6.8.2

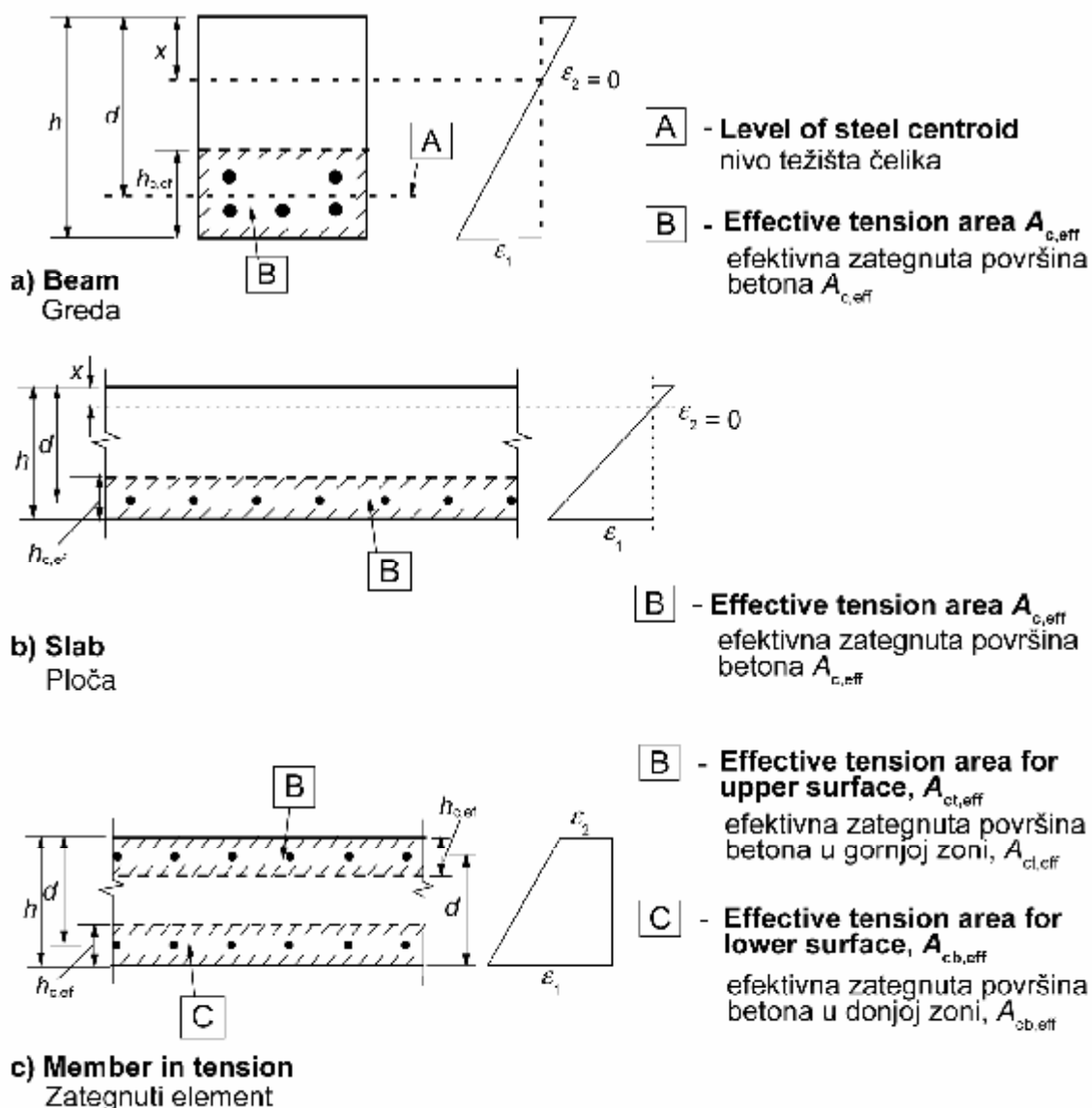
$\sigma_s$  najveći prečnik šipke armature

$\varnothing_p$  ekvivalentni prečnik kabla, prema 6.8.2.

ako se za kontrolu prslina koristi samo čelik za prethodno naprezanje

$$\xi_1 = \sqrt{\xi}$$

$\Delta\sigma_p$  promena napona u kablovima za prethodno naprezanje u odnosu na nulto stanje dilatacija u betonu na istom nivou preseka.



**Slika 7.1: Efektivne površine zategnutog betona (tipični slučajevi)**

(4) U prethodno napregnutim elementima, u presecima u kojima je za karakterističnu kombinaciju opterećenja i karakterističnu vrednost prethodnog naprezanja beton pritisnut, ili je apsolutna vrednost napona zatezanja u betonu manja od  $\sigma_{ct,p}$ , ne zahteva se minimalna površina armature.

**Napomena:** Vrednost  $\sigma_{ct,p}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je  $f_{ct,eff}$ , prema 7.3.2 (2).

### 7.3.3 KONTROLA PRSLINA BEZ DIREKTOG PRORAČUNA

(1) Za armiranobetonske ili prethodno napregnute ploče u zgradama, izložene savijanju bez značajnog aksijalnog zatezanja, posebne mere za kontrolu prslina nisu potrebne kada ukupna debljina ploče nije veća od **200 mm** i kada su ispunjeni zahtevi dati u 9.3.

(2) Proračun širine prslina, dat u 7.3.4, može da se uprosti i prikaže u obliku tabela, uz ograničavanje prečnika ili rastojanja šipki.

**Napomena:** Kada je obezbeđena minimalna površina armature prema 7.3.2, može da se očekuje da širine prslina neće da budu 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  $\sigma_s$  u izrazu (7.1)),
- da su za prsline koje nastaju pretežno usled opterećenja ispunjeni zahtevi iz tabele 7.2N ili tabele 7.3N. Naponi u čeliku treba da se sračunaju za merodavnu kombinaciju dejstava u preseku u stanju sa prslinama.

Za betonske elemente sa prethodno zategnutim kablovima, kada je kontrola prslina najvećim delom obezbeđena kablovima koji neposredno prijanjaju sa betonom, tabele 7.2N i 7.3N mogu da se koriste sa naponom u čeliku jednakim totalnom naponu, umanjenom za napon od prethodnog zatezanja. Za betonske elemente sa naknadnim zatezanjem, u kojima je kontrola prslina obezbeđena najvećim delom običnom armaturom, tabele mogu da se koriste sa naponom u toj armaturi, sračunatim uzimajući u obzir i uticaje od sila prethodnog naprezanja.

**Tabela 7.2N: Maksimalni prečnik šipki  $\varnothing_s^*$  za kontrolu prslina<sup>1</sup>**

Napon u čeliku <sup>2</sup> [MPa]	Maksimalni prečnik šipke [mm]		
	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	8	5	–

**Napomene:** <sup>1</sup> Vrednosti u tabeli određene su uz sledeće pretpostavke:

$c = 25$  mm;  $f_{ct,eff} = 2,9$  MPa;  $h_{cr} = 0,5$ ;  $(h - d) = 0,1h$ ;  
 $k_1 = 0,8$ ;  $k_2 = 0,5$ ;  $k_c = 0,4$ ;  $k = 1,0$ ;  $k_t = 0,4$  i  $k = 1,0$

<sup>2</sup> Za merodavne kombinacije dejstava

**Tabela 7.3N: Maksimalno rastojanje šipki armature za kontrolu prslina<sup>1</sup>**

Napon u čeliku <sup>2</sup> [MPa]	Maksimalno rastojanje šipki [mm]		
	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	250	100	–
360	100	50	–

**Napomena:** Videti napomene u tabeli 7.2N

## EN 1992-1-1:2004

Maksimalni prečnik šipke treba da se koriguje na sledeći način:

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

$$\varnothing_s = \varnothing_s^* (f_{ct,eff} / 2,9) \frac{k_c h_{cr}}{2(h-d)} \quad (7.6N)$$

- u slučaju zatezanja (aksijalno zatezanje):

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

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 sloja armature do ivice betonskog preseka (ako šipke nisu raspoređene simetrično treba da se uzmu u obzir obe ivice).

**(3)** Grede ukupne visine od **1.000 mm** ili više, u kojima je glavna armatura skoncentrisana samo na malom delu visine preseka, treba da se armiraju dodatnom površinskom armaturom (*skin reinforcement*) da bi se kontrolisale prsline na bočnim stranama grede. Ta armatura treba da se ravnomerno rasporedi između zategnute armature i neutralne ose, duž unutrašnje konture uzengija. Presek površinske armature ne treba da bude manji od površine koja se dobija prema 7.3.2 (2), uzimajući za  $k$  vrednost **0,5** i  $f_{yk}$  umesto  $\sigma_s$ . Rastojanje i pogođan prečnik šipki površinske armature mogu da se dobiju prema 7.3.4 ili odgovarajućem uprošćenju (videti 7.3.2 (2)), pretpostavljajući čisto zatezanje i napon u čeliku jednak polovini vrednosti napona u glavnoj zategnutoj armaturi.

**(4)** Treba imati u vidu da postoji poseban rizik od pojave prsline velike širine u presecima u kojima dolazi do naglih promena napona, na primer:

- na mestima promene poprečnog preseka
- u blizini koncentrisanih opterećenja
- na mestima prekida šipki armature
- u zonama visokih napona prijanjanja betona i čelika, posebno na krajevima nastavaka armature preklapanjem.

U takvim zonama treba obratiti pažnju da se promene napona što više smanje gde god je to moguće. Međutim, pravila za kontrolu prsline koja su data u prethodnom tekstu normalno obezbeđuju adekvatnu kontrolu prsline i u tim zonama, pod uslovom da se zadovolje pravila za konstrukcijske detalje armature i elemenata data u glavama 8 i 9.

**(5)** Može da se pretpostavi da će prsline usled smičućih dejstava biti adekvatno kontrolisane ukoliko se vodi računa o zahtevima za konstrukcijske detalje armature datim u 9.2.2, 9.2.3, 9.3.2 i 9.4.3.

### 7.3.4 PRORAČUN ŠIRINE PRSLINA

**(1)** Karakteristična širina prsline (*crack width*)  $w_k$  može da se sračuna iz izraza:

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad (7.8)$$

gde je:

- $s_{r,max}$  maksimalno rastojanje prslina  
 $\varepsilon_{sm}$  srednja vrednost dilatacije armature za merodavnu kombinaciju opterećenja, uključujući uticaj prinudnih deformacija i sadejstvo zategnutog betona (*tension stiffening*). U obzir se uzima samo dodatna dilatacija zatezanja iznad nulte dilatacije betona u istom nivou preseka  
 $\varepsilon_{cm}$  srednja vrednost dilatacije u betonu između prslina.

(2) Razlika dilatacija  $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$  može da se sračuna iz izraza:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 - \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (7.9)$$

gde je:

- $\sigma_s$  napon u zategnutoj armaturi, sračunat uz pretpostavku da je presek sa prslinom. Za elemente sa prethodno zategnutim kablovima, umesto  $\sigma_s$  može da se uzme promena napona u kablovima za prethodno naprezanje u odnosu na stanje nulte dilatacije u betonu  $\Delta\sigma_p$ , na istom nivou preseka  
 $\alpha_e$  odnos modula elastičnosti  $E_s/E_{cm}$

$$\rho_{p,eff} = (A_s + \xi_1^2 A'_p) / A_{c,eff} \quad (7.10)$$

- $A'_p$  i  $A_{c,eff}$  površine kablova i betona kako su definisane u 7.3.2 (3)  
 $\xi_1$  koeficijent definisan u izrazu (7.5)  
 $k_t$  koeficijent koji zavisi od trajanja opterećenja  
 $k_t = 0,6$  za kratkotrajno opterećenje  
 $k_t = 0,4$  za dugotrajno opterećenje.

(3) U slučajevima kada je armatura koja prijanja sa betonom raspoređena u zoni zatezanja na dovoljno malim rastojanjima,  $\leq 5(c + \emptyset/2)$ , maksimalno konačno rastojanje prslina (*maximum final crack spacing*) može da se sračuna prema izrazu (7.11) (videti sliku 7.2):

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \emptyset / \rho_{p,eff} \quad (7.11)$$

gde je:

- $\emptyset$  prečnik šipke. Kada su u preseku šipke različitih prečnika, treba da se uzme u obzir ekvivalentni prečnik  $\emptyset_{eq}$ . Za presek u kojem je  $n_1$  šipki armature prečnika  $\emptyset_1$  i  $n_2$  šipki prečnika  $\emptyset_2$ , ekvivalentni prečnik dat je izrazom:

$$\emptyset_{eq} = \frac{n_1 \emptyset_1^2 + n_2 \emptyset_2^2}{n_1 \emptyset_1 + n_2 \emptyset_2} \quad (7.12)$$

- $c$  zaštitni sloj betona do podužne armature  
 $k_1$  koeficijent kojim se uzimaju u obzir svojstva prijanjanja betona i armature:  
 $= 0,8$  za šipke sa visokom prionljivošću (*high bond bars*)  
 $= 1,6$  za šipke koje imaju praktično glatku površinu (na primer, kablovi za prethodno naprezanje)  
 $k_2$  koeficijent kojim se uzima u obzir dijagram dilatacija:  
 $= 0,5$  za savijanje  
 $= 1,0$  za čisto zatezanje.

Za slučajeve ekscentričnog zatezanja, ili za lokalne zone, treba da se koriste međuvrednosti  $k_2$ , koje mogu da se sračunaju prema izrazu:

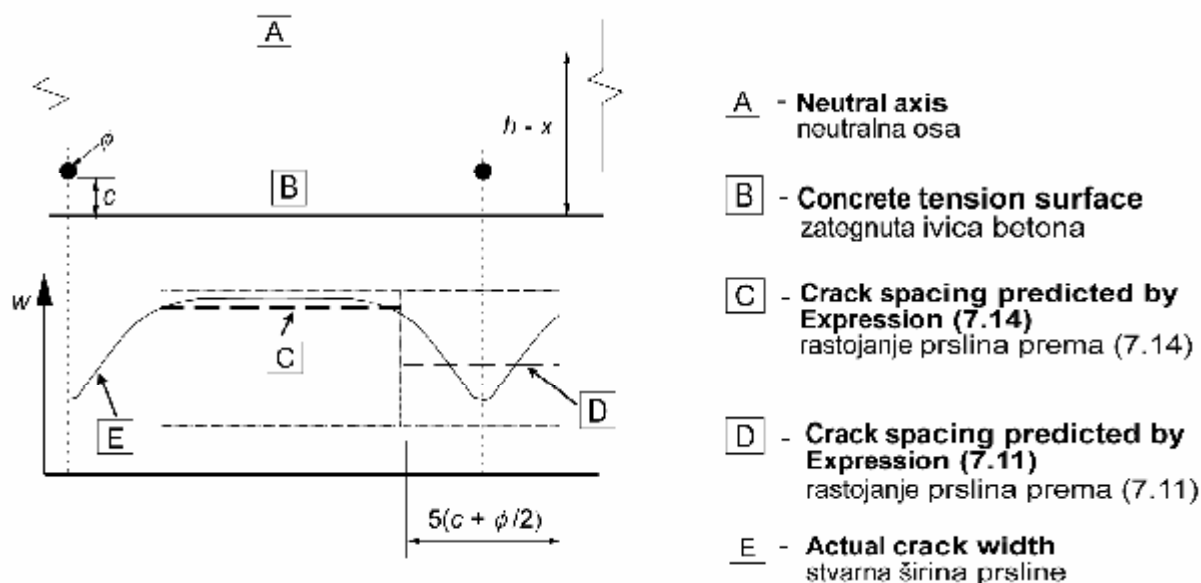
$$k_2 = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) / 2\varepsilon_1 \quad (7.13)$$

gde su  $\varepsilon_1$  veća a  $\varepsilon_2$  manja dilatacija zatezanja na ivicama posmatranog preseka, sračunate za presek sa prslinom.

**Napomena:** Vrednosti  $k_3$  i  $k_4$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti su  $k_3 = 3,4$  i  $k_4 = 0,425$ .

Kada je međusobno rastojanje armature sa prijanjanjem veće od  $5(c + \phi/2)$  (videti sliku 7.2), ili kada u zategnutoj zoni nema armature sa prijanjanjem, gornja granica širine prsline može da se odredi pretpostavljajući maksimalno rastojanje prsline:

$$s_{\max} = 1,3(h - x) \quad (7.14)$$



**Slika 7.2: Širina prsline,  $w$ , na površini betona, u zavisnosti od rastojanja od armature**

(4) Kada je u elementima armiranim u dva ortogonalna pravca ugao između osa glavnih napona i pravca armature značajan ( $> 15^\circ$ ), rastojanje prsline  $s_{r,\max}$  može da se sračuna prema izrazu:

$$s_{r,\max} = \frac{1}{\frac{\cos \theta}{s_{r,\max,y}} + \frac{\sin \theta}{s_{r,\max,z}}} \quad (7.15)$$

gde je:

$\theta$  ugao između armature u  $y$  pravcu i pravca glavnog napona zatezanja  
 $s_{r,\max,y}$ ,  $s_{r,\max,z}$  rastojanja prsline sračunata u  $y$  i u  $z$  pravcu, prema 7.3.4 (3).

(5) Za zidove izložene ranim termičkim kontrakcijama, u kojima površina horizontalne armature  $A_s$  ne ispunjava zahteve 7.3.2, i kada su pomeranja dna zida sprečena prethodno

betoniranom podlogom, može da se pretpostavi da je  $s_{r,max}$  jednako visini zida pomnoženoj sa 1,3.

**Napomena:** Kada se koriste uprošćene metode za proračun širine prslina, one treba da su zasnovane na svojstvima datim u ovom standardu ili da budu potvrđene testovima.

## 7.4 KONTROLA UGIBA

### 7.4.1 OPŠTA RAZMATRANJA

(1)P Deformacije elementa ili konstrukcije ne smeju da deluju nepovoljno na njihovo ispravno funkcionisanje ili izgled.

(2) Treba da se usvoje odgovarajuće granične vrednosti ugiba, vodeći računa o prirodi konstrukcije, završnim radovima, pregradnim zidovima, elementima za pričvršćavanje za konstrukciju (*fixings*) i nameni konstrukcije.

(3) Deformacije ne treba da budu veće od onih koje su prihvatljive za druge elemente koji su sa konstrukcijom povezani, kao što su pregradni zidovi, zastakljene fasade, konstrukcije podova, obloge, instalacije ili drugi završni radovi. U izvesnim slučajevima ograničenje ugiba može da se zahteva da bi se obezbedilo ispravno funkcionisanje opreme ili mašina na konstrukciji ili da bi se sprečilo zadržavanje vode na ravnim krovovima.

**Napomena:** Granični ugibi dati u (4) i (5) u daljem tekstu određeni su na osnovu **ISO 4356** i generalno treba da obezbede zadovoljavajuća svojstva zgrada kao sto 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**.

(4) Izgled i generalna upotrebljivost konstrukcije mogu da budu dovedeni u pitanje ako je sračunati ugib greda (*sag of a beam*), ploča ili konzola od kvazi-stalnih opterećenja veći od odnosa **raspon/250**. Ugib se određuje u odnosu na oslonce. Prethodno nadvišenje konstrukcije (*pre-camber*) može da se koristi 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**.

(5) Ugibi koji bi mogli da oštete susedne delove konstrukcije treba da se ograniče. 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.

(6) Granično stanje deformacija može da se proveriti na jedan od sledećih načina:

- ograničenjem odnosa raspon/visina preseka, prema 7.4.2, ili
- upoređenjem ugiba sračunatog prema 7.4.3 sa graničnom vrednošću.

**Napomena:** Stvarne deformacije mogu da se razlikuju od proračunatih vrednosti, naročito ako su vrednosti momenata savijanja bliske momentu pojave prslina. Razlike će zavisiti od disperzije svojstava materijala, od uslova sredine, od istorije opterećenja, od ograničenja deformacija na osloncima, uslova tla i drugih parametara, u zavisnosti od posmatrane konstrukcije.

### 7.4.2 SLUČAJEVI KADA SE PRORAČUNI MOGU IZOSTAVITI

(1)P Generalno, nije neophodno da se eksplicitno proračunaju ugibi ako mogu da se formulišu jednostavna pravila, kao što je, na primer, ograničenje odnosa raspon/visina preseka, koja su adekvatna da se u uobičajenim slučajevima izbegnu problemi ugiba. Preciznije pro-

## EN 1992-1-1:2004

vere 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.

(2) Pod uslovom da su armiranobetonske grede ili ploče u zgradama dimenzionisane tako da zadovoljavaju granične odnose raspona i visine poprečnog preseka date u ovom poglavlju, može da se smatra 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 multiplikacijom 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
- $\rho_0$  referentni odnos (koeficijent) površine armature =  $\sqrt{f_{ck}} \cdot 10^{-3}$
- $\rho$  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)
- $\rho'$  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 čeliku od odgovarajućeg proračunskog opterećenja u GSU, u preseku sa prslinom u sredini raspona grede ili ploče, ili u preseku na osloncu konzole, **310 MPa** (što približno odgovara vrednosti  $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ ). Kada se koriste drugačije vrednosti napona, odnosi  $l/d$  dobijeni prema izrazima (7.16) treba da se pomnože 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:

- $\sigma_s$  napon zatezanja u čeliku u sredini raspona (za konzole na osloncu) od proračunskog opterećenja u GSU
- $A_{s,prov}$  stvarna površina čelika u tom preseku
- $A_{s,req}$  potrebna površina čelika u tom preseku u graničnom stanju nosivosti.

Za preseke sa flanšama, u kojima je odnos širine flanše prema debljini rebra veći od **3**, vrednosti  $l/d$  date izrazima (7.16) treba da se smanje sa koeficijentom **0,8**.

Za grede i ploče, osim ravnih ploča (ploča bez kapitela) (*flat slabs*), 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 da se pomnože 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 da se pomnože sa  $8,5/l_{eff}$  ( $l_{eff}$  u metrima).

**Napomena:** Vrednosti  $K$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. 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**

Konstrukcijski 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 grednog nosača ili ploče koja nosi u jednom ili u dva pravca	1,5	20	30
Ploča oslonjena na stubove bez greda (ravna ploča) ( <i>flat slab</i> ) (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 provera treba da se izvrši prema kraćem rasponu. Za ravne ploče (ploče na stubovima bez kapitela) treba da se uzme 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.

Vrednosti date izrazima (7.16) i u tabeli 7.4N usvojene su prema rezultatima parametarske studije za niz slobodno oslonjenih greda ili ploča pravougaonog poprečnog preseka, korišćenjem generalnog postupka datog u 7.4.3. Uzete su u obzir različite klase čvrstoće betona i **500 MPa** za karakterističnu vrednost granice razvlačenja armature. Za datu površinu zategnute armature sračunat je momenat za granično stanje nosivosti, pri čemu je pretpostavljeno da je kvazi-stalno opterećenje **50%** od odgovarajućeg ukupnog proračunskog opterećenja. Dobijene granice odnosa raspon/visina poprečnog preseka zadovoljavaju granične vrednosti ugiba date u 7.4.1 (5).

### 7.4.3 PROVERA UGIBA PRORAČUNOM

**(1)P** Kada se smatra da je potreban proračun ugiba, deformacije moraju da se sračunaju za uslove opterećenja koji odgovaraju svrsi provere.

**(2)P** Metoda proračuna mora da odgovara stvarnom ponašanju konstrukcije pod relevantnim opterećenjem, sa tačnošću koja odgovara ciljevima proračuna.

**(3)** Može da se smatra da su konstrukcijski elementi za koje se ne očekuje da će u bilo kojem delu elementa biti opterećeni iznad nivoa koji bi izazvao prekoračenje čvrstoće betona

## EN 1992-1-1:2004

pri zatezanju, u stanju bez prslina (*uncracked*). Elementi u kojima se očekuje pojava prslina, ali se ne očekuje da će se prsline potpuno obrazovati, ponašaju se na način koji je između ponašanja nosača bez prslina i nosača sa potpuno obrazovanim prslinama (*fully cracked*). Za takve elemente, izložene pretežno savijanju, adekvatna procena ponašanja data je izrazom (7.18):

$$\alpha = \xi \alpha_{ii} + (1 - \xi) \alpha_i \quad (7.18)$$

gde je:

- $\alpha$  posmatrani parametar deformacije koji može da bude, na primer, dilatacija, krivina, ili rotacija. (Kao uprošćenje, može da se pretpostavi da je  $\alpha$  ugib - videti (6) u daljem tekstu)
- $\alpha_i, \alpha_{ii}$  vrednosti parametra sračunate za stanje bez prslina i za stanje sa potpuno obrazovanim prslinama,
- $\xi$  distributivni koeficijent (kojim se uzima u obzir sadejstvo zategnutog betona u preseku), dat izrazom (7.19):

$$\xi = 1 - \beta \left( \frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \quad (7.19)$$

$\xi = 0$  za preseke bez prslina

$\beta$  koeficijent kojim se uzima u obzir uticaj trajanja opterećenja ili ponavljanja opterećenja na srednju vrednost dilatacije  
= **1,0** za jedno kratkotrajno opterećenje  
= **0,5** za dugotrajno opterećenje ili veliki broj ciklusa ponavljanja opterećenja

$\sigma_s$  napon u zategnutoj armaturi, sračunat presek sa prslinom

$\sigma_{sr}$  napon u zategnutoj armaturi, sračunat presek sa prslinom od opterećenja pri kojem nastaje prva prslina.

**Napomena:**  $\sigma_{sr}/\sigma_s$  može da se zameni sa  $M_{cr}/M$  za savijanje ili  $N_{cr}/N$  za čisto zatezanje, gde je  $M_{cr}$  moment savijanja pri pojavi prve prsline (*cracking moment*) a  $N_{cr}$  sila zatezanja pri kojoj nastaje prslina (*cracking force*).

(4) Deformacije od opterećenja mogu da se odrede koristeći čvrstoću pri zatezanju i efektivni modul elastičnosti (*effective modulus of elasticity*) betona (videti (5)).

U tabeli 3.1 prikazan je opseg očekivanih vrednosti čvrstoće betona pri zatezanju. Generalno, najbolja procena stvarnog ponašanja konstrukcije dobiće se ako se koristi  $f_{ctm}$ . Kada može da se dokaže da nema aksijalnih napona zatezanja (na primer, izazvanih skupljanjem ili termičkim uticajima), može da se koristi čvrstoća pri zatezanju savijanjem  $f_{ctm,fl}$  (videti 3.1.8).

(5) Za opterećenja čije trajanje izaziva uticaje tečenja, ukupna deformacija, zajedno sa tečenjem, može da se sračuna koristeći metodu efektivnog modula elastičnosti za beton, prema izrazu (7.20):

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)} \quad (7.20)$$

gde je:

$\varphi(\infty, t_0)$  koeficijent tečenja koji odgovara opterećenju i intervalu vremena (videti 3.1.4).

(6) Krivine usled skupljanja mogu da se odrede prema izrazu (7.21):

$$\frac{1}{r_{cs}} = \varepsilon_{cs} \alpha_e \frac{S}{I} \quad (7.21)$$

gde je:

- $1/r_{cs}$  krivina usled skupljanja
  - $\varepsilon_{cs}$  nesprečena (slobodna) dilatacija skupljanja (videti 3.1.4)
  - $S$  statički momenat površine armature u odnosu na težište preseka
  - $I$  momenat inercije površine preseka
  - $\alpha_e$  efektivni odnos modula elastičnosti
- $$\alpha_e = E_s / E_{c,eff}$$

$S$  i  $I$  treba da se sračuna za stanje u preseku bez prsline i za stanje sa prslinom. Konačna krivina određuje se korišćenjem izraza (7.18).

(7) Najtačnija metoda za određivanje ugiba korišćenjem postupka datog u (3) u prethodnom tekstu je da se sračunaju krivine u dovoljno velikom broju preseka duž elementa i da se onda ugib sračuna numeričkom integracijom. U najvećem broju slučajeva dovoljno je da se ugib sračuna dva puta, jednom pretpostavljajući da je element bez prsline a zatim pretpostavljajući da je sa potpuno obrazovanim prslinama, i da se onda izvrši interpolacija, koristeći izraz (7.18).

**Napomena:** Kada se koriste uprošćeni postupci za proračun ugiba, oni treba da su zasnovani na svojstvima materijala datim u ovom standardu i da budu potvrđeni testovima.

## GLAVA 8

# KONSTRUKCIJSKI DETALJI ARMATURE I KABLOVA ZA PRETHODNO NAPREZANJE - OPŠTE ODREDBE

### 8.1 OPŠTE ODREDBE

(1)P Pravila data u ovoj glavi važe za rebrastu armaturu, zavarene armaturne mreže i kablove za prethodno naprezanje izložene dominantno statičkom opterećenju. Pravila se primenjuju za uobičajene zgrade i mostove. Ta pravila mogu da budu nedovoljna za:

- elemente izložene dinamičkom opterećenju usled seizmičkih uticaja ili vibracija mašina, ili udarnih opterećenja, i
- elemente sa armaturom zaštićenom posebnim premazima, epoksidima ili galvanizacijom.

Dodatna pravila data su za šipke velikog prečnika.

(2)P Zahtevi koji se odnose na minimalni zaštitni sloj betona moraju da se ispune (videti 4.4.1.2).

(3)P Za beton od lakog agregata dodatna pravila data su u glavi 11.

(4) Pravila za konstrukcije izložene opterećenju na zamor data su u 6.8.

### 8.2 RASTOJANJE ŠIPKI

(1)P Rastojanje šipki mora da bude takvo da beton može da se na zadovoljavajući način ugradi i zbije da bi se obezbedilo adekvatno prijanjanje betona i čelika.

(2) Čisto rastojanje (*clear distance*) (horizontalno i vertikalno) između pojedinačnih paralelnih šipki ili horizontalnih slojeva paralelnih šipki ne treba da je manje od  $k_1 \varnothing$  šipke, ( $d_g + k_2$  mm) ili od 20 mm, gde je  $d_g$  najveća dimenzija agregata.

**Napomena:** Vrednosti  $k_1$  i  $k_2$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti su 1 i 5 mm respektivno.

(3) Kada su šipke armature raspoređene u više horizontalnih slojeva, šipke u svakom sloju treba da su postavljene vertikalno jedna iznad druge. Treba da se predvidi dovoljan prostor između susednih vertikalnih kolona šipki, koje se na taj način obrazuju, da bi se omogućio pristup vibratorima i dobro zbijanje betona.

(4) Šipke armature koje se nastavljaju preklapanjem mogu da budu u neposrednom kontaktu na dužini preklapanja. Videti 8.7 za više detalja.

### 8.3 DOPUŠTENI PREČNICI VALJAKA ZA SAVIJANJE ŠIPKI

(1)P Minimalni prečnik savijanja šipke mora da bude takav da ne dođe do prslina u šipki usled savijanja i da se izbegne lom betona unutar krivine savijene šipke.

(2) Da ne bi došlo do oštećenja armature prečnik savijanja šipke (prečnik valjka) ne treba da bude manji od  $\varnothing_{m,min}$ .


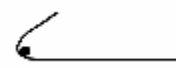
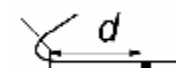

**Napomena:** Vrednosti  $\varnothing_{m,min}$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti date su u tabeli 8.1N.

**Tabela 8.1N: Minimalni prečnik valjka za savijanje da bi se izbeglo oštećenje armature**

a) za šipke i žicu

Prečnik šipke	Minimalni prečnik valjka za pravougaone kuke, polukružne kuke i petlje (videti sliku 8.1)
$\varnothing \leq 16 \text{ mm}$	4 $\varnothing$
$\varnothing > 16 \text{ mm}$	7 $\varnothing$

b) za zavarenu savijenu armaturu i armaturne mreže savijene posle zavarivanja

Minimalni prečnik valjka	
 or ili 	 or ili 
5 $\varnothing$	$d \geq 3\varnothing$ : 5 $\varnothing$ $d < 3\varnothing$ ili zavarivanje u zoni krivine: 20 $\varnothing$
<b>Napomena:</b> Kada se armatura zavaruje u zoni krivine, prečnik valjka može da se smanji na 5 $\varnothing$ ako se zavarivanje vrši u skladu sa prEN ISO 17660 Aneks B.	

(3) Prečnik valjka ne treba da se proverava s obzirom na lom betona unutar krivine savijene šipke ukoliko su ispunjeni sledeći uslovi:

- ankerovanje šipke ne zahteva dužinu pravog dela šipke posle kraja krivine veću od 5 $\varnothing$
- šipka se ne nalazi u uglu betonskog preseka (ravan savijanja šipke nije blizu površine betona) i postoji poprečna šipka prečnika  $\geq \varnothing$  unutar krivine
- prečnik valjka je najmanje jednak preporučenim vrednostima datim u tabeli 8.1N.

Ako ti uslovi nisu ispunjeni, prečnik valjka  $\varnothing_{m,min}$  treba da se poveća prema izrazu (8.1):

$$\varnothing_m \geq F_{bt} [(1/a_b) + (1/2\varnothing)] / f_{cd} \quad (8.1)$$

gde je:

- $F_{bt}$  sila zatezanja za granično stanje opterećenja u šipki ili grupi šipki koje su u kontaktu na početku krivine
- $a_b$  za datu šipku, (ili grupu šipki u kontaktu), polovina rastojanja od ose do ose šipki (ili grupa šipki) upravno na ravan savijanja. Za šipke ili grupu šipki uz spoljašnje stranice elementa,  $a_b$  treba da se uzme da je jednako zaštitnom sloju plus  $\varnothing/2$ .

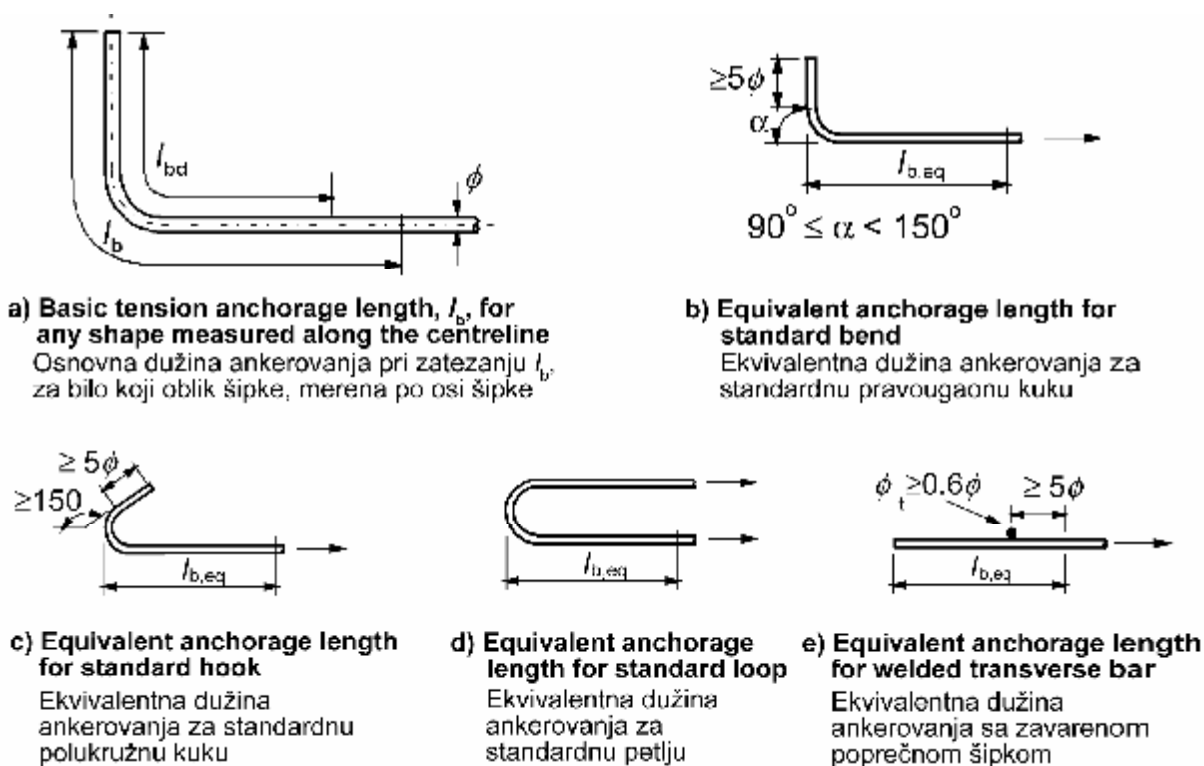
Vrednost  $f_{cd}$  ne treba da se uzme veća od one koja odgovara klasi C55/67.

## 8.4 ANKEROVANJE PODUŽNE ARMATURE

### 8.4.1 OPŠTE ODREDBE

(1)P Šipke za armiranje, žice ili zavarene armaturne mreže moraju da budu tako ankerovane da se sile prijanjanja betona i čelika sigurno prenesu na beton, bez podužnih prslina ili odlamanja (*spalling*) betona. Gde je to potrebno, mora da se obezbedi poprečna armatura.

(2) Načini ankerovanja prikazani su na slici 8.1 (videti i 8.8 (3)).



**Slika 8.1: Načini ankerovanja drugačiji od ankerovanja pravom šipkom**

- (3) Pravougaone kuke (*bends*) i polukružne kuke (*hooks*) ne doprinose ankerovanju pritisnute armature.
- (4) Lom betona unutar pravougaonih kuka treba da se izbegne zadovoljavanjem zahteva u 8.3 (3).
- (5) Kada se koriste mehanička sredstva za ankerovanje, zahtevi za testiranje treba da budu u skladu sa odgovarajućim standardom proizvoda ili Evropskim tehničkim odobrenjem.
- (6) Za prenošenje sila prethodnog naprezanja na beton videti 8.10.

#### 8.4.2 GRANIČNA VREDNOST NAPONA PRIANJANJA BETONA I ČELIKA

- (1)P Granična vrednost napona prijanjanja (čvrstoća prijanjanja) (*ultimate bond stress*) mora da bude dovoljna da ne dođe do loma prijanjanja betona i čelika (*bond failure*).
- (2) Može da se uzme da je proračunska vrednost graničnog napona prijanjanja  $f_{bd}$  za rebraste šipke jednaka:

$$f_{bd} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd} \quad (8.2)$$

gde je:

- $f_{ctd}$  proračunska vrednost čvrstoće betona pri zatezanju, prema 3.1.6 (2)P. Usled povećanja krтости (*brittleness*) betona viših klasa čvrstoće,  $f_{ctk,0,05}$  treba u ovom slučaju ograničiti na vrednost koja odgovara **C60/75**, osim ako može da se dokaže da se srednja vrednost čvrstoće prijanjanja povećava iznad te granice

$\eta_1$  koeficijent koji se odnosi na kvalitet uslova za prijanjanje i položaj šipke u elementu za vreme betoniranja (videti sliku 8.2):

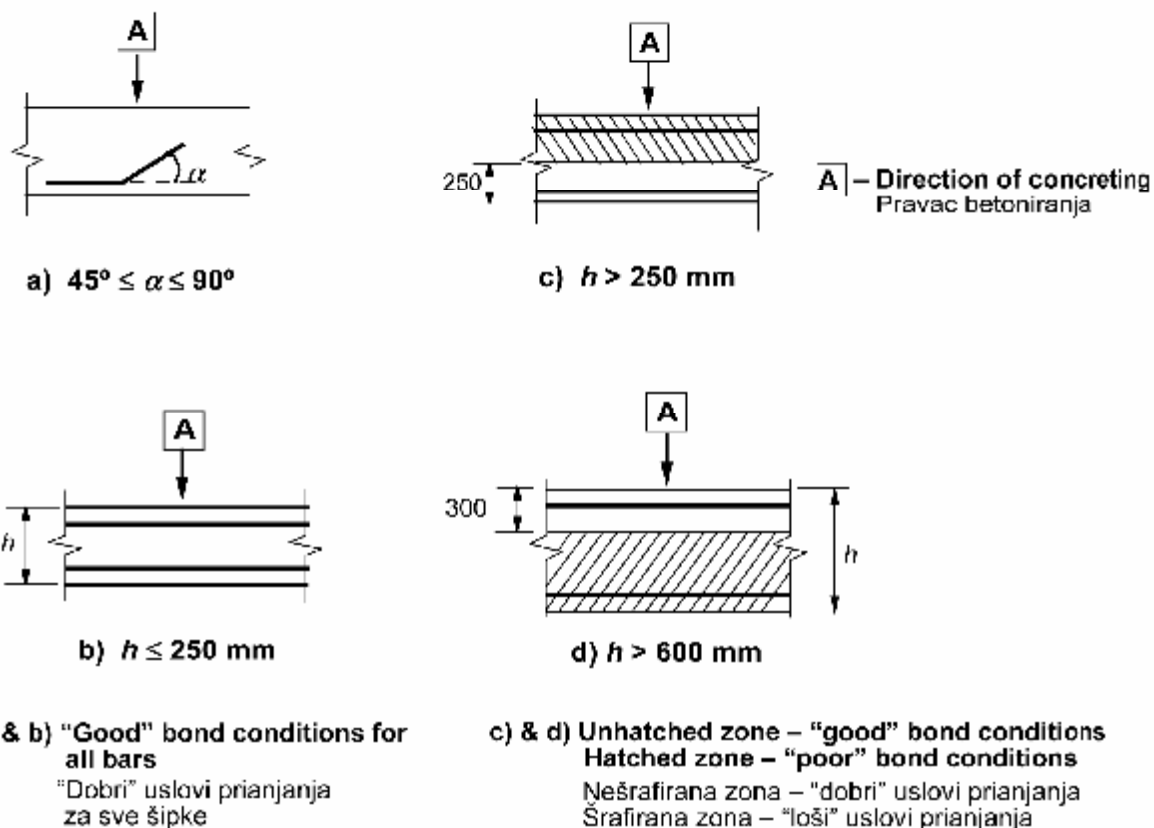
$\eta_1 = 1,0$  kada su uslovi "dobri" i

$\eta_1 = 0,7$  za sve ostale slučajeve i za šipke u konstrukcijskim elementima koji se betoniraju u kliznoj oplati, ukoliko se ne dokaže da su uslovi "dobri"

$\eta_2$  koeficijent koji zavisi od prečnika šipke:

$\eta_2 = 1,0$  za  $\varnothing \leq 32$  mm

$\eta_2 = (132 - \varnothing)/100$  za  $\varnothing > 32$  mm



Slika 8.2: Prikaz uslova za prijanjanje betona i armature

### 8.4.3 OSNOVNA DUŽINA ANKEROVANJA

(1)P U proračunu potrebne dužine ankerovanja mora da se uzme u obzir vrsta čelika i svojstva prijanjanja šipki.

(2) Osnovna potrebna dužina ankerovanja (*basic anchorage length*)  $l_{b,rqd}$ , za ankerovanje sile  $A_s \sigma_{sd}$  u pravoj šipki, uz pretpostavku da je napon prijanjanja na toj dužini konstantan i jednak  $f_{bd}$ , dobija se prema izrazu:

$$l_{b,rqd} = (\varnothing/4) (\sigma_{sd} / f_{bd}) \quad (8.3)$$

gde je  $\sigma_{sd}$  proračunski napon u šipki, u preseku od kojeg se meri dužina ankerovanja.

Vrednosti za  $f_{bd}$  date su u 8.4.2.

## EN 1992-1-1:2004

(3) Za savijene šipke osnovna dužina ankerovanja  $I_b$ , i proračunska dužina (*design length*)  $I_{bd}$ , treba da se mere duž ose šipke (videti sliku 8.1a).

(4) Kada zavarena armaturna mreža ima dvojne blizne žice ili šipke, prečnik  $\emptyset$  u izrazu (8.3) treba da se zameni sa ekvivalentnim prečnikom  $\emptyset_n = \emptyset \sqrt{2}$ .

### 8.4.4 PRORAČUNSKA DUŽINA ANKEROVANJA

(1) Proračunska dužina ankerovanja (*design anchorage length*)  $I_b$  data je izrazom:

$$I_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 I_{b,rqd} \geq I_{b,min} \quad (8.4)$$

gde su  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ,  $\alpha_4$  i  $\alpha_5$  koeficijenti dati u tabeli 8.2:

$\alpha_1$  za uticaj oblika šipki, pretpostavljajući adekvatan zaštitni sloj (videti sliku 8.1)

$\alpha_2$  za uticaj minimalnog zaštitnog sloja betona (videti sliku 8.3)

$\alpha_3$  za uticaj utezanja betona (*confinement*) poprečnom armaturom

$\alpha_4$  za uticaj jedne ili više zavarenih poprečnih šipki ( $\emptyset_t > 0,6 \emptyset$ ) na proračunskoj dužini ankerovanja  $I_{bd}$  (videti i 8.6)

$\alpha_5$  za uticaj pritiska upravno na ravan cepanja na proračunskoj dužini ankerovanja.

Proizvod ( $\alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5$ ) treba da bude  $\geq 0,7$  (8.5)

$I_{b,rqd}$  se dobija iz izraza (8.3)

$I_{b,min}$  minimalna dužina ankerovanja, ako se ne primenjuje nikakvo drugo ograničenje:

– za ankerovanje zategnute armature:

$$I_{b,min} > \max \{ 0,3 I_{b,rqd}; 10\emptyset; 100 \text{ mm} \} \quad (8.6)$$

– za ankerovanje pritisnute armature:

$$I_{b,min} > \max \{ 0,6 I_{b,rqd}; 10\emptyset; 100 \text{ mm} \} \quad (8.7)$$

(2) Kao uprošćena alternativa za 8.4.4 (1), ankerovanje pojedinih oblika zategnute armature, prikazanih na slici 8.1, može da se obezbedi ekvivalentnom dužinom ankerovanja  $I_{b,eq}$ . Dužina  $I_{b,eq}$  je definisana na slici 8.1 i može da se uzme da iznosi:

–  $\alpha_1 I_{b,rqd}$  za oblike date na slikama 8.1b do 8.1d (videti tabelu 8.2 za vrednosti  $\alpha_1$ )

–  $\alpha_4 I_{b,rqd}$  za oblike na slici 8.1e (videti tabelu 8.2 za vrednosti  $\alpha_4$ )

gde su:

$\alpha_1$  i  $\alpha_4$  definisani u (1) u prethodnom tekstu

$I_{b,rqd}$  osnovna dužina ankerovanja prave šipke, sračunata prema izrazu (8.3).

Tabela 8.2: Vrednosti koeficijenta  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  i  $\alpha_5$ 

Faktor koji utiče na veličine koeficijenta	Način ankerovanja	Šipka armature	
		zategnuta	pritisnuta
Oblik šipke	prava šipka	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
	drugačiji oblici osim prave šipke (videti slike 8.1(b), (c) i (d))	$\alpha_1 = 0,7$ ako je $c_d > 3\emptyset$ ako to nije slučaj $\alpha_1 = 1,0$ (videti sliku 8.3 za vrednosti $c_d$ )	$\alpha_1 = 1,0$
Zaštitni sloj betona	prava šipka	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - \emptyset) / \emptyset$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
	drugačiji oblici osim prave šipke (videti slike 8.1(b), (c) i (d))	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - 3\emptyset) / \emptyset$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$ (videti sliku 8.3 za vrednosti $c_d$ )	$\alpha_2 = 1,0$
Utezanje poprečnom armaturom koja nije zavarena za glavnu armaturu	svi načini ankerovanja	$\alpha_3 = 1 - K\lambda$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_3 = 1,0$
Utezanje zavarenom poprečnom armaturom*	svi načini, položaj i veličina određeni kao na slici 8.1(e)	$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 0,7$
Utezanje poprečnim pritiskom	svi načini ankerovanja	$\alpha_5 = 1 - 0,04 p$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	-

gde je:

$$\lambda = (\Sigma A_{st} - \Sigma A_{st,min}) / A_s$$

$\Sigma A_{st}$  površina preseka poprečne armature na proračunskoj dužini ankerovanja  $l_{bd}$

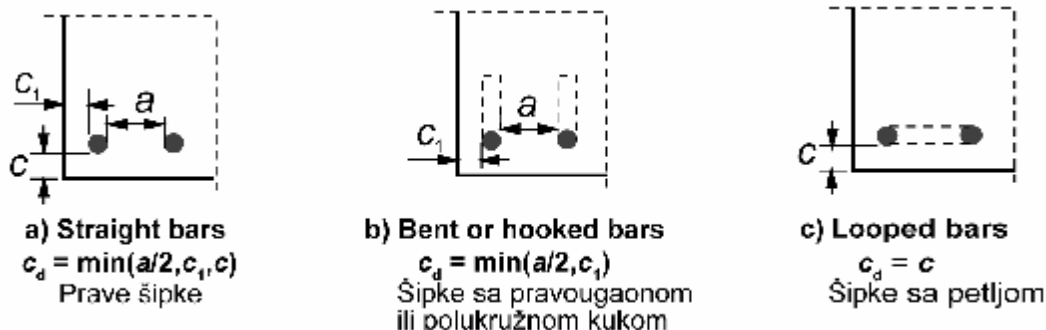
$\Sigma A_{st,min}$  površina preseka minimalne poprečne armature =  $0,25 A_s$  za grede i  $0$  za ploče

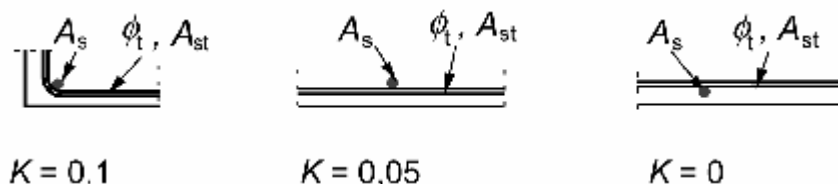
$A_s$  površina jedne ankerovane šipke sa maksimalnim prečnikom šipke

$K$  vrednosti prikazane na slici 8.4

$p$  poprečni pritisak [MPa] u graničnom stanju nosivosti, na dužini  $l_{bd}$ .

\*Videti i 8.6: Za direktne oslonce  $l_{bd}$  može da se uzme manje od  $l_{bd,min}$ , pod uslovom da postoji najmanje jedna zavarena poprečna žica unutar oslonca. Ta žica mora da bude na rastojanju od najmanje **15 mm** od ivice oslonca.

Slika 8.3: Vrednosti  $c_d$  za grede i ploče



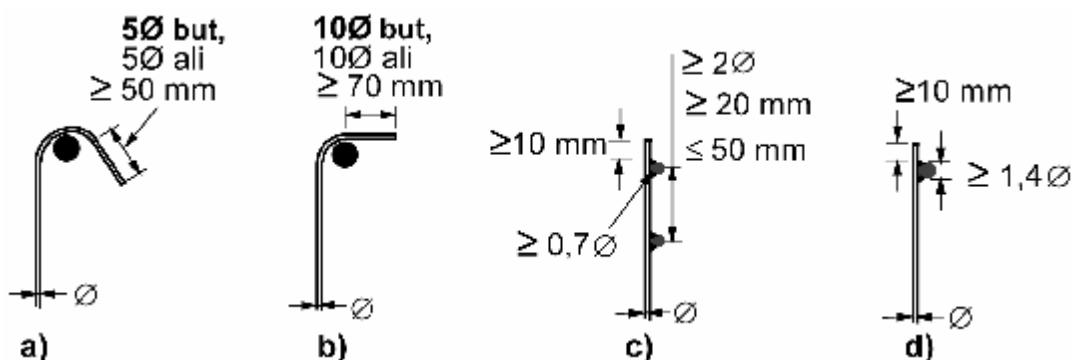
Slika 8.4: Vrednosti K za grede i ploče

## 8.5 ANKEROVANJE UZENGIJA I ARMATURE ZA SMICANJE

(1) Ankerovanje uzengija i armature za smicanje normalno treba da se vrši pomoću pravougaonih ili kružnih kuka ili zavarene poprečne armature. Unutar pravougaone ili polukružne kuke treba da se predvidi podužna šipka.

(2) Ankerovanje treba da bude u skladu sa slikom 8.5. Zavarivanje treba da bude izvršeno prema EN ISO 17660 i da ima nosivost vara kakva se zahteva u 8.6 (2).

**Napomena:** Za definisanje uglova savijanja videti sliku 8.1.

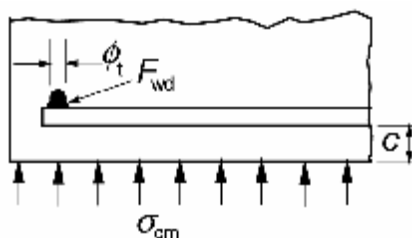


**Napomena:** Za c) i d) zaštitni sloj betona ne treba da bude manji od  $3\phi$  ili 50 mm.

Slika 8.5: Ankerovanje uzengija

## 8.6 ANKEROVANJE SA ZAVARENIM ŠIPKAMA

(1) Osim prema 8.4 i 8.5, ankerovanje može da se obezbedi i sa poprečno zavarenim šipkama (*welded transverse bar as anchoring device*) (videti sliku 8.6) koje se oslanjaju na beton. Treba dokazati da je kvalitet zavarenih spojeva (*welded joints*) zadovoljavajući.



Slika 8.6: Ankerovanje sa zavarenom poprečnom šipkom

(2) Nosivost ankerovanja (*anchorage capacity*) jedne poprečne šipke (prečnika **14 mm** do **32 mm**), zavarene sa unutrašnje strane glavne šipke, jednaka je  $F_{btd}$ . U izrazu (8.3)  $\sigma_{sd}$  onda može da se redukuje sa faktorom  $F_{btd}/A_s$ , gde je  $A_s$  površina šipke.

**Napomena:** Vrednost  $F_{btd}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost određuje se prema izrazu:

$$F_{btd} = l_{td} \varnothing_t \sigma_{td} \quad \text{ali ne više od } F_{wd} \quad (8.8N)$$

gde je:

$F_{wd}$  proračunska nosivost vara pri smicanju (data kao sila  $A_s f_{yd}$  pomnožena sa određenim koefi-  
jентom, na primer,  $0,5 A_s f_{yd}$ , gde je  $A_s$  površina preseka ankerovane šipke a  $f_{yd}$  njena prora-  
čunska granica razvlačenja)

$l_{td}$  proračunska dužina poprečne šipke:

$$l_{td} = 1,16 \varnothing_t (f_{yd} / \sigma_{td})^{0,5} \leq l_t$$

$l_t$  dužina poprečne šipke, ali ne veća od rastojanja šipki koje se na taj način ankeruju

$\varnothing_t$  prečnik poprečne šipke

$\sigma_{td}$  napon u betonu:  $\sigma_{td} = (f_{ctd} + \sigma_{cm}) \leq 3 f_{cd}$

$\sigma_{cm}$  pritisak u betonu upravan na obe šipke (srednja vrednost, pozitivan za pritisak)

$y$  funkcija:  $y = 0,015 + 0,14 e^{(-0,18x)}$

$x$  funkcija kojom se uzima u obzir geometrija:  $x = 2(c/\varnothing_t) + 1$

$c$  zaštitni sloj betona, upravan na obe šipke.

(3) Ako su dve poprečne šipke istog prečnika zavarene sa suprotnih strana šipke koja se ankeruje, nosivost ankerovanja data izrazom (8.8N) može da se udvostruči, pod uslovom da je zaštitni sloj šipke sa spoljne strane u skladu sa odredbama u glavi 4.

(4) Ako su dve poprečne šipke zavarene sa iste strane šipke koja se ankeruje, na rasto-  
janju od najmanje  $3\varnothing$ , nosivost ankerovanja jedne poprečne šipke treba da se pomnoži sa  
**1,41**.

(5) Za nominalne prečnike šipki **12 mm** i manje, nosivost ankerovanja sa zavarenom po-  
prečnom šipkom uglavnom zavisi od proračunske nosivosti zavarenog spoja i može da se  
sračuna prema izrazu:

$$F_{btd} = F_{wd} \leq 16 A_s f_{cd} \varnothing_t / \varnothing_l \quad (8.9)$$

gde je:

$F_{wd}$  proračunska nosivost vara pri smicanju (videti (8.8N))

$\varnothing_t$  nominalni prečnik poprečne šipke:  $\varnothing_t \leq 12 \text{ mm}$

$\varnothing_l$  nominalni prečnik šipke koja se ankeruje:  $\varnothing_l \leq 12 \text{ mm}$ .

Ako su dve poprečne šipke zavarene na minimalnom rastojanju  $\varnothing_t$ , nosivost ankerovanja da-  
ta izrazom (8.9) treba da se pomnoži sa **1,41**.

## 8.7 NASTAVLJANJE PREKLAPANJEM I MEHANIČKI NASTAVCI

### 8.7.1 OPŠTA ODREDBA

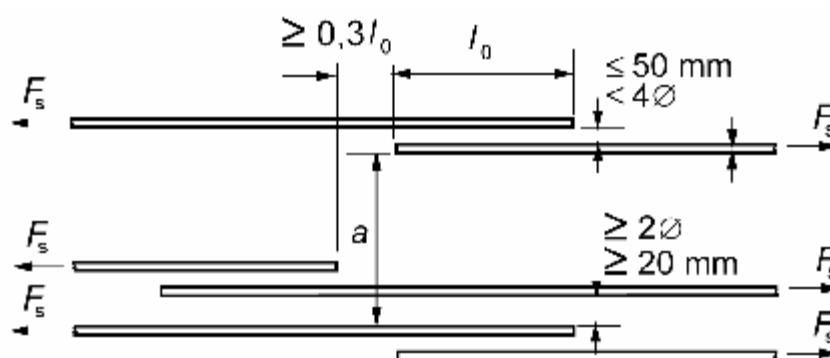
(1)P Sile se prenose sa jedne šipke na drugu:

- preklapanjem šipki (*lapping of bars*), sa ili bez pravougaonih ili polukružnih kuka (*bends or hooks*)
- zavarivanjem
- mehaničkim nastavcima, kojima se obezbeđuje prenošenje sila zatezanja i pritiska ili samo pritiska.

## 8.7.2 PREKLAPANJE

- (1)P Konstrukcijski detalji nastavljanja šipki preklapanjem (*laps*) moraju da budu takvi da:
- prenošenje sila sa jedne na drugu šipku bude sigurno
  - ne dođe do pojave odlamanja (*spalling*) betona u okolini nastavaka
  - ne dođe do pojave prslina velike širine koje bi nepovoljno uticale na svojstva konstrukcije.
- (2) Nastavci preklapanjem normalno treba da su:
- smaknuti (*staggered*) i raspoređeni van područja velikih momenata/sila (na primer, plastičnih zglobova). Izuzeci su dati u (4) u daljem tekstu
  - simetrično raspoređeni u svim presecima.
- (3) Raspored šipki koje se nastavljaju preklapanjem treba da je u skladu sa slikom 8.7:
- čisto poprečno rastojanje (*clear distance*) između šipki koje se nastavljaju preklapanjem ne treba da bude veće od  $4\phi$  ili **50 mm**; u suprotnom, dužina preklapanja treba da se poveća za dužinu jednaku čistom rastojanju između šipki
  - podužno rastojanje između dva susedna nastavka preklapanjem ne treba da bude manje od **0,3** dužine preklapanja  $l_0$
  - u slučaju susednih nastavaka preklapanjem čisto rastojanje između susednih šipki ne treba da bude manje od  $2\phi$  ili **20 mm**.
- (4) Kada su sve zategnute šipke koje se nastavljaju preklapanjem u jednom sloju (*layer*), i kada konstrukcijski detalji ispunjavaju uslove date u (3) u prethodnom tekstu, dopušteni procenat nastavaka preklapanjem može da bude **100%**. Kada su šipke raspoređene u više slojeva, taj procenat treba da se smanji na **50%**.

Sve pritisnute šipke i sekundarna (podeona) (*distribution*) armatura mogu da se nastave preklapanjem u istom preseku.



Slika 8.7: Susedni nastavci šipki preklapanjem

## 8.7.3 DUŽINA PREKLAPANJA

- (1) Proračunska dužina preklapanja je:

$$l_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6 l_{b,rqd} \geq l_{0,min} \quad (8.10)$$

gde je:

$l_{b,rd}$  osnovna dužina preklapanja, sračunata prema izrazu (8.3)

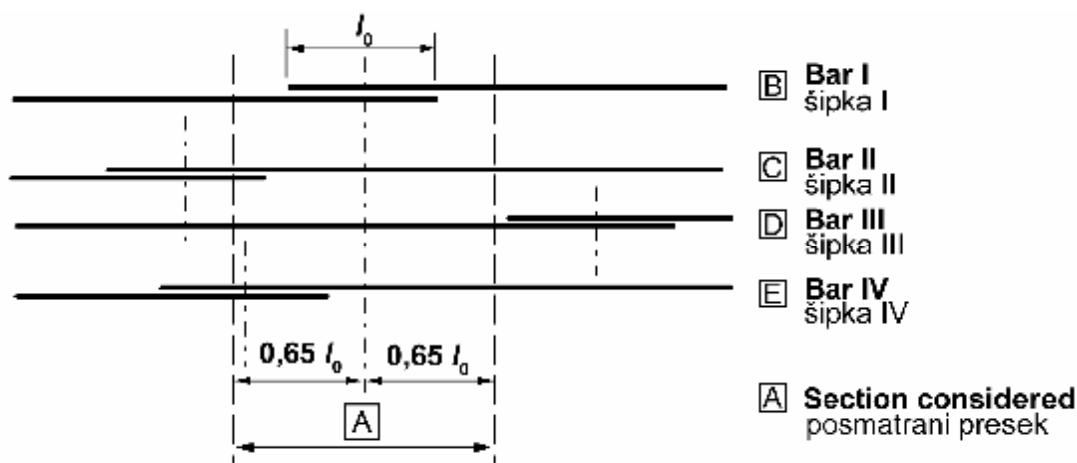
$$l_{0,min} > \max \{ 0,3 \alpha_6 l_{b,rd}; 15\emptyset; 200 \text{ mm} \} \quad (8.11)$$

Vrednosti koeficijenta  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  i  $\alpha_5$  mogu da se uzmu iz tabele 8.2; međutim, za sračunavanje  $\alpha_3$ , za  $\Sigma A_{st,min}$  treba uzeti  $1,0 A_s$  ( $\sigma_{sd}/f_{yd}$ ), gde je  $A_s$  površina jedne šipke koja se nastavlja preklapanjem.

$\alpha_6 = (\rho_1/25)^{0,5}$ , ali ne više od **1,5**, niti manje od **1,0**, gde je  $\rho_1$  procenat armature nastavljene preklapanjem na dužini od **0,65  $l_0$**  od sredine dužine posmatranog nastavka preklapanjem (videti sliku 8.8). Vrednosti  $\alpha_6$  date su u tabeli 8.3.

**Tabela 8.3: Vrednosti koeficijenta  $\alpha_6$**

Procenat šipki nastavljenih preklapanjem u odnosu na ukupnu površinu armature u poprečnom preseku	< 25%	33%	50%	> 50%
$\alpha_6$	1	1,15	1,4	1,5
Napomena: Međuvrednosti mogu da se odrede interpolacijom.				



Primer: šipke II i III su van posmatranog preseka: % = 50 i  $\alpha_6 = 1,4$ .

**Slika 8.8: Procenat šipki nastavljenih preklapanjem u istom preseku**

## 8.7.4 POPREČNA ARMATURA U ZONI PREKLAPANJA

### 8.7.4.1 POPREČNA ARMATURA ZA ZATEGNUTE ŠIPKE

- (1) Poprečna (transverzalna) armatura potrebna je za prihvatanje poprečnih sila zatezanja u zoni preklapanja.
- (2) Kada je prečnik  $\emptyset$  šipki koje se nastavljaju preklapanjem manji od **20 mm**, ili kada je procenat šipki koje se nastavljaju preklapanjem u istom preseku manji od **25%**, može bez daljeg dokazivanja da se pretpostavi da su poprečna armatura ili uzengije, koje su potrebne iz drugih razloga, dovoljne da prihvate poprečne sile zatezanja.
- (3) Kada je prečnik  $\emptyset$  šipki koje se nastavljaju preklapanjem jednak ili veći od **20 mm**, treba da se predvidi poprečna armatura ukupne površine  $\Sigma A_{st}$  (jednake zbiru površina svih

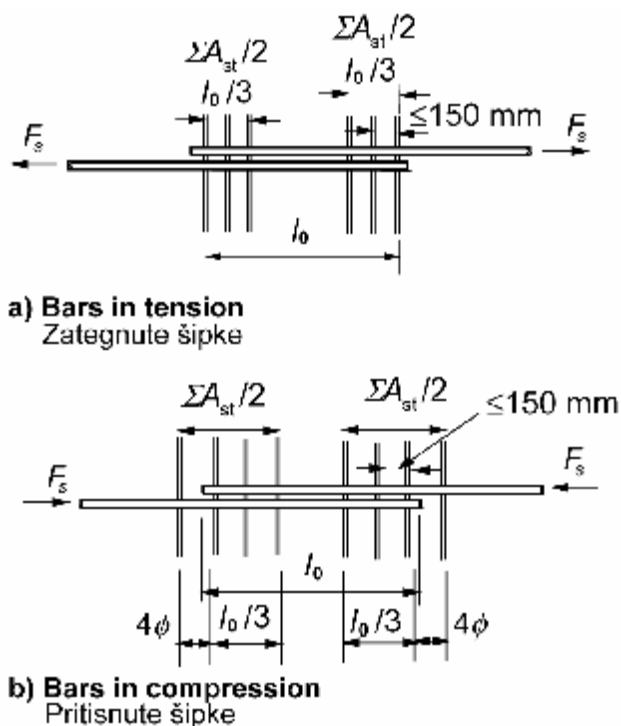
poprečnih šipki ili stranica uzengija (*legs*) paralelnih sloju armature koja se nastavlja preklapanjem), ali ne manju od površine  $A_s$  jedne šipke nastavljene preklapanjem ( $\Sigma A_{st} \geq 1,0 A_s$ ). Ta poprečna armatura treba da se rasporedi upravno na pravac armature koja se nastavlja preklapanjem, između te armature i površine betona.

Ako je više od **50%** armature nastavljeno preklapanjem u jednom preseku, i ako je rastojanje između susednih nastavaka preklapanjem u preseku  $a \leq 10 \varnothing$  (videti sliku 8.7), poprečna armatura treba da bude u obliku uzengija ili **U** šipki (ukosnica), ankerovanih unutar poprečnog preseka.

(4) Poprečna armatura predviđena prema zahtevima u (3) u prethodnom tekstu, treba da se rasporedi u presecima u zoni krajeva preklapanja, kako je prikazano na slici 8.9 a).

#### 8.7.4.2 POPREČNA ARMATURA ZA STALNO PRITISNUTE ŠIPKE

(1) Osim poprečne armature koja se zahteva za zategnute šipke, pri nastavljanju preklapanjem stalno pritisnutih šipki još po jedna šipka poprečne armature treba da se rasporedi izvan oba kraja nastavka, na rastojanju ne većem od  $4 \varnothing$  od kraja dužine preklapanja (slika 8.9 b).

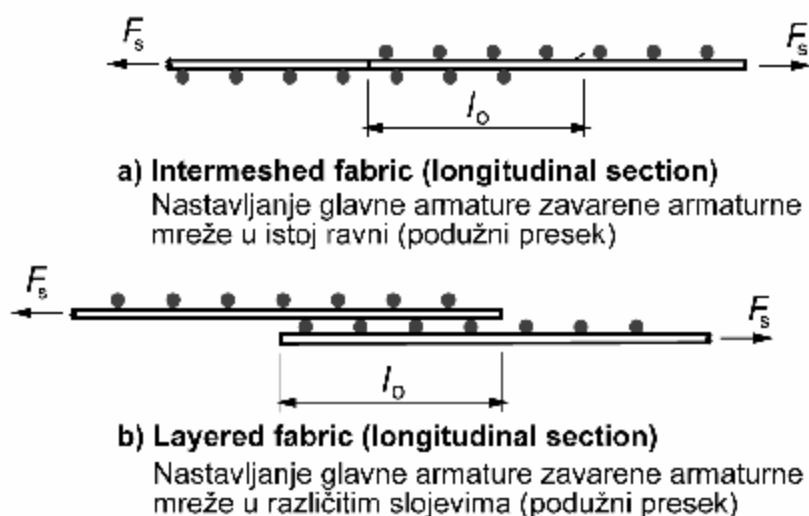


Slika 8.9: Poprečna armatura za nastavljanje preklapanjem

#### 8.7.5 NASTAVLJANJE PREKLAPANJEM ZAVARENIH ARMATURNIH MREŽA OD REBRASTIH ŽICA

##### 8.7.5.1 NASTAVLJANJE PREKLAPANJEM GLAVNE ARMATURE

(1) Nastavljanje preklapanjem može da bude sa glavnom armaturom u istoj ravni (*inter-meshing*) ili sa mrežama u ravnima (slojevima), jednoj iznad druge (*layering*) (slika 8.10).



**Slika 8.10: Nastavljanje preklapanjem zavarenih armaturnih mreža**

- (2) Kada je element opterećen na zamor, treba usvojiti nastavljanje u istoj ravni.
- (3) Za nastavljanje u istoj ravni dispozicija preklapanja glavnih podužnih šipki treba da bude u skladu sa 8.7.2. Pozitivni uticaji poprečnih šipki treba da se zanemare, tako da treba da se uzme  $\alpha_3 = 1,0$ .
- (4) Za armaturne mreže nastavljene u različitim slojevima nastavci glavne armature generalno treba da se predvide u zonama u kojima sračunati naponi u armaturi u graničnom stanju nosivosti nisu veći od **80%** od proračunske čvrstoće.
- (5) Kada uslov u (4) u prethodnom tekstu nije ispunjen, statička visina čelika za proračun nosivosti na savijanje prema 6.1 odnosi se na sloj armature najdalji od zategnute ivice. Osim toga, kada se kontrolišu prsline u blizini kraja nastavka preklapanjem, napon u čeliku koji se koristi u tabelama 7.2 i 7.3 treba da se poveća za **25%** zbog diskontinuiteta na krajevima preklapanja.
- (6) Procenat glavne armature koja može da se nastavi preklapanjem u bilo kom preseku treba da bude u skladu sa sledećim uslovima:

za nastavljanje armaturne mreže u istoj ravni važe vrednosti date u tabeli 8.3;

za nastavljanje armaturne mreže u različitim slojevima, dopušteni procenat glavne armature koja može da se nastavi preklapanjem u istom preseku zavisi od specifične površine poprečnog preseka armaturne mreže u preseku  $(A_s/s)_{prov}$ , gde je  $s$  rastojanje žica:

- **100%** ako je  $(A_s/s)_{prov} \leq 1200 \text{ mm}^2/\text{m}$
- **60%** ako je  $(A_s/s)_{prov} > 1200 \text{ mm}^2/\text{m}$ .

Nastavljanje mreža u više slojeva treba da bude smaknuto za najmanje **1,3**  $l_0$  ( $l_0$  se određuje prema 8.7.3).

- (7) Dodatna poprečna armatura u zoni preklapanja nije potrebna.

#### 8.7.5.2 NASTAVLJANJE PREKLAPANJEM SEKUNDARNE ILI PODEONE ARMATURE

- (1) Sva sekundarna armatura može da se nastavi preklapanjem u istom preseku.

Minimalne dužine preklapanja  $l_o$  date su u tabeli 8.4; dužina preklapanja dve sekundarne šipke treba da pokriva najmanje dve glavne šipke mreže.

**Tabela 8.4: Potrebne dužine preklapanja za sekundarne žice armaturnih mreža**

Prečnik sekundarnih žica (mm)	Dužine preklapanja
$\varnothing \leq 6$	$\geq 150$ mm; najmanje jedno polje mreže
$6 < \varnothing \leq 8,5$	$\geq 250$ mm; najmanje dva polja mreže
$8,5 < \varnothing \leq 12$	$\geq 350$ mm; najmanje dva polja mreže

## 8.8 DODATNA PRAVILA ZA ŠIPKE VELIKIH PREČNIKA

(1) Za šipke armature čiji je prečnik veći od  $\varnothing_{large}$  (*large diameter bars*), sledeća pravila dopunjuju pravila koja su data u 8.4 i 8.7.

**Napomena:** Vrednost  $\varnothing_{large}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **32 mm**.

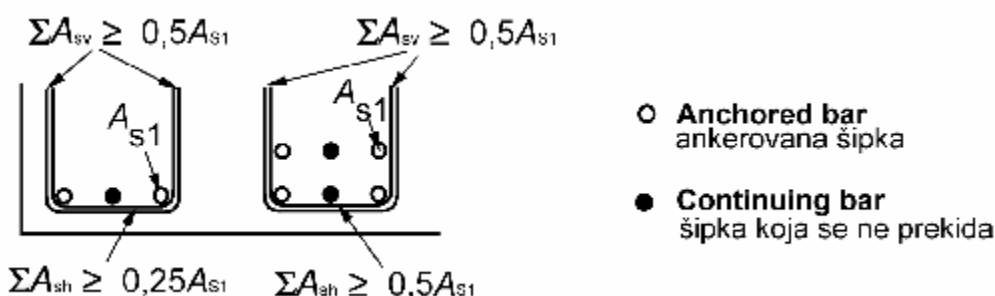
(2) Kada se koristi takva armatura velikog prečnika, kontrola prslina može da se obezbedi ili korišćenjem površinske armature (*surface reinforcement*) (videti 9.2.4) ili proračunom (videti 7.3.4).

(3) Sile cepanja (*splitting forces*) i efekat moždanika (*dowel action*) veći su kada se koriste šipke velikih prečnika. Takve šipke treba da budu ankerovane mehaničkim uređajima za ankerovanje. Alternativno, šipke velikih prečnika mogu da se ankeruju kao prave šipke, ali treba da se predvide uzengije ili drugi oblici poprečne armature za utezanje betona.

(4) Generalno, šipke velikih prečnika ne treba da se nastavljaju preklapanjem. Izuzetak su preseki čije su dimenzije veće od **1,0 m** ili kada napon u šipkama nije veći od **80%** od proračunske vrednosti čvrstoće.

(5) Kada u zonama ankerovanja nema poprečnog pritiska, osim armature za smicanje treba da se obezbedi i poprečna armatura.

(6) Za dužine ankerovanja pravim šipkama (videti sliku 8.11 za korišćene oznake) dodatna armatura koja se zahteva prema (5) u prethodnom tekstu ne treba da bude manja od:



**Primer:** U slučaju na slici levo  $n_1 = 1$ ,  $n_2 = 2$  a na slici desno  $n_1 = 2$ ,  $n_2 = 2$ .

**Slika 8.11: Dodatna poprečna armatura u zoni ankerovanja za šipke velikih prečnika, kada nema poprečnog pritiska**

- u pravcu paralelnom zategnutoj strani preseka:

$$A_{sh} = 0,25 A_s n_1 \quad (8.12)$$

- u pravcu upravnom na zategnutu stranu:

$$A_{sv} = 0,25 A_s n_2 \quad (8.13)$$

gde je:

- $A_s$  površina preseka ankerovane šipke
- $n_1$  broj slojeva sa šipkama ankerovanim u istom preseku elementa
- $n_2$  broj šipki ankerovanih u svakom sloju.

(7) Dodatna poprečna armatura treba da bude uniformno raspoređena u zoni ankerovanja a rastojanje šipki ne treba da je veće od **5 prečnika** podužne armature.

(8) Za površinsku armaturu (*surface reinforcement*) važi 9.2.4, ali poprečni presek površinske armature ne treba da bude manji od **0,01  $A_{ct,ext}$**  u pravcu upravnom na šipke velikih prečnika, i **0,02  $A_{ct,ext}$**  u pravcu paralelnom tim šipkama.

## 8.9 ŠIPKE U SVEŽNJEVIMA

### 8.9.1 OPŠTE ODREDBE

(1) Ukoliko nije drugačije propisano, pravila za pojedinačne šipke važe i za svežnjeve (snopove) šipki (*bundled bars*). Sve šipke u svežnju treba da su istih karakteristika (vrste i klase) (*type and grade*). Šipke različitih prečnika mogu da budu u istom svežnju pod uslovom da odnos njihovih prečnika nije veći od **1,7**.

(2) U proračunu svežanj šipki se zamenjuje nominalnom (*notional*) šipkom koja ima istu površinu poprečnog preseka i težište kao svežanj šipki. Ekvivalentni prečnik  $\varnothing_n$  te nominalne šipke je:

$$\varnothing_n = \varnothing \sqrt{n_b} \leq 55 \text{ mm} \quad (8.14)$$

gde je:

- $n_b$  broj šipki u svežnju, koji je ograničen na:
  - $n_b \leq 4$  za vertikalne pritisnute šipke i šipke na dužini nastavljanja preklapanjem,
  - $n_b \leq 3$  u svim drugim slučajevima.

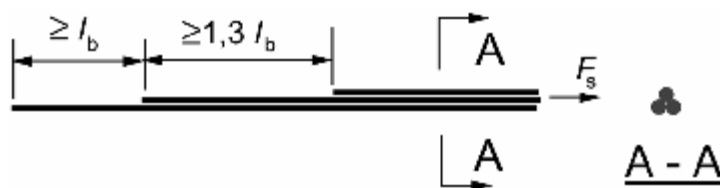
(3) Za rastojanje svežnjeva šipki važe pravila za rastojanje pojedinačnih šipki data u 8.2. Treba da se koristi ekvivalentni prečnik,  $\varnothing_n$ , ali čisto rastojanje između svežnjeva treba da se meri od stvarne spoljašnje konture svežnja šipki. Zaštitni sloj betona isto tako treba da se meri od stvarne spoljašnje konture svežnja i ne treba da bude manji od  $\varnothing_n$ .

(4) Kada su dve šipke postavljene jedna iznad druge tako da se dodiruju, i kada su uslovi prijanjanja betona i čelika dobri, nije potrebno da se za takve šipke primenjuju pravila za svežnjeve.

### 8.9.2 ANKEROVANJE SVEŽNJEVA ŠIPKI

(1) Svežnjevi šipki koje su zategnute mogu da se prekidaju iznad krajnjih i srednjih oslonaca. Svežnjevi sa ekvivalentnim prečnikom  $\varnothing_n < 32 \text{ mm}$  mogu da se prekinu u blizini oslonca bez smaknutog rasporeda prekida pojedinačnih šipki. Šipke u svežnjevima sa ekvivalentnim prečnikom  $\varnothing_n \geq 32 \text{ mm}$ , koje se ankeruju u blizini oslonca, treba da budu smaknute u podužnom pravcu, kako je prikazano na slici 8.12.

(2) Kada su pojedinačne šipke u svežnju smaknute na rastojanju većem od  $1,3 I_{b, \text{rqd}}$  (gde je  $I_{b, \text{rqd}}$  određeno prema prečniku šipke), za određivanje  $I_{bd}$  može da se uzme prečnik šipke (videti sliku 8.12). Ako to nije slučaj, treba da se koristi ekvivalentni prečnik svežnja  $\varnothing_n$ .



Slika 8.12: Ankerovanje šipki u svežnju smaknutih na većim rastojanjima

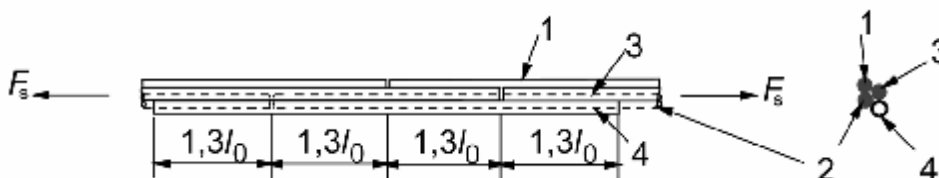
(3) Za ankerovanje svežnjeva šipki koje su pritisnute nije potreban smaknuti raspored prekida šipki. Za svežnjeve sa ekvivalentnim prečnikom  $\varnothing_n \geq 32 \text{ mm}$ , najmanje 4 uzengije prečnika  $\geq 12 \text{ mm}$  treba da se predvide na krajevima svežnja a još jedna uzengija treba da se rasporedi neposredno posle kraja šipke koja se na tom mestu završava.

### 8.9.3 NASTAVLJANJE PREKLAPANJEM SVEŽNJEVA ŠIPKI

(1) Dužina preklapanja treba da se sračuna prema 8.7.3, uzimajući  $\varnothing_n$  (iz 8.9.1 (2)) kao ekvivalentni prečnik šipke.

(2) Svežnjevi šipki koji se sastoje od dve šipke sa ekvivalentnim prečnikom  $< 32 \text{ mm}$  mogu da se nastave preklapanjem bez smaknutih prekida pojedinačnih šipki. U tom slučaju za proračun  $I_o$  treba uzeti u obzir ekvivalentni prečnik šipke.

(3) Ako su u svežnju dve šipke sa ekvivalentnim prečnikom  $\geq 32 \text{ mm}$ , ili tri šipke, pojedinačne šipke treba da budu smaknute u podužnom pravcu za najmanje  $1,3 I_o$ , kako je prikazano na slici 8.13, gde se  $I_o$  sračunava prema prečniku pojedinačne šipke. U tom slučaju šipka broj 4 se koristi kao šipka za preklapanje. Treba voditi računa da ne bude više od 4 šipke u bilo kojem preseku u kojem se svežanj nastavlja preklapanjem (*lap cross section*). Svežnjevi sa više od tri šipke ne treba da se nastavljaju preklapanjem.



Slika 8.13: Nastavak preklapanjem zategnutog svežnja, uključujući i četvrtu šipku

## 8.10 KABLOVI ZA PRETHODNO NAPREZANJE

### 8.10.1 RASPORED KABLOVA ZA PRETHODNO NAPREZANJE I CEVI ZA KABLOVE

#### 8.10.1.1 OPŠTA ODREDBA

(1)P Rastojanje cevi (*ducts*) za kablove koji se naknadno zatežu, ili rastojanje kablova koji se prethodno zatežu, mora da omogući uslove za zadovoljavajuće ugrađivanje i zbijanje betona da bi se obezbedilo postizanje dovoljne čvrstoće prijanjanja (*bond*) betona i kablova.

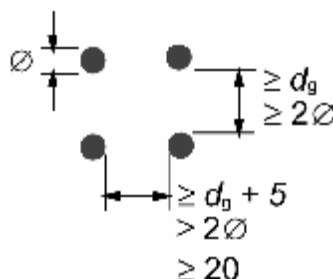
#### 8.10.1.2 KABLOVI KOJI SE PRETHODNO ZATEŽU

(1) Minimalno čisto horizontalno i vertikalno rastojanje pojedinačnih kablova koji se prethodno zatežu treba da je saglasno sa rastojanjima prikazanim na slici 8.14. Drugačiji raspored može da se usvoji pod uslovom da se rezultatima testa dokaže zadovoljavajuće ponašanje u graničnom stanju nosivosti u pogledu:

- pritisnutog betona u zoni ankerovanja
- odlamanja betona
- ankerovanje kablova koji se prethodno zatežu
- ugrađivanja betona između kablova.

Treba da se vodi računa i o trajnosti i opasnosti od korozije kablova na krajevima elemenata.

**Napomena:**  $\varnothing$  je prečnik prethodno zategnutog kabla a  $d_g$  najveće zrno agregata.



**Slika 8.14: Minimalno čisto rastojanje između kablova koji se prethodno zatežu**

(2) Grupisanje kablova u svežnjeve ne treba predvideti u zonama ankerovanja, osim ukoliko ugrađivanje i zbijanje betona može da se sprovede na zadovoljavajući način, tako da se postigne dovoljno prijanjanje betona i kablova.

#### 8.10.1.3 CEVI ZA KABLOVE KOJI SE NAKNADNO ZATEŽU

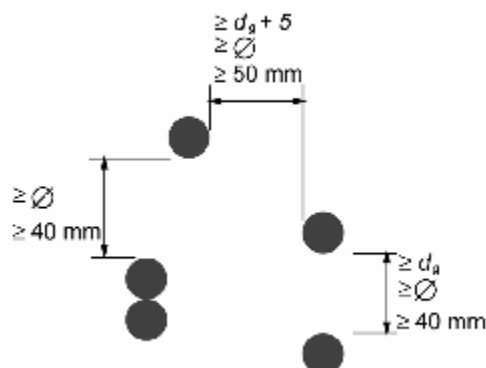
(1)P Cevi za kalove koji se naknadno zatežu moraju da se rasporede i izvedu tako da:

- beton može da bude sigurno ugrađen bez oštećenja cevi
- beton može da prihvati sile od cevi na delovima cevi u krivini, za vreme i posle zatezanja
- cementna emulzija ne procuruje u druge cevi za vreme injektiranja.

(2) Cevi za kablove koji se naknadno zatežu normalno ne treba da se raspoređuju u svežnjevima, osim kada se radi o paru cevi postavljenih vertikalno jedna iznad druge.

(3) Minimalno čisto rastojanje između dve zaštitne cevi treba da bude u skladu sa rastojanjem prikazanim na slici 8.15.

**Napomena:**  $\emptyset$  je prečnik cevi kabla koji se naknadno zateže a  $d_g$  maksimalno zrno agregata.



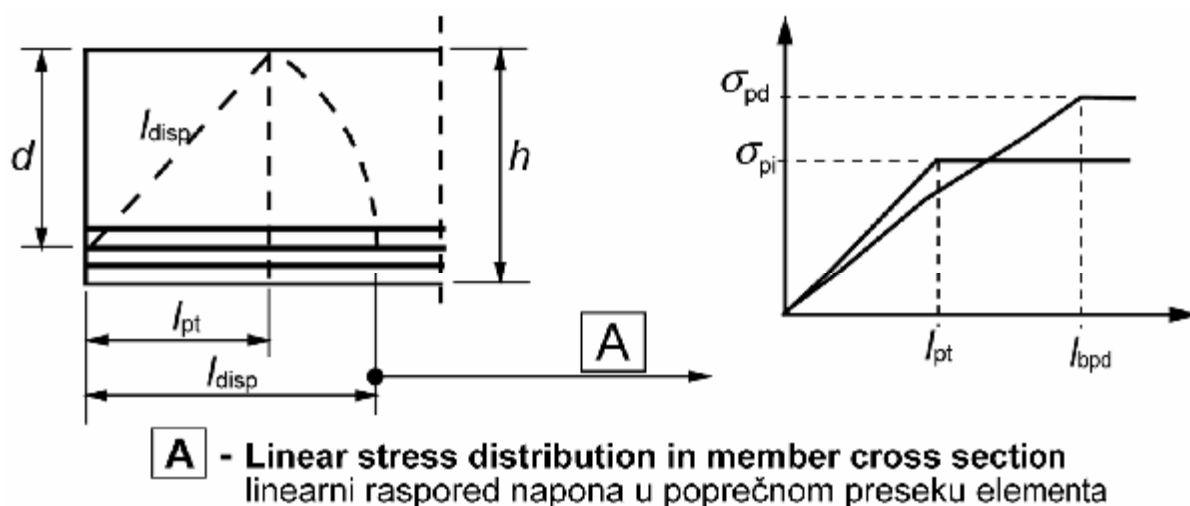
**Slika 8.15: Minimalno čisto rastojanje između cevi za kablove koji se naknadno zatežu**

## 8.10.2 ANKEROVANJE KABLOVA KOJI SE PRETHODNO ZATEŽU

### 8.10.2.1 OPŠTA ODREDBA

(1) U zonama ankerovanja kablova koji se prethodno zatežu treba imati u vidu sledeće karakteristične dužine (*length parameters*), videti sliku 8.16:

- Dužinu prenošenja sile** (prelazna dužina) (*transmission length*)  $l_{pt}$ , na kojoj se ukupna sila prethodnog napreznja ( $P_o$ ) prenosi na beton; videti 8.10.2.2 (2)
- Disperzionu dužinu** (dužina linearizacije) (*dispersion length*)  $l_{disp}$ , na kojoj naponi u betonu postepeno postaju linearno raspoređeni po betonskom preseku; videti 8.10.2.2 (4),
- Dužinu ankerovanja** (*anchorage length*)  $l_{ptd}$ , na kojoj se sila u kابلu  $F_{pd}$  u граничном stanju nosivosti potpuno ankeruje u beton; videti 8.10.2.3 (4) i (5).



**Slika 8.16: Prenosenje sile prethodnog napreznja u elementima u kojima se kablovi prethodno zatežu; karakteristične dužine**

## 8.10.2.2 PRENOŠENJE SILE PRETHODNOG NAPREZANJA

(1) Može da se pretpostavi da se sila prethodnog naprezanja pri otpuštanju prethodno zategnutih kablova sa privremenih oporaca za zatezanje prenosi na beton sa konstantnim naponom prijanjanja betona i čelika  $f_{bpt}$ , datim izrazom:

$$f_{bpt} = \eta_{p1} \eta_1 f_{ctd}(t) \quad (8.15)$$

gde je:

- $\eta_{p1}$  koeficijent kojim se uzima u obzir vrsta kabla i uslovi prijanjanja pri otpuštanju kabla (*release of tendon*) sa privremenih oporaca  
 $\eta_{p1} = 2,7$  za uzubljene žice (*indented wires*)  
 $\eta_{p1} = 3,2$  za užad sa 3 ili 7 žica
- $\eta_1$  = 1,0 za dobre uslove prijanjanja (*good bond conditions*)  
 = 0,7 u ostalim slučajevima, osim ako veća vrednost može da se dokaže imajući u vidu posebne okolnosti pri izvođenju
- $f_{ctd}(t)$  proračunska vrednost čvrstoće betona pri zatezanju u trenutku otpuštanja kablova  
 $f_{ctd}(t) = \alpha_{ct} 0,7 f_{ctm}(t) / \gamma_c$  (videti i 3.1.2 (9) i 3.1.6 (2)P).

**Napomena:** Vrednosti  $\eta_{p1}$  za drugačije vrste kablova od onih koji su dati u prethodnom tekstu mogu da se primene pod uslovom da ispunjavaju zahteve odgovarajućeg ETA.

(2) Osnovna vrednost dužine prenošenja sile,  $l_{pt}$ , data je izrazom:

$$l_{pt} = \alpha_1 \alpha_2 \emptyset \sigma_{pmo} / f_{bpt} \quad (8.16)$$

gde je:

- $\alpha_1$  = 1,0 za postepeno otpuštanje zategnutih kablova sa privremenih oporaca (*gradual release*)  
 = 1,25 za naglo otpuštanje zategnutog kabla (*sudden release*)
- $\alpha_2$  = 0,25 za kablove za kružnim poprečnim presekom  
 = 0,19 za užad sa 3 i 7 žica
- $\emptyset$  nominalni prečnik kabla
- $\sigma_{pmo}$  napon u kابلu neposredno posle otpuštanja.

(3) Za proračunsku vrednost dužine prenošenja treba da se uzme manje povoljna od sledeće dve vrednosti, u zavisnosti od proračunske situacije:

$$l_{pt1} = 0,8 l_{pt} \quad (8.17)$$

ili

$$l_{pt2} = 1,2 l_{pt} \quad (8.18)$$

**Napomena:** Normalno se manja vrednost koristi za provere lokalnih napona pri otpuštanju kabla a veća za granična stanja nosivosti (smicanje, ankerovanje, itd.).

(4) Može da se pretpostavi da su naponi u betonu izvan dužine disperzije linearno raspoređeni u preseku, videti sliku 8.17:

$$l_{disp} = \sqrt{l_{pt}^2 + d^2} \quad (8.19)$$

(5) Može da se pretpostavi drugačiji način unošenja prethodnog naprezanja, ukoliko se obezbede adekvatni dokazi i ako se u skladu sa tim modifikuje dužina prenošenja.

8.10.2.3 ANKEROVANJE SILE ZATEZANJA U GRANIČNOM STANJU NOSIVOSTI

(1) Ankerovanje kablova treba da se proveriti u preseccima u kojima napon zatezanja u betonu prekoračuje  $f_{ctk,0,05}$ . Sila u kابلu treba da se sračuna za presek u stanju prslina, uključujući i uticaj smicanja prema 6.2.6 (7); videti i 9.2.1.3. Kada je napon zatezanja u betonu manji od  $f_{ctk,0,05}$ , nije potrebna provera ankerovanja.

(2) Čvrstoća prijanjanja (*bond strength*) betona i armature za ankerovanje u graničnom stanju nosivosti je:

$$f_{bpd} = \eta_{p2} \eta_1 f_{ctd} \tag{8.20}$$

gde je:

- $\eta_{p2}$  koeficijent kojim se uzima u obzir vrsta kablova i uslovi prijanjanja (*bond situation*) u zoni ankerovanja  
 $\eta_{p2} = 1,4$  za uzubljene žice  
 $\eta_{p2} = 1,2$  za užad sa 3 ili 7 žica
- $\eta_1$  koeficijent definisan u 8.10.2.2 (1).

**Napomena:** Vrednosti  $\eta_{p2}$  za drugačije vrste kablova od onih koje su dati u prethodnom tekstu mogu da se primene pod uslovom da ispunjavaju zahteve odgovarajućeg ETA.

(3) Usled porasta krтости (*brittleness*) sa porastom čvrstoće betona, u ovoj analizi vrednost  $f_{ctk,0,05}$  treba da se ograniči na vrednost koja odgovara **C60/75**, ukoliko se ne dokaže da se srednja vrednost čvrstoće prijanjanja povećava iznad te granice.

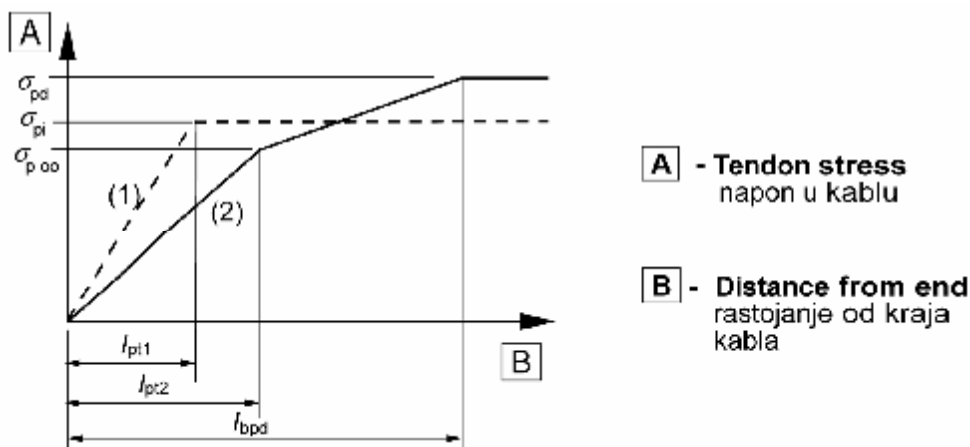
(4) Ukupna dužina ankerovanja za kabl u kojem je napon  $\sigma_{pd}$  je:

$$l_{bpd} = l_{pt2} + \alpha_2 \sigma_{pd} / f_{bpd} \tag{8.21}$$

gde je:

- $l_{pt2}$  gornja proračunska vrednost dužine prenošenja, videti 8.10.2.2 (3)
- $\alpha_2$  koeficijent definisan u 8.10.2.2 (2)
- $\sigma_{pd}$  napon u kابلu koji odgovara sili definisanoj u (1) u prethodnom tekstu
- $\sigma_{p\infty}$  napon zatezanja posle svih gubitaka.

(5) Naponi u kابلu u zoni ankerovanja ilustrovani su na slici 8.17.



Slika 8.17: Naponi u zoni ankerovanja elemenata sa prethodno zategnutim kابلovima: (1) pri otpuštanju kablova, (2) u graničnom stanju nosivosti

(6) U slučaju kombinovanja obične armature i prethodno zategnutih kablova, pojedinačne nosivosti ankerovanja armature i kablova mogu da se saberu.

### 8.10.3 ZONE ANKEROVANJA U ELEMENTIMA U KOJIMA SE KABLOVI NAKNADNO ZATEŽU

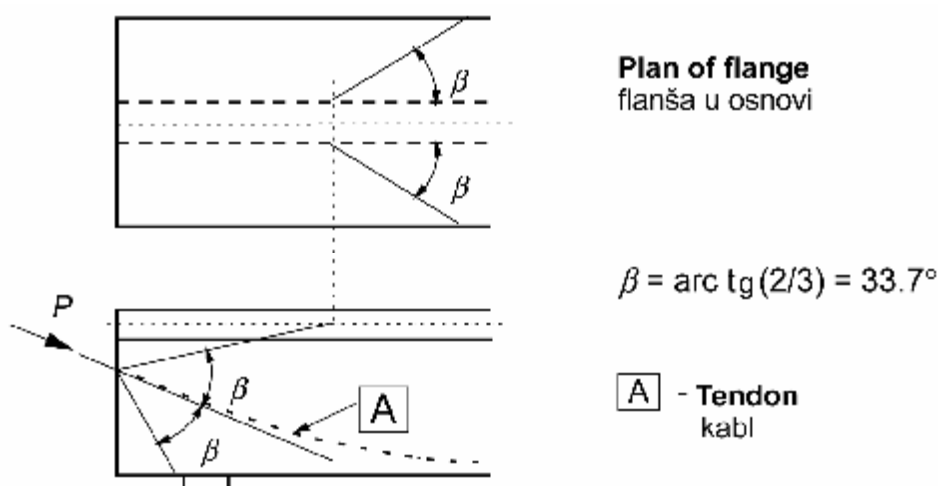
(1) Proračun zona ankerovanja treba da bude u skladu sa odredbama datim u ovom poglavlju, kao i u 6.5.3.

(2) Kada se uticaji prethodnog naprezanja uzimaju u obzir kao koncentrisana sila u zoni ankerovanja, proračunska vrednost prethodnog naprezanja treba da bude u skladu sa 2.4.2.2 (3), pri čemu treba da se koristi donja karakteristična vrednost čvrstoće betona pri zatezanju.

(3) Kontaktni (lokalni) napon pritiska ispod ankernih ploča treba da se provere prema odgovarajućem Evropskom tehničkom odobrenju.

(4) Sile zatezanja usled koncentrisanih sila treba da se odrede na modelu pritisnutih štapa i zatega, ili drugim odgovarajućim modelom (videti 6.5). Konstrukcijski detalji armature konstruišu se uz pretpostavku da su naponi u njima jednaki proračunskoj vrednosti čvrstoće. Ako napon u toj armaturi nije veći od **300 MPa** nije potrebna nikakva provera širine prslina.

(5) Kao uprošćenje, za određivanje dužine disperzije može da se pretpostavi da se sila prethodnog naprezanja uniformno raspoređuje duž elementa pod uglom od  $2\beta$  (videti sliku 8.18), počev od preseka u kojem je kraj uređaja za ankerovanje, pri čemu može da se pretpostavi da je  $\beta = \arctg 2/3$ .



Slika 8.18: Disperzija prethodnog naprezanja

### 8.10.4 ANKERI I NASTAVCI ZA KABLOVE ZA PRETHODNO NAPREZANJE

(1)P Uređaji za ankerovanje (*anchorage devices*) koji se koriste za kablove koji se naknadno zatežu moraju da odgovaraju specifikacijama za sistem za prethodno naprezanje koji se koristi. Dužine ankerovanja u slučaju prethodnog zatezanja moraju da omoguće da se ukupna proračunska nosivost kablova potpuno prenese na beton, vodeći računa o svim eventualnim ponavljanim, brzo promenljivim uticajima od dejstava.

**(2)P** Kada se koriste mehanički nastavci (*couplers*), oni moraju da odgovaraju nastavcima koji su specificirani za sistem za prethodno naprezanje koji se koristi i moraju da budu tako raspoređeni - vodeći računa o međusobnim uticajima koje takvi uređaji izazivaju - da ne utiču nepovoljno na nosivost elementa i da bilo kakvo privremeno ankerovanje, koje može da bude potrebno za vreme građenja, može da se primeni na zadovoljavajući način.

**(3)** Proračuni lokalnih uticaja u betonu i poprečne armature treba da odgovaraju zahtevima u 6.5 i 8.10.3.

**(4)** Generalno, nastavci treba da se rasporede van unutrašnjih oslonaca.

**(5)** Postavljanje nastavaka na 50% ili više kablova u istom poprečnom preseku treba izbeći, osim ako može da se dokaže da veći procenat neće povećati rizik po sigurnost konstrukcije.

### 8.10.5 DEVIJATORI

**(1)P** Devijator (*deviator*) mora zadovolji sledeće zahteve:

- da prihvati sve podužne i poprečne sile koje izaziva kabl za prethodno naprezanje i da prenese te sile na konstrukciju
- da poluprečnik krivine kabla za prethodno naprezanje ne izaziva nikakvo prekoračenje napona ili oštećenje kabla.

**(2)P** Kada je trasa kablova u krivini, zaštitne cevi kablova moraju da budu u stanju da prihvate radijalni pritisak i podužno pomeranje kabla za prethodno naprezanje, bez oštećenja niti ometanja njegovog ispravnog funkcionisanja.

**(3)P** Poluprečnik krivine kabla u zoni devijatora mora da bude u skladu sa EN 10138 i odgovarajućim Evropskim tehničkim odobrenjima.

**(4)** Proračunsko skretanje kabla sa uglom do **0,01 radijana** može da se dozvoli bez korišćenja devijatora. Sile koje nastaju pri promeni ugla, kada se koristi devijator koji je u skladu sa odgovarajućim ETA, treba da se uzmu u obzir u proračunu.

## GLAVA 9

KONSTRUKCIJSKI DETALJI ELEMENATA  
I POSEBNA PRAVILA

## 9.1 OPŠTE ODREDBE

(1)P Zahtevi u pogledu sigurnosti (*safety*), upotrebljivosti (*serviceability*) i trajnosti (*durability*) zadovoljeni su ako se postupa prema pravilima koja su data u ovoj glavi, kao i prema opštim pravilima datim u drugim delovima ovog standarda.

(2) Konstrukcijski detalji elemenata (*detailing of members*) treba da su saglasni sa usvojenim proračunskim modelima (*design models*).

(3) Minimalne površine armature date su da bi se sprečio krti lom (*brittle failure*), prsline velike širine (*wide cracks*) i da bi se prihvatile sile usled sprečenih dejstava (*restrained actions*).

**Napomena:** Pravila data u ovoj glavi važe najvećim delom za armiranobetonske zgrade.

## 9.2 GREDE

## 9.2.1 PODUŽNA ARMATURA

## 9.2.1.1 MINIMALNE I MAKSIMALNE POVRŠINE ARMATURE

(1) Površina podužne zategnute armature ne treba da bude manja od  $A_{s,min}$ .

**Napomena 1:** Videti i poglavlje 7.3 za površinu podužne zategnute armature za kontrolu prsline.

**Napomena 2:** Vrednost  $A_{s,min}$  za grede, koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost 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 odredi u zavisnosti od odgovajuće klase čvrstoće betona prema tabeli 3.1.

Alternativno, za sekundarne elemente za koje se može prihvatiti izvestan rizik od krtog loma, za vrednost  $A_{s,min}$  može da se usvoji površina 1,2 puta veća od površine sračunate za GSN.

(2) Preseke sa manje armature od  $A_{s,min}$  treba smatrati nearmiranim (videti glavu 12).

(3) Površina zategnute ili pritisnute armature u poprečnom preseku, izvan zona nastavljanja armature preklapanjem, ne treba da bude veća od  $A_{s,max}$ .

**Napomena:** Vrednost  $A_{s,max}$  za grede, koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je  $0,04 A_c$ .

(4) Za elemente prethodno napregnute kablovima koji trajno ne prijanjaju sa betonom (*unbonded tendons*), ili spoljašnjim kablovima (*external prestressing*), treba proveriti da li je nosivost pri savijanju (*ultimate bending capacity*) veća od momenta savijanja pri pojavi prsline (*flexural cracking moment*). Dovoljno je da nosivost pri savijanju bude 1,15 puta veća od momenta savijanja pri pojavi prsline.

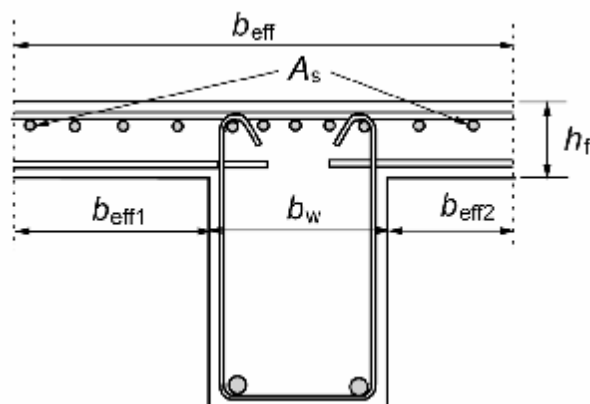
### 9.2.1.2 DRUGI KONSTRUKCIJSKI DETALJI

(1) U monolitno izvedenim konstrukcijama (*monolithic construction*), čak i kada su u proračunu pretpostavljeni prosti oslonci, preseci na osloncima treba da se proračunaju za momenat savijanja koji nastaje usled parcijalne uklještenosti nosača. Taj momenat treba da je najmanje jednak maksimalnom momentu savijanja u rasponu, umanjenom sa koeficijentom  $\beta_1$ .

**Napomena 1:** Vrednost  $\beta_1$  za grede, koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **0,15**.

**Napomena 2:** Važi minimalna površina podužne armature definisana u 9.2.1.1 (1).

(2) Na srednjim osloncima kontinualnih greda ukupna površina zategnute armature  $A_s$  u poprečnom preseku sa flanšom (pločom) (*flanged cross-section*) treba da se rasporedi na efektivnoj (sadejstvjujućoj) širini flanše (videti 5.3.2). Deo ukupne zategnute armature može da se skoncentriše na širini rebra (videti sliku 9.1).



**Slika 9.1:** Raspored zategnute armature u poprečnom preseku sa flanšom

(3) Svaka pritisnuta šipka podužne armature (prečnika  $\emptyset$ ) koja je uzeta u obzir u proračunu nosivosti, treba da bude obuhvaćena poprečnom armaturom na rastojanju ne većem od **15 $\emptyset$** .

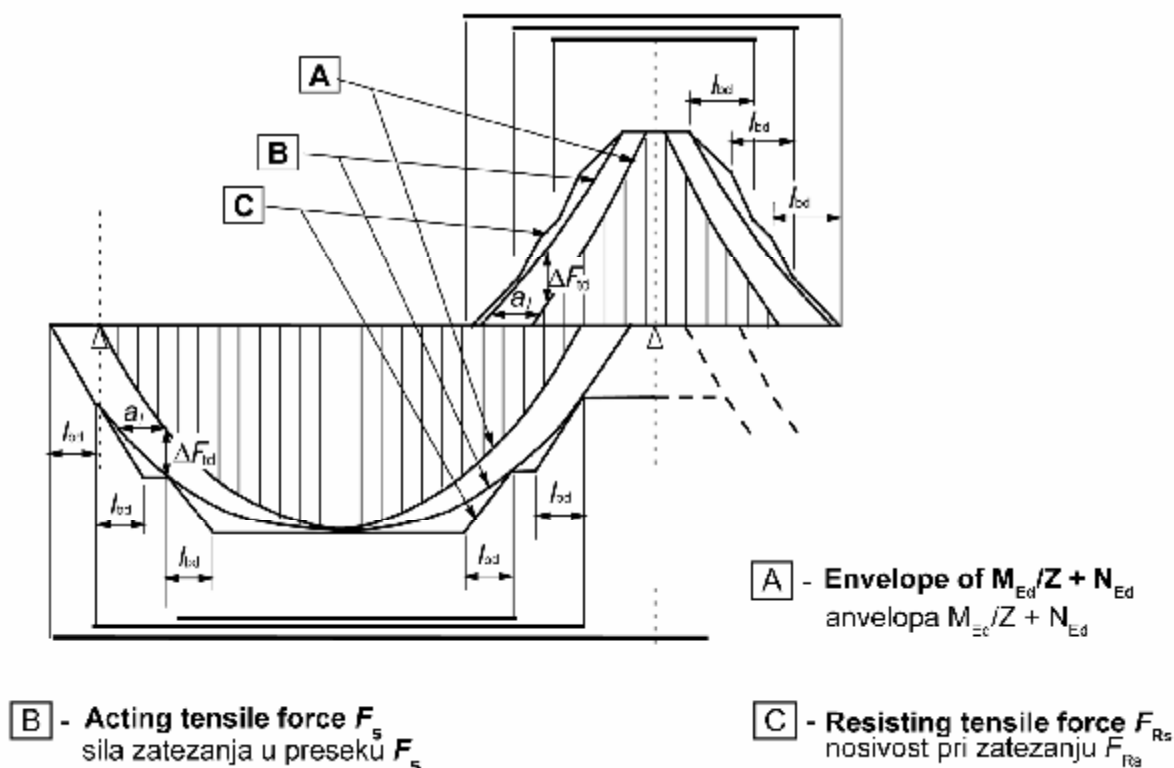
### 9.2.1.3 PREKIDANJE PODUŽNE ZATEGNUTE ARMATURE

(1) U svim presecima treba da se obezbedi armatura dovoljna za prihvatanje anvelope sile zatezanja u preseku, uključujući uticaj kosih prslina u rebrima i flanšama.

(2) Za elemente sa armaturom za smicanje treba da se sračuna dodatna sila zatezanja,  $\Delta F_{td}$ , prema 6.2.3 (7). Za elemente bez armature za smicanje  $\Delta F_{td}$  može da se uzme u obzir pomeranjem dijagrama momenta savijanja za dužinu  $a_1 = d$ , prema 6.2.2 (5). To "pravilo pomeranja" ("*shift rule*") može da se koristi i kao alternativa za elemente sa armaturom za smicanje, gde je:

$$a_1 = z (\text{ctg } \theta - \text{ctg } \alpha) / 2 \quad (\text{oznake definisane u 6.2.3}) \quad (9.2)$$

Dodatna sila zatezanja prikazana je na slici 9.2.



**Slika 9.2: Prekidanje podužne armature, sa uzimanjem u obzir uticaja kosih prslina i nosivosti armature na dužinama ankerovanja**

(3) Nosivost šipke na dužinama ankerovanja može da se uzme u obzir u proračunu pretpostavljajući linearnu promenu sile, videti sliku 9.2. Na strani sigurnosti je uprošćenje da se taj doprinos zanemari.

(4) Dužina ankerovanja savijene šipke koja učestvuje u prihvatanju smicanja ne treba da bude manja od  $1,3 l_{bd}$  u zategnutoj zoni, a manja od  $0,7 l_{bd}$  u pritisnutoj zoni. Ta dužina se meri od presečne tačke osa savijene šipke i podužne armature.

#### 9.2.1.4 ANKEROVANJE DONJE ARMATURE NA KRAJNIM OSLONCIMA

(1) Površina donje armature (*bottom reinforcement*) na krajnjim osloncima, na kojima u proračunu nije pretpostavljeno ili je uzeto u obzir samo delimično ukleštenje, treba da bude najmanje jednaka površini armature koja je potrebna u rasponu, umanjenoj sa koeficijentom  $\beta_2$ .

**Napomena:** Vrednost  $\beta_2$  za grede, koja se primenjuje u određenoj zemlji data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **0,25**.

(2) Sila zatezanja koja treba da se ankeruje može da se odredi prema 6.2.6 (7) (za elemente sa armaturom za smicanje), uključujući uticaj aksijalne sile, ako postoji, ili prema "pravilu pomeranja":

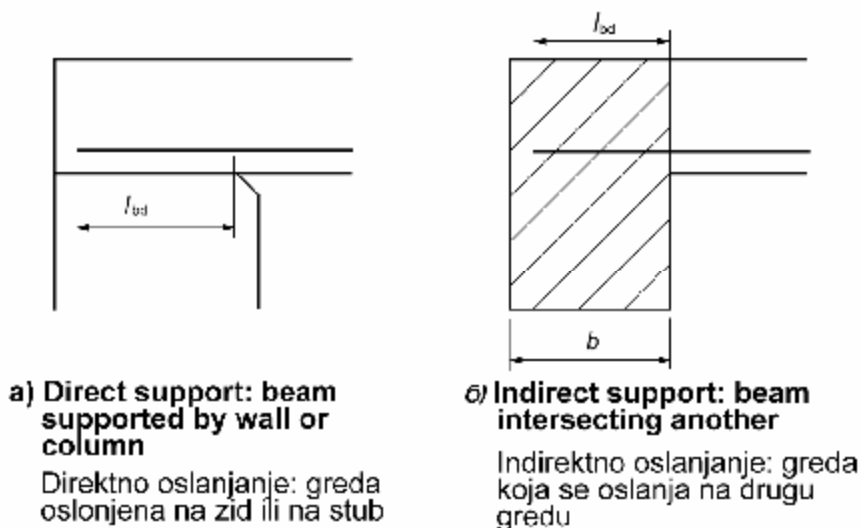
$$F_E = |V_{Ed}| \cdot a_1/z + N_{Ed} \quad (9.3)$$

gde je:

$N_{Ed}$  aksijalna sila, koju treba dodati ili oduzeti od sile zatezanja

$a_1$  videti 9.2.1.3 (2).

(3) Dužina ankerovanja donje armature na krajnjim osloncima  $l_{bd}$ , određuje se prema 8.4.4 i odmerava od linije kontakta između grede i oslonca. Pritisak u poprečnom pravcu može da se uzme u obzir za direktno oslanjanje (*direct support*). Videti sliku 9.3.



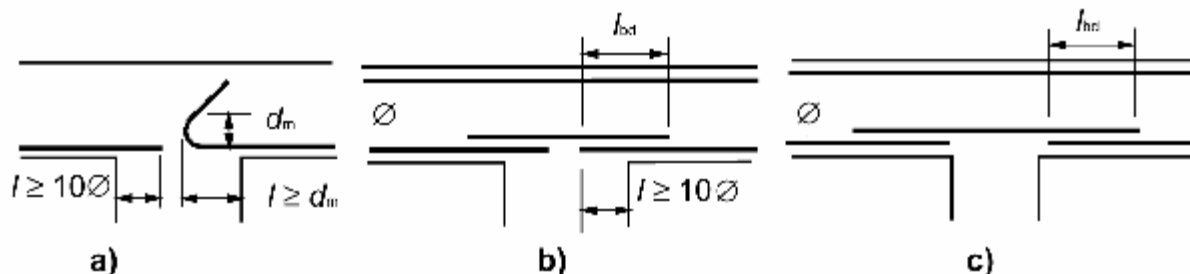
Slika 9.3: Ankerovanje donje armature na krajnjim osloncima

### 9.2.1.5 ANKEROVANJE DONJE ARMATURE NA SREDNjim OSLONCIMA

(1) Važi površina armature data u 9.2.1.4 (1).

(2) Dužina ankerovanja ne treba da bude manja od  $10\varnothing$  (za prave šipke), ili ne manja od prečnika valjka za savijanje (*mandrel*) (za šipke prečnika najmanje **16 mm**, sa pravougaonim ili polukružnim kukama), ili od dvostrukog prečnika valjka (u drugim slučajevima) (videti sliku 9.4 a)). Ove minimalne vrednosti normalno zadovoljavaju ali se tačnija analiza može da sprovede prema 6.6.

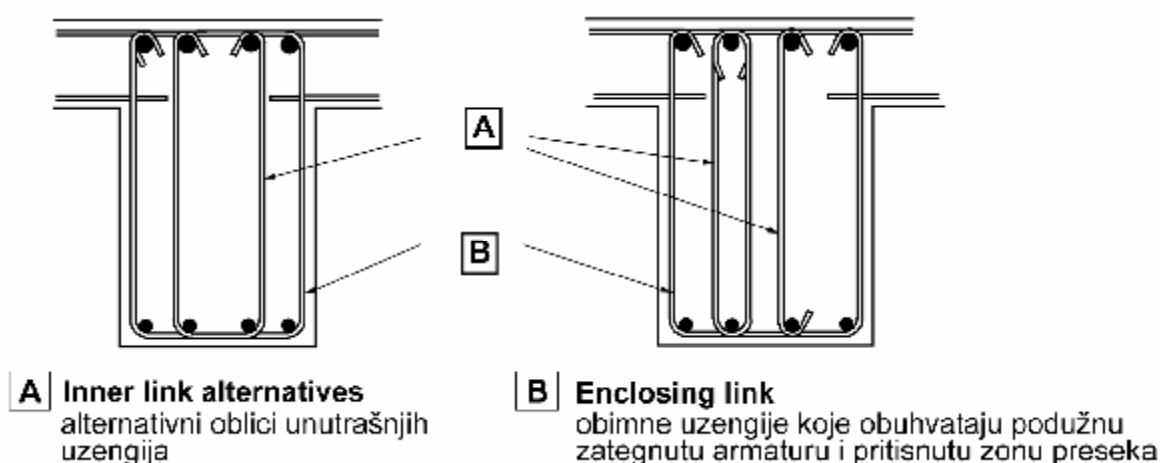
(3) Armatura koja je potrebna za prihvatanje eventualnih pozitivnih momenata (na primer, usled sleganja oslonca, eksplozije, itd.) treba da bude specificirana u ugovornim dokumentima. Ta armatura treba da je kontinualna a šipke mogu da se nastave preklapanjem (videti slike 9.4 b) ili c)).



Slika 9.4: Ankerovanje na srednjim osloncima

## 9.2.2 ARMATURA ZA SMICANJE

- (1) Armatura za smicanje treba da bude pod uglom  $\alpha$  između  $45^\circ$  i  $90^\circ$  u odnosu na podužnu osu konstrukcijskog elementa.
- (2) Armatura za smicanje može da se sastoji od kombinacije:
- uzengija (poprečne vezne armature) (*links*), koje obuhvataju podužnu zategnutu armaturu i pritisnutu zonu preseka i mogu da budu obimne ili unutrašnje, zatvorene ili otvorene (videti sliku 9.5)
  - koso povijenih šipki (*bent-up bars*)
  - drugih oblika poprečne armature (armaturnih "kaveza", "lestvičaste" armature, itd.) (*cages, ladders*), koja je ugrađena tako da ne obuhvata zategnutu armaturu ali je odgovarajuće ankerovana u pritisnutoj i u zategnutoj zoni.



Slika 9.5: Primeri armature za smicanje

- (3) Armatura za smicanje treba da je efikasno ankerovana. Nastavak preklapanjem na vertikalnom delu uzengija uz spoljašnju površinu rebra (grede) dopušten je pod uslovom da uzengija ne prihvata uticaje od torzije.
- (4) Deo armature za smicanje u obliku uzengija (*links*) (koje obuhvataju podužnu zategnutu armaturu i pritisnutu zonu preseka, treba da bude najmanje  $\beta_3$  od ukupne armature potrebne za smicanje.
- Napomena:** Vrednost  $\beta_3$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je 0,5.
- (5) Koeficijent armature za smicanje (odnos površine armature za smicanje i površine betona) (*ratio of shear reinforcement*) dat je izrazom (9.4):

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

gde je:

- $\rho_w$  koeficijent armature za smicanje  $\geq \rho_{w,min}$
- $A_{sw}$  površina armature za smicanje na dužini  $s$
- $s$  međusobno rastojanje armature za smicanje, mereno duž podužne ose elementa
- $b_w$  širina rebra elementa

$\alpha$  ugao između armature za smicanje i podužne ose (videti 9.2.2 (1)).

**Napomena:** Vrednost  $\rho_{w,min}$  za grede, koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost data je izrazom (9.5N):

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

(6) Maksimalno podužno rastojanje između elemenata armature za smicanje ne treba da bude veće od  $s_{l,max}$ .

**Napomena:** Vrednost  $s_{l,max}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost data je izrazom (9.6N):

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + ctg \alpha) \quad (9.6N)$$

gde je  $\alpha$  nagib armature za smicanje u odnosu na podužnu osu grede.

(7) Maksimalno podužno rastojanje koso povijenih šipki ne treba da bude veće od  $s_{b,max}$ .

**Napomena:** Vrednost  $s_{b,max}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost data je izrazom (9.7N):

$$s_{b,max} = 0,6 d (1 + ctg \alpha) \quad (9.7N)$$

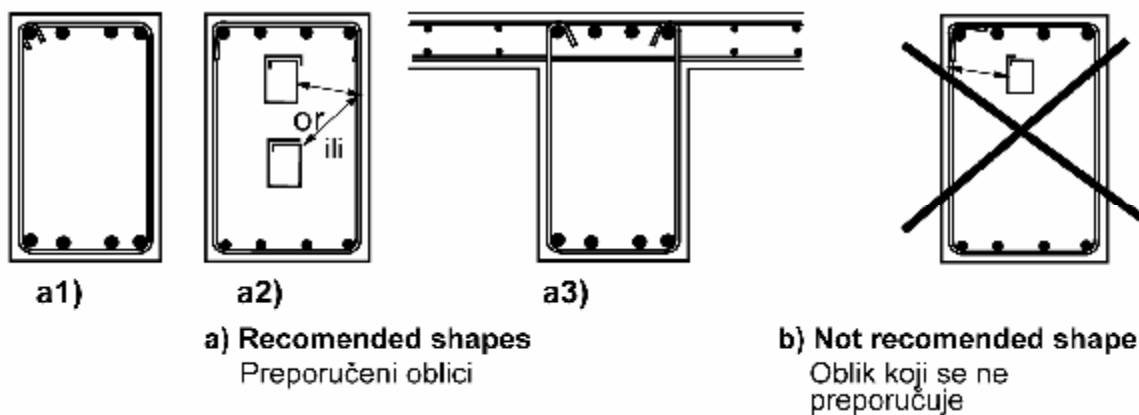
(8) Rastojanje nožica (vertikalnih stranica) uzengija (*legs*) u poprečnom pravcu u preseku ne treba da bude veće od  $s_{t,max}$ .

**Napomena:** Vrednost  $s_{t,max}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost data je izrazom (9.8N):

$$s_{t,max} = 0,75 d \leq 600 \text{ mm}. \quad (9.8N)$$

### 9.2.3 ARMATURA ZA TORZIJU

(1) Torzione uzengije (uzengije za torziju) (*torsion links*) treba da budu zatvorene i ankerovane preklapanjem ili polukružnim kukama na krajevima, videti sliku 9.6, i treba da budu pod uglom od  $90^\circ$  u odnosu na osu konstrukcijskog elementa.



**Napomena:** Za drugu alternativu na skici a2) (donja skica) gornja stranica uzengije treba da ima potrebnu dužinu za nastavljajanje preklapanjem.

**Slika 9.6: Primeri oblika torzionih uzengija**

(2) Odredbe 9.2.2 (5) i (6) generalno su dovoljne da obezbede zahtevani minimum torzionih uzengija.

(3) Podužno rastojanje torzionih uzengija ne treba da bude veće od  $u/8$  (videti 6.3.2, slika 6.11 za oznake), ili od zahteva u 9.2.2 (6), ili od manje dimenzije poprečnog preseka grede.

(4) Podužne šipke treba rasporediti tako da bar jedna šipka bude u svakom uglu a da su ostale šipke uniformno raspoređene duž unutrašnje konture uzengija, na međusobnom rastojanju koje nije veće od **350 mm**.

#### 9.2.4 POVRŠINSKA ARMATURA

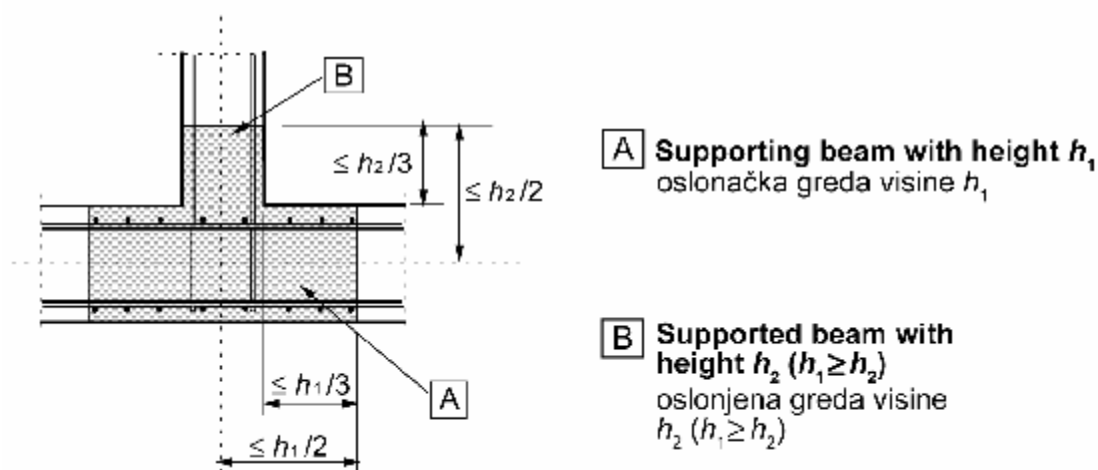
(1) Može da bude potrebno da se predvidi površinska armatura (*surface reinforcement*), za kontrolu prslina ili za osiguranje adekvatne otpornosti na odlamanje zaštitnog sloja betona.

**Napomena:** Pravila za konstrukcijske detalje površinske armature data su u informativnom Aneksu J.

#### 9.2.5 INDIREKTNI OSLONCI

(1) Kada je greda oslonjena na drugu gredu a ne na zid ili stub, treba da se predvidi i sračuna posebna armatura i detalji za prihvatanje međusobnih uticaja ta dva elementa. Ta armatura je dodatna armatura u odnosu na armaturu koja se zahteva iz drugih razloga. Ovo pravilo se odnosi i na ploču koja nije oslonjena na gornju stranu grede.

(2) Oslonačka armatura (*supporting reinforcement*) između takve dve grede (oslonjene grede i oslonačke grede), treba da se sastoji od uzengija koje obuhvataju glavnu armaturu oslonačke grede. Deo tih uzengija može da se rasporedi izvan betona koji je zajednički za obe grede, (videti sliku 9.7).



**Slika 9.7: Raspored oslonačke armature u presečnoj zoni dve grede (izgled u osnovi)**

#### 9.3 PUNE PLOČE

(1) Ovo poglavlje odnosi se na pune ploče (*solid slabs*) koje nose u jednom pravcu (*one-way*) i u dva pravca (*two-way*), čije dimenzije  $b$  i  $l_{\text{eff}}$  nisu manje od  $5h$  (videti 5.3.1).

## 9.3.1 ARMATURA ZA SAVIJANJE

### 9.3.1.1 OPŠTE ODREDBE

(1) Za minimalne i za maksimalne procenete armature (koeficijente armature izražene u procentima) u glavnom pravcu važe 9.2.1.1 (1) i (3).

**Napomena:** Osim napomene 2 u 9.2.1.1 (1), za ploče za koje je rizik od krčkog loma (*risk of brittle failure*) mali, za  $A_{s,min}$  može da se usvoji 1,2 puta veća površina od one koju zahteva proračun za GSN.

(2) U pločama koje nose u jednom pravcu treba predvideti podeonu poprečnu armaturu (*secondary transverse reinforcement*) koja nije manja od 20% glavne armature. U zonama u blizini oslonaca, za glavnu armaturu u gornjoj zoni podeona armatura nije potrebna, ukoliko nema transverzalnih momenata savijanja.

(3) Međusobno rastojanje šipki armature ne treba da bude veće od  $s_{max,slabs}$ .

**Napomena:** Vrednost  $s_{max,slabs}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti su:

- za glavnu armaturu,  $3h \leq 400 \text{ mm}$ , gde je  $h$  ukupna debljina ploče
- za podeonu armaturu,  $3,5h \leq 450 \text{ mm}$ .

Na delovima ploče sa koncentrisanim opterećenjima, ili u zonama maksimalnih momenata savijanja, ove vrednosti su:

- za glavnu armaturu,  $2h \leq 250 \text{ mm}$
- za podeonu armaturu,  $3h \leq 400 \text{ mm}$ .

(4) Pravila data u 9.2.1.3 (1) do (3), 9.2.1.4 (1) do (3) i 9.2.1.5 (1) i (2) važe i za pune ploče, sa  $a_1 = d$ .

### 9.3.1.2 ARMATURA U PLOČAMA U BLIZINI OSLONACA

(1) U prosto oslonjenim pločama polovina armature sračunate u rasponu treba da se produži do oslonca i da se tamo ankeruje prema 8.4.4.

**Napomena:** Prekidanje i ankerovanje armature može da se izvede prema 9.2.1.3, 9.2.1.4 i 9.2.1.5.

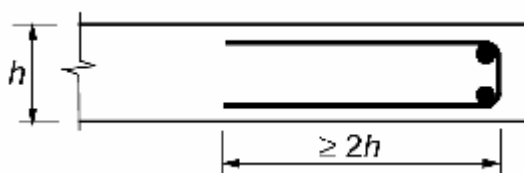
(2) Kada duž ivice ploče postoji delimično uklještenje, koje nije uzeto u obzir u proračunu, armatura u gornjoj zoni treba da se sračuna tako da može da prihvati najmanje 25% od maksimalnog momenta u susednom rasponu. Ta armatura treba da pokriva dužinu od najmanje 0,2 susednog raspona, mereno od ivice oslonca. Ona treba da bude kontinualna preko unutrašnjih oslonaca i ankerovana na krajnjim osloncima. Na krajnjem osloncu moment može da se smanji na 15% od maksimalnog momenta u susednom rasponu.

### 9.3.1.3 ARMATURA U UGLOVIMA PLOČA

(1) Ako je konstrukcijska dispozicija detalja takva da je sprečeno odizanje ugla ploče, treba da se predvidi odgovarajuća armatura (*corner reinforcement*).

### 9.3.1.4 ARMATURA NA SLOBODNIM IVICAMA

(1) Duž slobodne (neoslonjene) ivice (*free edge*), ploča normalno treba da se armira poprečnom i dužnom armaturom, generalno kako je prikazano na slici 9.8.



**Slika 9.8: Ivična armatura za ploču**

(2) Uobičajena armatura kakva se predviđa za ploču može da se koristi i kao ivična armatura ploče (*edge reinforcement*).

### 9.3.2 ARMATURA ZA SMICANJE

(1) Armatura za smicanje (*shear reinforcement*) u ploči predviđa se ako je debljina ploče najmanje **200 mm**.

(2) Pri konstruisanju detalja armature za smicanje važe minimalna vrednost i definicija koeficijenta armiranja data u 9.2.2, ukoliko u sledećim odredbama to nije izmenjeno.

(3) Ako je u pločama  $|V_{Ed}| \leq 1/3 V_{Rd,max}$ , (videti 6.2), sva armatura za smicanje može da se sastoji od koso povijenih šipki ili od drugih oblika armature za smicanje.

(4) Maksimalno podužno rastojanje uzastopnog niza uzengija dato je izrazom:

$$s_{max} = 0,75 d (1 + ctg \alpha) \quad (9.9)$$

gde je  $\alpha$  nagib armature za smicanje.

Maksimalno podužno rastojanje koso povijenih šipki dato je izrazom:

$$s_{max} = d \quad (9.10)$$

(5) Maksimalno poprečno rastojanje armature za smicanje ne treba da bude veće od **1,5d**.

## 9.4 RAVNE PLOČE

### 9.4.1 PLOČA NAD UNUTRAŠNJIM STUBOVIMA

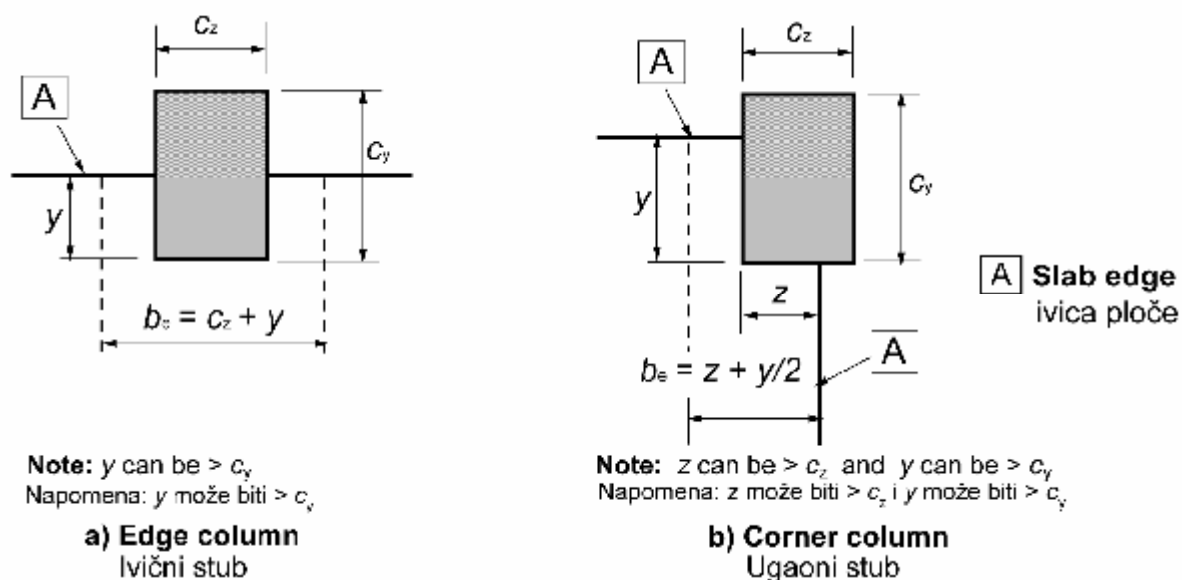
(1) Raspored armature u konstrukcijama ravnih ploča (pločama bez kapitela) (*flat slabs*) treba da odgovara ponašanju u stanjima u eksploataciji. Generalno, to zahteva koncentraciju armature nad stubovima.

(2) Nad unutrašnjim stubovima, osim kada su sprovedene strožije analize ponašanja u stanjima u eksploataciji, gornja armatura, površine **0,5 A<sub>t</sub>**, treba da se rasporedi na širini jednakoj zbiru veličina **0,125** raspona (širine) polja ploče sa obe strane stuba. A<sub>t</sub> je površina armature koja je potrebna da prihvati ukupan negativan momenat, jednak zbiru momenata na polovinama širine polja ploče sa obe strane stuba.

(3) Nad unutrašnjim stubovima treba da se predvidi donja armatura ( $\geq 2$  šipke) u oba ortogonalna pravca. Ta armatura treba da prolazi kroz stub.

### 9.4.2 PLOČA NAD IVIČNIM I UGAONIM STUBOVIMA

(1) Armaturu upravnu na slobodnu ivicu, koja je potrebna da prenese momente savijanja iz ploče u ivični ili ugaoni stub, treba rasporediti na efektivnoj širini  $b_e$  koja je prikazana na slici 9.9.



**Napomena:**  $y$  je rastojanje od ivice ploče do unutrašnje ivice stuba koja je najviše udaljena od ivice ploče.

Slika 9.9: Efektivna širina  $b_e$  ravne ploče bez kapitela

### 9.4.3 ARMATURA ZA SMICANJE OD PROBIJANJA

(1) Kada je potrebna armatura za smicanje od probijanja (*punching shear reinforcement*), (videti 6.4), tu armaturu treba rasporediti između opterećene površine/stuba (*loaded area/column*) i konture na rastojanju  $kd$  unutar kontrolnog obima (perimetra) (*control perimeter*) na kojem armatura za smicanje više nije potrebna. Na toj površini nožice uzengija (*link legs*), treba da se rasporede duž najmanje dva obima oko opterećene površine. Međusobno rastojanje obima po kojima je raspoređena armatura za smicanje ne treba da bude veće od  $0,75d$  (videti sliku 9.10).

Međusobno rastojanje nožica armature za smicanje duž konture prvog kontrolnog obima ( $2d$  od opterećene površine), ne treba da bude veće od  $1,5d$ , a duž ostalih obima, dalje od prvog kontrolnog obima, na delu na kojem je još potrebna armatura za smicanje od probijanja, ne treba da bude veće od  $2d$  (videti sliku 6.22).

Kada se za armaturu za smicanje koriste koso povijene šipke iz gornje u donju zonu (*bent down bars*), raspoređene kao na slici 9.10 b), može da se smatra da je jedan obim nožica uzengija dovoljan.

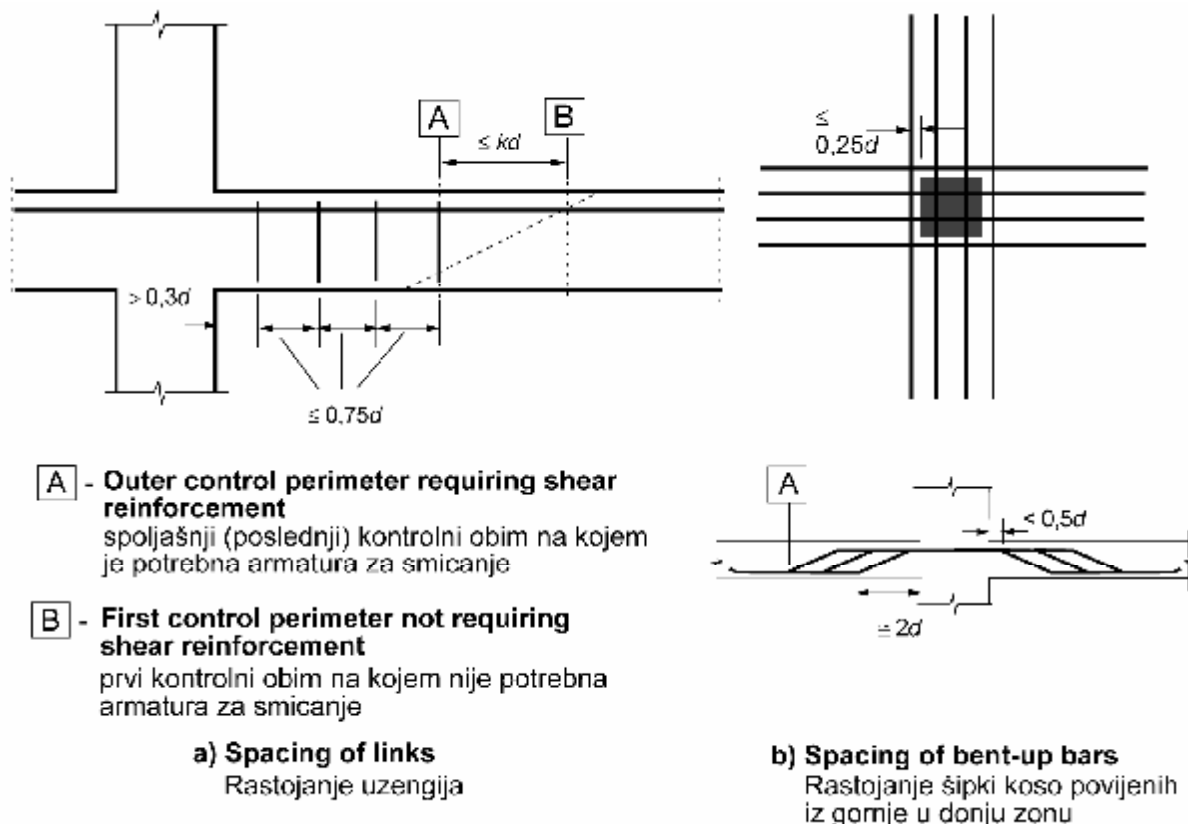
(2) Kada je armatura za smicanje potrebna, površina jedne nožice uzengije (*link leg*) (ili ekvivalentne armature za smicanje)  $A_{sw,min}$ , data je izrazom (9.11).

**Napomena:** Videti 6.4.5 (4) za vrednost  $k$ .

$$A_{sw,min} \cdot (1,5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) / (s_r \cdot s_t) \geq 0,08 \cdot \sqrt{(f_{ck}) / f_{yk}} \quad (9.11)$$

gde je:

- $\alpha$  ugao između armature za smicanje i glavne armature (za vertikalne uzengije  
 $\alpha = 90^\circ$  i  $\sin \alpha = 1$ )
- $s_r$  rastojanje nožica uzengija (armature za smicanje) u radijalnom pravcu
- $s_t$  rastojanje nožica uzengija (armature za smicanje) u tangencijalnom pravcu
- $f_{ck}$  u MPa.



**Slika 9.10: Armatura za smicanje od probijanja**

U proračunu smicanja mogu da se uzmu u obzir vertikalne komponente samo onih kablova za prethodno naprezanje koji prolaze na rastojanju od stuba koje nije veće od **0,5d**.

(3) Savijene šipke koje prolaze kroz opterećenu površinu, ili na rastojanju ne većem od **0,25d** od te površine, mogu da se koriste kao armatura za smicanje od probijanja (videti gornju skicu na slici 9.10 b)).

(4) Rastojanje između ivice oslonca, ili obima opterećene površine, i najbliže armature za smicanje koja je uzeta u obzir u proračunu, ne treba da bude veće od **d/2**. To rastojanje treba da se meri na nivou zategnute armature. Ukoliko je predviđena samo jedna linija koso povijenih šipki, njihov nagib može da se smanji na **30°**.

## 9.5 STUBOVI

### 9.5.1 OPŠTA ODREDBA

(1) Ovo poglavlje odnosi se na stubove (*columns*) čija veća dimenzija poprečnog preseka **h** nije veća od četverostruke manje dimenzije **b**.

## 9.5.2 PODUŽNA ARMATURA

- (1) Prečnik podužnih šipki ne treba da bude manji od  $\varnothing_{\min}$ .

**Napomena:** Vrednost  $\varnothing_{\min}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **8 mm**.

- (2) Ukupna površina podužne armature ne treba da bude manja od  $A_{s,\min}$ .

**Napomena:** Vrednost  $A_{s,\min}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je veća od vrednosti datih izrazima (9.12N):

$$A_{s,\min} = \frac{0,10 N_{Ed}}{f_{yd}} \quad \text{ili} \quad 0,002 A_c \quad (9.12N)$$

gde je:

$f_{yd}$  proračunska granica razvlačenja armature  
 $N_{Ed}$  proračunska aksijalna sila pritiska.

- (3) Površina podužne armature ne treba da bude veća od  $A_{s,\max}$ .

**Napomena:** Vrednost  $A_{s,\max}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost izvan zona nastavljanja armature preklapanjem je **0,04  $A_c$** , osim ako može da se dokaže da se kompaktnost betona ne dovodi u pitanje i da može da se postigne puna čvrstoća u GSN. Ova granična vrednost može da se poveća na **0,08  $A_c$**  u presecima u kojima se armatura nastavlja preklapanjem.

- (4) Za stubove poligonalnog poprečnog preseka najmanje jedna šipka treba da bude postavljena u svaki ugao. U stubu kružnog preseka broj podužnih šipki ne treba da bude manji od **4**.

## 9.5.3 POPREČNA ARMATURA

- (1) Prečnik poprečne (transverzalne) armature (uzengije, petlje ili spiralna armatura) (*links, loops or helical spiral reinforcement*), ne treba da bude manji od **6 mm**, niti manji od jedne četvrtine maksimalnog prečnika podužnih šipki. Prečnik žica zavarene armature mreže, kada se koristi kao poprečna armatura stuba, ne treba da bude manji od **5 mm**.

- (2) Poprečna armatura treba da bude adekvatno ankerovana.

- (3) Rastojanje poprečne armature duž stuba ne treba da bude veće od  $s_{cl,tmax}$ .

**Napomena:** Vrednost  $s_{cl,tmax}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je najmanja od sledeće tri:

- **20** puta minimalni prečnik podužnih šipki
- manja dimenzija poprečnog preseka stuba
- **400 mm**.

- (4) Maksimalno rastojanje, ograničeno u (3) u prethodnom tekstu, treba da se smanji sa faktorom **0,6**:

- (i) u presecima iznad i ispod grede ili ploče, na visini jednakoj većoj dimenziji poprečnog preseka stuba
- (ii) u zoni nastavljanja armature preklapanjem, ako je maksimalni prečnik podužnih šipki veći od **14 mm**. Na dužini preklapanja treba da se predvide najmanje **3** šipke raspoređene na jednakom međusobnom rastojanju.

(5) Kada se menja pravac podužnih šipki, (na primer, u slučaju promene dimenzija stuba), rastojanje poprečne armature treba da se sračuna uzimajući u obzir bočne sile koje usled tog skretanja nastaju. Ti uticaji mogu da se zanemare ako je promena pravca manja ili jednaka  $1/12$ .

(6) Svaka podužna šipka ili svežanj šipki (*bundle of bars*) u uglu poprečnog preseka treba da budu prihvaćeni poprečnom armaturom. U pritisnutoj zoni nijedna šipka u preseku ne treba da bude na rastojanju većem od **150 mm** od šipke čije je pomeranje sprečeno poprečnom armaturom (*restrained bar*).

## 9.6 ZIDOVI

### 9.6.1 OPŠTA ODREDBA

(1) Ovo poglavlje odnosi se na armiranobetonske zidove čiji je odnos dužine prema debljini **4** ili više, i u kojima je armatura uzeta u obzir u proračunu nosivosti. Količina i odgovarajući raspored i konstrukcijski detalji armature mogu da se odrede primenom modela sa pritisnutim štapovima i zategama (*strut-and-tie model*) (videti 6.5). Za zidove koji su dominantno izloženi savijanju van svoje ravni važe pravila za ploče (videti 9.3).

### 9.6.2 VERTIKALNA ARMATURA

(1) Površina vertikalne armature treba da bude između  $A_{s,vmin}$  i  $A_{s,vmax}$ .

**Napomena 1:** Vrednost  $A_{s,vmin}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **0,002  $A_c$** .

**Napomena 2:** Vrednost  $A_{s,vmax}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost izvan zona nastavljanja armature preklapanjem je **0,04  $A_c$** , osim ako može da se dokaže da se kompaktnost betona ne dovodi u pitanje i da može da se postigne puna čvrstoća u GSN. Ova granična vrednost može da se udvostruči u zonama nastavljanja armature preklapanjem.

(2) Kada je, prema proračunu, dovoljna minimalna površina vertikalne armature,  $A_{s,vmin}$ , po jedna polovina te armature treba da se rasporedi na svakoj strani zida.

(3) Rastojanje između dve susedne vertikalne šipke ne sme da bude veće od trostruke debljine zida, niti od **400 mm**.

### 9.6.3 HORIZONTALNA ARMATURA

(1) Horizontalna armatura paralelna stranama zida (i slobodnim ivicama) treba da se predvidi na svakoj površini zida. Ta armatura ne treba da bude manja od  $A_{s,hmin}$ .

**Napomena:** Vrednost  $A_{s,hmin}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost ne treba da bude manja od **25%** od vertikalne armature, niti od **0,001  $A_c$** .

(2) Rastojanje dve susedne horizontalne šipke ne treba da bude veće od **400 mm**.

### 9.6.4 POPREČNA ARMATURA

(1) U svakom delu zida u kojem je ukupna površina vertikalne armature sa obe strane zida veća od **0,02  $A_c$** , treba predvideti poprečnu armaturu u obliku uzengija ili vezne armature,

## EN 1992-1-1:2004

prema zahtevima za stubove (videti 9.5.3). Veća dimenzija, na koju se odnosi 9.5.3 (4) (i), ne treba da se uzme veća od 4 debljine zida.

(2) Kada je glavna armatura raspoređena najbliže stranama zida, poprečnu armaturu treba isto predvideti u obliku uzengija ili vezne armature. Takve armature treba da bude najmanje 4 šipke po m<sup>2</sup> površine zida.

**Napomena:** Poprečna armatura ne treba da se predvidi kada se zid armira sa zavarenom armaturnom mrežom sa šipkama  $\varnothing \leq 16 \text{ mm}$  i sa zaštitnim slojem betona većim od  $2\varnothing$ .

### 9.7 VISOKI NOSAČI

(1) Visoki nosači (*deep beams*) (za definiciju videti 5.3.1 (3)), normalno treba da se armiraju ortogonalnom mrežom armature neposredno uz svaku stranu nosača, sa minimalnom površinom armature  $A_{s,dbmin}$ .

**Napomena:** Vrednost  $A_{s,dbmin}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je 0,1%, ali ne manje od  $150 \text{ mm}^2/\text{m}$  na svakoj strani grede i u oba pravca.

(2) Rastojanje između dve susedne šipke u mreži treba da bude najviše jednako manjoj od sledeće dve vrednosti: dvostruke debljine visoke grede, ili 300 mm.

(3) Armatura koja odgovara zategama predviđenim u proračunskom modelu za ravnotežno stanje u čvoru treba da bude potpuno ankerovana, videti 6.5.4, savijanjem šipki, U-petljama ili uređajima za ankerovanje, osim ako je na raspolaganju dovoljna dužina između čvora i kraja grede koja omogućava dužinu ankerovanja  $l_{bd}$ .

### 9.8 TEMELJI

#### 9.8.1 STOPE NA ŠIPOVIMA

(1) Rastojanje između spoljnih ivica šipa i stope (kape) na šipovima (*pile cap*) treba da bude takvo da se sile zatezanja u stopi na šipovima mogu na zadovoljavajući način da ankeruju. Treba voditi računa o očekivanim odstupanjima (tolerancijama) položaja šipova na gradilištu.

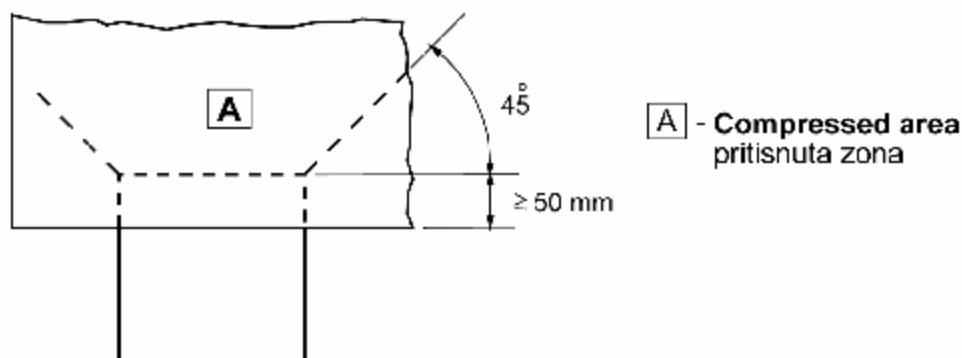
(2) Armatura u stopi na šipovima treba da se sračuna prema metodi koja u datom slučaju bolje odgovara: prema modelu pritisnutih štapova i zatega ili prema savijanju.

(3) Glavna zategnuta armatura koja je potrebna za prihvatanje uticaja usled dejstava na stopu na šipovima, treba da se skoncentriše u zonama napona zatezanja, između vrhova šipova. Treba voditi računa da minimalni prečnik šipki bude najmanje  $\varnothing_{min}$ . Ako je površina te armature najmanje jednaka minimalnoj površini armature, jednako raspoređene šipke duž donje površine elementa mogu da se izostave. Isto tako, i bočne strane i gornja površina elementa mogu da ostanu nearmirane ako nema nikakvog rizika od pojave zatezanja u tim delovima elementa.

**Napomena:** Vrednost  $\varnothing_{min}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je 8 mm.

(4) Zavarene poprečne šipke mogu da se koriste za ankerovanje zategnute armature. U tom slučaju može da se smatra da poprečna šipka predstavlja poprečnu armaturu u zoni ankerovanja posmatrane šipke glavne zategnute armature.

(5) Može da se pretpostavi da se pritisak koji je izazvan oslonačkom reakcijom šipa rasprostire pod uglom od  $45^\circ$  od ivice šipa (videti sliku 9.11). Ovaj pritisak može da se uzme u obzir kada se proračunava dužina ankerovanja.



Slika 9.11: Pritisnuta zona koja povećava efikasnost ankerovanja

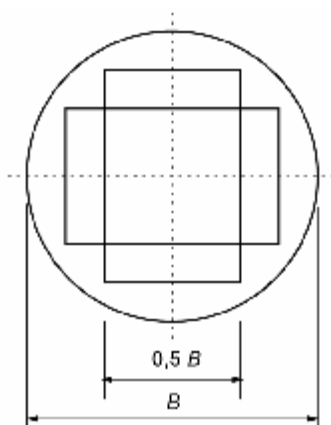
## 9.8.2 TEMELJNE STOPE STUBOVA I ZIDOVA

### 9.8.2.1 OPŠTE ODREDBE

(1) Glavna armatura treba da bude ankerovana u skladu sa zahtevima u 8.4 i 8.5. Treba predvideti minimalni prečnik šipke  $\varnothing_{\min}$ . Za temeljne stope može da se koristi proračunski model prikazan u 9.8.2.2.

**Napomena:** Vrednost  $\varnothing_{\min}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **8 mm**.

(2) Glavna armatura kružnih temeljnih stopa može da bude ortogonalna i skoncentrisana u sredini stope, na širini  $50\% \pm 10\%$  prečnika stope, videti sliku 9.12. U tom slučaju, za potrebe proračuna, može da se smatra da su nearmirani delovi elementa od nearmiranog betona.

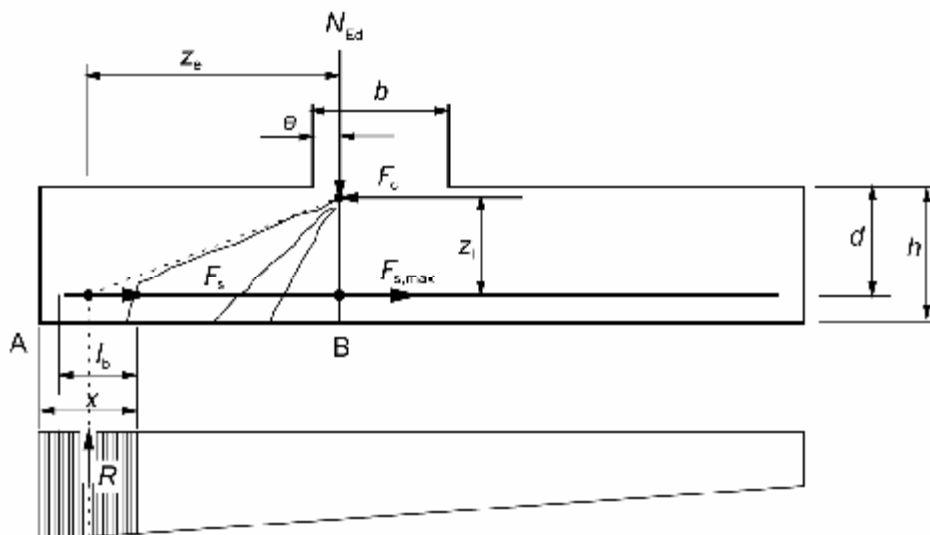


Slika 9.12: Ortogonalna armatura u kružnoj temeljnoj stopi na tlu

(3) Ako uticaji od dejstava izazivaju zatezanje na gornjoj površini temeljne stope, rezultujući naponi zatezanja treba da se proračunaju i prihvate potrebnom armaturom.

9.8.2.2 ANKEROVANJE ŠIPKI

(1) Sila zatezanja u armaturi određuje se iz uslova ravnoteže, uzimajući u obzir uticaj kosih prslina, videti sliku 9.13. Sila zatezanja  $F_s$  u preseku  $x$  treba da se ankeruje u beton na istoj toj dužini  $x$  od ivice temeljne stope.



Slika 9.13: Model za silu zatezanja sa uzimanjem u obzir kosih prslina

(2) Sila zatezanja koja treba da se ankeruje data je izrazom:

$$F_s = R \cdot z_e / z_i \quad (9.13)$$

gde je:

- $R$  rezultanta pritiska na tle na dužini  $x$
- $z_e$  krak spoljašnjih sila (*external lever arm*), odnosno rastojanje između  $R$  i vertikalne sile  $N_{Ed}$
- $N_{Ed}$  vertikalna sila koja odgovara ukupnom pritisku na tle između preseka  $A$  i  $B$
- $z_i$  krak unutrašnjih sila (*internal lever arm*), odnosno rastojanje između armature i horizontalne sile  $F_c$
- $F_c$  sila pritiska koja odgovara maksimalnoj sili zatezanja  $F_{s,max}$ .

(3) Krak spoljašnjih sila  $z_e$  i krak unutrašnjih sila  $z_i$  mogu da se odrede iz uslova potrebnih površina pritisnutih zona za  $N_{Ed}$  odnosno za  $F_c$ . Kao uprošćenje,  $z_e$  može da se odredi pretpostavljajući  $e = 0,15 b$ , videti sliku 9.13, a  $z_i$  može da se uzme da je jednako  $0,9 d$ .

(4) Raspoloživa dužina ankerovanja za prave šipke označena je sa  $l_b$  na slici 9.13. Ako ta dužina nije dovoljna za ankerovanje sile  $F_s$ , šipka može ili da se savije, da bi se povećala raspoloživa dužina, ili mogu da se predvide uređaji za ankerovanje na kraju šipke.

(5) Za prave šipke bez uređaja za ankerovanje na kraju šipke najkritičnija je minimalna vrednost  $x$ . Kao uprošćenje može da se pretpostavi da je  $x_{min} = h/2$ . Za drugačije načine ankerovanja veće vrednosti  $x$  mogu da budu kritičnije.

### 9.8.3 TEMELJNE GREDE/ZATEGE

(1) Temeljne grede/zatege (vezne grede, grede za ukrućenje temelja) (*tie beams*) mogu da se koriste da se eliminiše ekscentricitet opterećenja na temelje. Grede treba proračunati da mogu da prihvate rezultujuće momente savijanja i sile smicanja. Za armaturu za savijanje treba predvideti minimalni prečnik šipke  $\varnothing_{\min}$ .

**Napomena:** Vrednost  $\varnothing_{\min}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **8 mm**.

(2) Temeljne grede/zatege treba da se proračunaju i za minimalno vertikalno opterećenje  $q_1$ , ako dejstvo mašina za zbijanje tla može da izazove takve uticaje na temeljne grede.

**Napomena:** Vrednost  $q_1$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **10 kN/m**.

### 9.8.4 TEMELJNE STOPE STUBOVA NA STENI

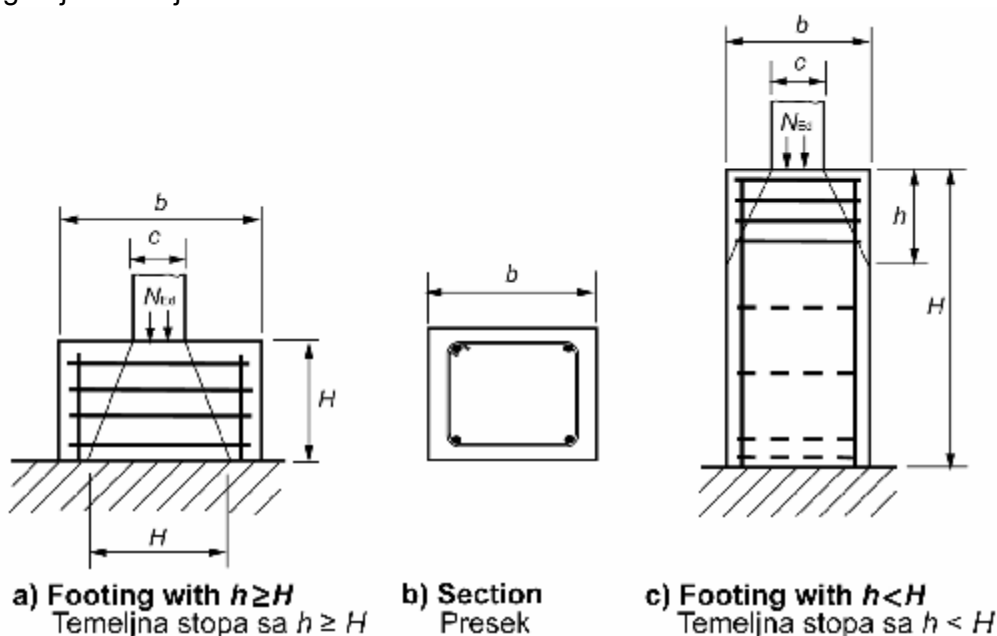
(1) Ako je u graničnom stanju nosivosti pritisak na tle veći od  $q_2$ , treba da se obezbedi adekvatna poprečna armatura za prihvatanje sila cepanja (*splitting forces*) u stopi stuba oslonjenoj na stenu. Ta armatura može da se rasporedi uniformno u pravcu sile cepanja, na visini  $h$  (videti sliku 9.14). Treba predvideti minimalni prečnik šipke  $\varnothing_{\min}$ .

**Napomena:** Vrednosti  $q_2$  i  $\varnothing_{\min}$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti su: za  $q_2 = 5 \text{ Mpa}$  i za  $\varnothing_{\min} = 8 \text{ mm}$ .

(2) Sila cepanja,  $F_s$ , može da se sračuna prema sledećem izrazu (videti sliku 9.14):

$$F_s = 0,25 (1 - c/h) N_{Ed} \quad (9.14)$$

gde je  $h$  manja od veličina  $b$  ili  $H$ .



Slika 9.14: Armatura za silu cepanja u temeljnim stopama na steni

### 9.8.5 BUŠENI ŠIPOVI

(1) Sledeće odredbe odnose se na armirane bušene šipove (*bored piles*). Za nearmirane bušene šipove videti glavu 12.

(2) Da bi se omogućio slobodan prolaz betona oko armature, od primarnog značaja je da se konstrukcijski detalji armature, armaturni koševi i drugi elementi koji se ugrađuju pre betoniranja, predvide tako da ne ometaju tok betona pri ugrađivanju.

(3) Bušeni šipovi čiji prečnik nije veći od  $h_1$ , treba da se armiraju sa minimalnom podužnom armaturom površine  $A_{s,bpmin}$ .

**Napomena:** Vrednosti  $h_1$  i  $A_{s,bpmin}$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost za  $h_1$  je **600 mm**, a za  $A_{s,bpmin}$  data je u tabeli 9.6N. Armatura treba da se rasporedi po obimu preseka.

**Tabela 9.6N: Preporučene minimalne površine podužne armature u bušenim šipovima betoniranim na gradilištu**

Poprečni presek šipa: $A_c$	Minimalna površina podužne armature: $A_{s,bpmin}$
$A_c \leq 0,5 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0,005 \cdot A_c$
$0,5 \text{ m}^2 < A_c \leq 1,0 \text{ m}^2$	$A_s \geq 25 \text{ cm}^2$
$A_c > 1,0 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0,0025 \cdot A_c$

Minimalni prečnik podužnih šipki ne treba da bude manji od **16 mm**. U šipovima treba da bude najmanje **6** podužnih šipki. Čisto rastojanje između šipki ne treba da bude veće od **200 mm**, mereno po obimu šipa.

(4) Za konstrukcijske detalje podužne i poprečne armature za bušene šipove videti EN 1536.

## 9.9 ZONE SA DISKONTINUITETIMA U GEOMETRIJI ILI U DEJSTVIMA

(1) D-zone (zone sa diskontinuitetima) (*D-regions*) normalno treba da se proračunaju na modelima sa pritisnutim štapovima i zategama, prema 6.5, a konstrukcijski detalji treba da su saglasni sa pravilima datim u glavi 8.

**Napomena:** Dalje informacije date su u Aneksu J.

(2)P Armatura koja odgovara zategama u modelima sa pritisnutim štapovima i zategama mora da bude potpuno ankerovana, sa dužinom ankerovanja  $l_{bd}$  prema 8.4.

## 9.10 SISTEMI POVEZIVANJA DELOVA KONSTRUKCIJE ZATEGAMA

### 9.10.1 OPŠTE ODREDBE

(1)P U konstrukcijama koje nisu proračunate za incidentna dejstva, moraju se predvideti pogodni sistemi povezivanja delova konstrukcije zategama (*tying systems*), da bi se sprečio progresivan lom (*progressive collapse*), obezbeđenjem alternativnih puteva prenošenja opterećenja u slučaju lokalnih oštećenja. Smatra se da sledeća jednostavna pravila zadovoljavaju ovaj zahtev.

(2) Treba da se predvide sledeće vrste zatega:

a) zatege po obimu konstrukcije (*peripheral ties*)

- b) unutrašnje zatege (*internal ties*)
- c) horizontalne zatege za stubove ili zidove (*horizontal column or wall ties*)
- d) vertikalne zatege (*vertical ties*), kada je potrebno, posebno u panelnim zgradama.

- (3) Kada je zgrada dilatacionim razdelnicama (*expansion joints*) podeljena na konstrukcijski nezavisne delove, za svaki deo zgrade treba da se predvidi nezavisan sistem zatega.
- (4) U proračunu zatega može da se pretpostavi da su naponi u armaturi jednaki karakterističnoj vrednosti čvrstoće pri zatezanju, i da sa tim naponima zatege mogu da prihvate sile zatezanja definisane u sledećim odredbama.
- (5) Može se smatrati da armatura u stubovima, zidovima, gredama i međuspratnim konstrukcijama, koja je predviđena za druge uticaje, može da obezbedi jedan deo ili svu armaturu koja je potrebna za te zatege.

## 9.10.2 RASPORED ZATEGA I SILE U ZATEGAMA

### 9.10.2.1 OPŠTA ODREDBA

- (1) Zatege se predviđaju kao minimalna armatura a ne kao dodatna armatura onoj koja je potrebna na osnovu konstrukcijske analize.

### 9.10.2.2 ZATEGE PO OBIMU KONSTRUKCIJE

- (1) Na nivou svakog sprata i na nivou krova treba da se predvidi jedna efektivno kontinualna zatega po obimu konstrukcije (*peripheral tie*), udaljena najviše **1,2 m** od spoljašnje konture konstrukcije. U površinu preseka te zatege može da bude uključena armatura koja se koristi kao deo unutrašnje zatege.

- (2) Zatega po obimu konstrukcije treba da prihvati silu zatezanja:

$$F_{\text{tie,per}} = l_i \cdot q_1 \leq q_2 \quad (9.15)$$

gde je:

$F_{\text{tie,per}}$  sila u zatezi (ovde: zatezanje)  
 $l_i$  dužina krajnjeg raspona.

**Napomena:** Vrednosti  $q_1$  i  $q_2$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost za  $q_1$  je **10 kN/m** a za  $q_2$  je **70 kN**.

- (3) Za konstrukcije sa unutrašnjim slobodnim konturama (na primer, atrijumi, unutrašnja dvorišta, itd.) treba da se predvide zatege duž obima unutrašnjih kontura konstrukcije, na isti način kao na spoljašnjim konturama, koje treba da budu potpuno ankerovane.

### 9.10.2.3 UNUTRAŠNJE ZATEGE

- (1) Unutrašnje zatege (*internal ties*) treba da se predvide na nivou svake spratne konstrukcije i na nivou krova, u dva približno ortogonalna pravca. One treba da budu efektivno kontinualne na čitavoj svojoj dužini i treba da budu ankerovane na oba kraja u periferne zatege, ako se ne produžuju kao horizontalne zatege za stubove ili zidove.
- (2) Unutrašnje zatege mogu, u celini ili delimično, da budu uniformno raspoređene u pločama, ili mogu da budu grupisane uz grede ili u gredama, zidovima, ili drugim pogodnim po-

ložajima. U zidovima unutrašnje zatege treba da budu na visini od najviše **0,5 m** od donje ili od gornje površine ploče međuspratne konstrukcije, videti sliku 9.15.

(3) U svakom pravcu unutrašnje zatege treba da budu u stanju da prihvate proračunsku vrednost sile zatezanja  $F_{tie,int}$  (u **kN** po metru širine):

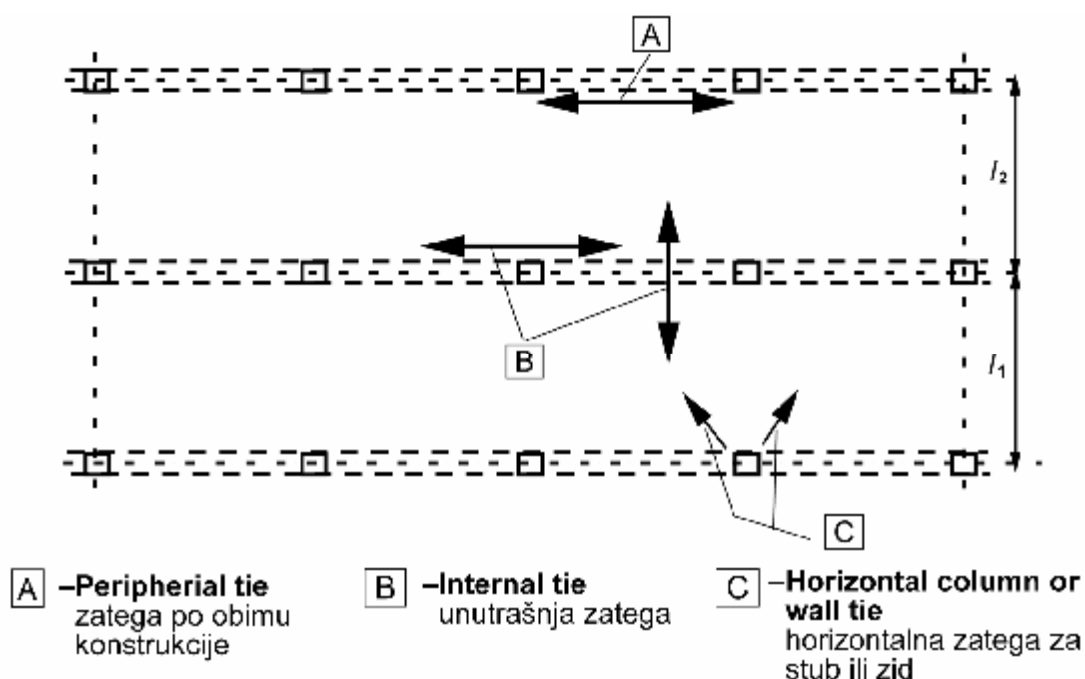
**Napomena:** Vrednosti  $F_{tie,int}$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **20 kN/m**.

(4) U međuspratnim pločama bez završnog sloja betona, u kojima unutrašnje zatege ne mogu da se postave u pravcu upravno na raspon, poprečne zatege mogu da se grupišu duž linija greda. U tom slučaju minimalna sila na jednoj unutrašnjoj grednoj liniji je:

$$F_{tie} = (l_1 + l_2) / 2 \cdot q_3 \leq q_4 \quad (9.16)$$

gde su:

$l_1, l_2$  rasponi (u **m**) međuspratne ploče sa svake strane grede (videti sliku 9.15).



**Slika 9.15: Zatege za incidentna dejstva**

**Napomena:** Vrednosti  $q_3$  i  $q_4$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost za  $q_3$  je **20 kN/m** a za  $q_4$  je **70 kN**.

(5) Unutrašnje zatege treba da se povežu sa zategama po obimu konstrukcije tako da je obezbeđeno prenošenje sila.

#### 9.10.2.4 HORIZONTALNE ZATEGE ZA STUBOVE I/ILI ZIDOVE

(1) Ivični stubovi i zidovi treba da budu povezani sa konstrukcijom horizontalnim zategama na svakom spratu i na nivou krova.

(2) Zatege treba da se sračunaju da prihvate silu zatezanja  $f_{tie,fac}$  po metru fasade. Za stubove sila ne treba da bude veća od  $F_{tie,col}$ .

**Napomena:** Vrednosti  $f_{tie, fac}$  i  $F_{tie, col}$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost za  $f_{tie, fac}$  je **20 kN/m** a za  $F_{tie, col}$  je **150 kN**.

**(3)** Ugaoni stubovi treba da imaju zatege u dva pravca. Armatura koja je predviđena za zategu po obimu konstrukcije u tom slučaju može da se koristi kao horizontalna zatega.

#### **9.10.2.5 VERTIKALNE ZATEGE**

**(1)** U panelnim zgradama sa **5 i više spratova**, treba da se predvide vertikalne zatege u stubovima i/ili zidovima da bi se ograničilo oštećenje od loma međuspratne konstrukcije usled incidentnog gubitka stuba ili zida ispod tog dela međuspratne konstrukcije. Te zatege treba da formiraju deo sistema za premošćenje raspona preko oštećene zone.

**(2)** Normalno, kontinualne vertikalne zatege treba predvideti od najnižeg do najvišeg nivoa. One treba da se proračunaju da nose opterećenje koje u incidentnim proračunskim situacijama deluje na spratu iznad stuba/zida koji je u incidentu izgubljen. Drugačija rešenja, na primer, zasnovana na delovanju preostalih delova zidova kao dijafragmi i/ili membranskom dejstvu međuspratnih konstrukcija, mogu da se koriste ako mogu da se dokažu uslovi ravnoteže i dovoljan kapacitet deformacije.

**(3)** Kada stub ili zid na svom najnižem nivou nije oslonjen na temelj (nego, na primer, na gredu ili ploču bez kapitela), incidentni gubitak tog elementa treba da se uzme u obzir u proračunu i predvidi pogodan alternativan put za prenošenje opterećenja.

#### **9.10.3 KONTINUITET I ANKEROVANJE ZATEGA**

**(1)P** Zatege u dva horizontalna pravca moraju da budu efektivno kontinualne i ankerovane na spoljašnjem obimu konstrukcije.

**(2)** Zatege mogu da se predvide u potpunosti u dodatnom sloju betona koji se naknadno betonira na licu mesta, ili u spojnica prefabrikovanih elemenata. Kada zatege nisu kontinualne u jednoj ravni, treba da se uzme u obzir uticaj savijanja usled ekscentriciteta.

**(3)** Zatege normalno ne treba da budu nastavljene preklapanjem armature u uskim spojnica između prefabrikovanih elemenata. U takvim slučajevima treba da se predvide mehanički uređaji za ankerovanje.

## GLAVA 10

# DODATNA PRAVILA ZA PREFABRIKOVANE BETONSKE ELEMENTE I KONSTRUKCIJE

## 10.1 OPŠTA ODREDBA

(1)P Odredbe u ovoj glavi odnose se na zgrade delimično ili potpuno izgrađene od prefabrikovanih betonskih elemenata (*precast concrete elements*) i predstavljaju dodatne odredbe za pravila koja su data u drugim glavama ovog standarda. Ostala pitanja, koja se odnose na konstrukcijske detalje, proizvodnju i montažu, data su u posebnim standardima za proizvode.

**Napomena:** Naslovi poglavlja u ovoj glavi obeleženi su brojem **10**, posle kojeg sledi broj odgovarajuće glave iz prethodnog dela ovog standarda. Naslovi nižeg reda numerisani su rednim brojevima prema redosledu izlaganja, bez pozivanja na brojeve podnaslova u odgovarajućim glavama.

### 10.1.1 POSEBNI POJMOVI KORIŠĆENI U OVOJ GLAVI

**Prefabrikovani element** (*precast element*): element koji je proizveden u fabrici ili na drugom mestu a ne u konačnom položaju u konstrukciji, zaštićen od nepovoljnog dejstva vremenskih uslova.

**Prefabrikovani proizvod** (*precast product*): prefabrikovani element proizveden saglasno specifičnom CEN (*European Committee for Standardization*) standardu.

**Kompozitni element** (spregnuti element) (*composite element*): element koji se sastoji od prefabrikovanog betona i od betona ugrađenog na licu mesta (*in-situ*), sa ili bez vezne armature (*reinforcement connectors*) između tih delova elementa.

**Rebrasta međuspratna konstrukcija i međuspratna konstrukcija sa blokovima** (*rib and block floor*): konstrukcija koja se sastoji od prefabrikovanih rebara (ili greda), sa ispunom između njih od blokova, šupljih blokova od gline (*hollow clay pots*) ili drugih elemenata koji formiraju stalnu oplatu, sa ili bez završnog gornjeg sloja koji se betonira na licu mesta.

**Dijafragma** (*diaphragm*): ravan površinski element opterećen u svojoj ravni, koji može da se sastoji od više međusobno povezanih prefabrikovanih elemenata.

**Zatega** (*tie*): kada se radi o prefabrikovanim konstrukcijama, pod pojmom zatege podrazumeva se zategnuti element, efektivno kontinualan, koji se nalazi u podu, zidu ili stubu.

**Izdvojeni prefabrikovani element** (*isolated precast member*): element sa kojeg, u slučaju loma, nema mogućnosti da se sekundarnim putevima prenese opterećenje na druge elemente konstrukcije.

**Prolazne situacije** (*transient situation*): u prefabrikovanim betonskim konstrukcijama prolazne situacije uključuju:

- skidanje oplata (*demoulding*)
- transport na deponiju proizvedenih elemenata (*storage yard*)
- uslove na deponiji (oslanjanje i uslovi opterećenja)
- transport na gradilište
- podizanje u projektovani položaj (montaža) (*erection, hoisting*)
- građenje, montaža (*construction, assembly*).

## 10.2 OSNOVE PRORAČUNA, FUNDAMENTALNI ZAHTEVI

(1)P U proračunu i definisanju konstrukcijskih detalja za prefabrikovane betonske elemente i konstrukcije mora posebno da se vodi računa o sledećem:

- prolaznim situacijama (*transient situations*) (videti 10.1.1)
- ležištima (*bearings*); privremenim i stalnim
- spajanju i spojnica (*connections and joints*) između elemenata.

(2) Kada to može biti od značaja, treba uzeti u obzir dinamičke uticaje u prolaznim situacijama. U nedostatku tačne analize, statički uticaji mogu da se pomnože sa odogovarajućim faktorom (treba videti i standarde za proizvode (*product standards*) za specifične vrste prefabrikovanih proizvoda).

(3) Kada se to zahteva, treba predvideti konstrukcijske detalje sa mehaničkim uređajima koji omogućavaju lako spajanje i montažu, pregled i zamenu.

## 10.3 MATERIJALI

### 10.3.1 BETON

#### 10.3.1.1 ČVRSTOĆA

(1) Za prefabrikovane proizvode u kontinualnoj proizvodnji, kada se primenjuje odgovarajući sistem kontrole kvaliteta prema standardima proizvoda, sa ispitivanjem čvrstoće betona pri zatezanju, za određivanje čvrstoće betona pri zatezanju može da se koristi statistička analiza rezultata ispitivanja. Tako određena čvrstoća betona pri zatezanju može da se uzme u proračunu graničnih stanja upotrebljivosti kao alternativa za vrednosti date u tabeli 3.1.

(2) Mogu da se koriste međuvrednosti klasa čvrstoće betona datih u tabeli 3.1.

(3) U slučaju termičke nege (*heat curing*) prefabrikovanih betonskih elemenata, čvrstoća betona pri pritisku u starosti  $t$  manjoj od 28 dana,  $f_{cm}(t)$ , može da se odredi prema izrazu (3.1), u kojem starost betona  $t$  treba zameniti starošću betona korigovanom usled uticaja temperature (*temperature adjusted concrete age*), koja se dobija iz izraza (B.10) u Aneksu B.

**Napomena:** Koeficijent  $\beta_{cc}(t)$  treba da se ograniči na vrednost 1.

Za uticaj termičke nege može da se koristi izraz (10.1):

$$f_{cm}(t) = f_{cmp} + \frac{f_{cm} - f_{cmp}}{\log(28 - t_p + 1)} \log(t - t_p + 1) \quad (10.1)$$

gde je  $f_{cmp}$  srednja vrednost čvrstoće betona pri pritisku posle termičke nege (odnosno, u trenutku otpuštanja prethodnog naprezanja), merena u vremenu  $t_p$  ( $t_p < t$ ) na uzorcima koji su bili izloženi istom termičkom tretmanu kao i prefabrikovani elementi.

#### 10.3.1.2 TEČENJE I SKUPLJANJE

(1) U slučaju termičke nege prefabrikovanih betonskih elemenata dopušteno je da se vrednosti deformacija tečenja odrede na osnovu funkcije zrelosti (*maturity function*), prema izrazu (B.10) u Aneksu B.

(2) Da bi se sračunale deformacije usled tečenja, starost betona pri opterećenju  $t_0$  (u danima) u izrazu (B.5) treba da se zameni sa ekvivalentnom starošću betona (*equivalent concrete age*), koja se dobija prema izrazima (B.9) i (B.10) u Aneksu B.

(3) U prefabrikovanim elementima koji se termički neguju može da se pretpostavi:

- a) da dilatacija skupljanja za vreme termičke nege nije značajna, i
- b) da sopstvena dilatacija skupljanja (*autogenous shrinkage*) može da se zanemari.

### 10.3.2 ČELIK ZA PRETHODNO NAPREZANJE

#### 10.3.2.1 TEHNOLOŠKA SVOJSTVA ČELIKA ZA PRETHODNO NAPREZANJE

(1)P Za prethodno napregnute elemente u kojima se kablovi prethodno zatežu mora da se uzme u obzir uticaj gubitaka usled relaksacije pri povećanju temperature u toku termičke nege betona.

**Napomena:** Relaksacija se ubrzava u toku termičke nege betona, koja istovremeno izaziva i termičke dilatacije. Na kraju termičke nege brzina relaksacije se smanjuje.

(2) Da bi se uzeo u obzir uticaj termičke nege na gubitke prethodnog napreznja usled relaksacije čelika za prethodno napreznja, u funkciji promene relaksacije u toku vremena, datoj u 3.3.2 (7), vreme  $t$  posle zatezanja treba da se poveća za ekvivalentno vreme (*equivalent time*)  $t_{eq}$ . Ekvivalentno vreme može da se odredi prema izrazu (10.2):

$$t_{eq} = \frac{1,14(T_{max} - 20)}{T_{max} - 20} \sum_{i=1}^n (T_{(\Delta t_i)} - 20) \Delta t_i \quad (10.2)$$

gde je:

- |                    |                                                          |
|--------------------|----------------------------------------------------------|
| $t_{eq}$           | ekvivalentno vreme (u časovima)                          |
| $T_{(\Delta t_i)}$ | temperatura (u °C) u toku intervala vremena $\Delta t_i$ |
| $T_{max}$          | maksimalna temperatura (u °C) za vreme termičke nege.    |

### 10.5 ANALIZA KONSTRUKCIJA

#### 10.5.1 OPŠTE ODREDBE

(1)P U analizi konstrukcija mora da se vodi računa:

- o ponašanju konstrukcijskih elemenata u svim fazama građenja, koristeći za svaku fazu odgovarajuće geometrijske karakteristike i svojstva i uzimajući u obzir njihovu interakciju sa drugim elementima (na primer, kompozitno (spregnuto) dejstvo sa betonom koji je ugrađen na licu mesta, ili sa drugim prefabrikovanim elementima);
- o ponašanju konstrukcijskog sistema usled uticaja ponašanja spojeva između elemenata, posebno s obzirom na stvarne deformacije i nosivost spojeva;
- o nepouzdanostima koje utiču na ograničenja deformacija i prenošenje sila između elemenata, usled geometrijskih odstupanja u proizvodnji i u montaži konstrukcijskih elemenata i ležišta.

(2) Povoljni uticaji ograničenja horizontalnih pomeranja usled trenja izazvanog težinom elementa koji se prihvata mogu da se uzmu u obzir samo u zonama bez seizmičkih dejstava (koristeći  $\gamma_{G,inf}$ ), i kada:

- opšta stabilnost (*overall stability*) konstrukcije ne zavisi isključivo od trenja;
- dispozicija oslanjanja isključuje mogućnost akumulacije nepovratnog klizanja elemenata, koje može da nastane usled nejednakog ponašanja pri alternativnim dejstvima (na primer, ciklični termički uticaji na kontaktnim ivicama prosto oslonjenih elemenata);
- nema mogućnosti značajnijeg udarnog opterećenja (*impact loading*).

(3) Uticaji horizontalnih pomeranja treba da se uzmu u obzir u proračunu u pogledu nosivosti konstrukcije i integriteta spojeva između elemenata.

## 10.5.2 GUBICI PRETHODNOG NAPREZANJA

(1) U slučaju termičke nege prefabrikovanih betonskih elemenata, smanjenje napona zahtevanja u kablovima i ograničenje dilatacija betona usled temperature izazivaju specifičan termički gubitak (*thermal loss*) sile prethodnog naprezanja  $\Delta P_{\theta}$ . Taj gubitak može da se odredi prema izrazu (10.3):

$$\Delta P_e = 0,5 A_p E_p \alpha_c (T_{\max} - T_c) \quad (10.3)$$

gde je:

$A_p$	poprečni presek kablova
$E_p$	modul elastičnosti kablova
$\alpha_c$	linearni koeficijent termičke dilatacije betona (videti 3.1.3 (5))
$T_{\max} - T_0$	razlika između maksimalne i početne temperature u betonu u blizini kablova, u °C.

**Napomena:** Gubitak sile prethodnog naprezanja,  $\Delta P_{\theta}$ , usled izduženja izazvanih termičkom negom betona, može se zanemariti ukoliko se primenjuje prethodno zagrevanje (*preheating*) kablova.

## 10.9 POSEBNA PRAVILA ZA PRORAČUN I KONSTRUKCIJSKE DETALJE

### 10.9.1 MOMENTI UKLJEŠTENJA U PLOČAMA

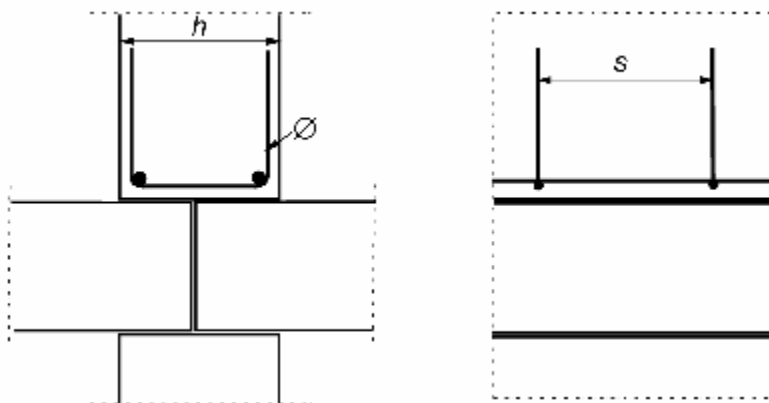
(1) Momenti uklještenja u pločama (*restraining moments*) mogu da se prihvate armaturom u gornjoj zoni, postavljenom u dodatnom sloju betona koji se ugrađuje na licu mesta (*topping*), ili u kanalima (*plugs*) ploča sa otvorima (*hollow core slabs*). U prvom slučaju horizontalno smicanje na kontaktu treba proveriti prema 6.2.5. U drugom slučaju prenošenje sile između betona ugrađenog na licu mesta u kanalu (spojnici) i elementa sa otvorima treba da se proveriti prema 6.2.5. Dužina gornje armature treba da je saglasna sa 9.2.1.3.

(2) O nenamernim uticajima uklještenja (*unintended restraining effects*) na osloncima prosto oslonjenih ploča treba da se vodi računa i da se predvidi posebna armatura i/ili konstrukcijski detalji.

### 10.9.2 VEZE ZIDOVA I MEĐUSPRATNIH PLOČA

(1) U zidnim elementima koji su postavljeni preko podnih ploča (međuspratnih konstrukcija), normalno treba predvideti armaturu za prihvatanje mogućih ekscentriciteta i koncentracija vertikalnog opterećenja na krajevima zida. Za elemente podnih ploča videti 10.9.1 (2).

(2) Ako je vertikalno opterećenje po jedinici dužine  $\leq 0,5 h \cdot f_{cd}$ , gde je  $h$  debljina zida, nije potrebna posebna armatura, videti sliku 10.1. Opterećenje može da se poveća na  $0,6 h \cdot f_{cd}$ , kada se predvidi armatura prema slici 10.1, prečnika  $\varnothing \geq 6 \text{ mm}$ , na rastojanju  $s$  koje je najviše jednako manjoj od vrednosti  $h$  ili  $200 \text{ mm}$ . Za veća opterećenja armatura treba da se proračuna prema (1) u prethodnom tekstu. Posebno treba da se proveri donji zid.



Slika 10.1: Primer armature u zidu iznad spoja dve podne ploče

### 10.9.3 MEĐUSPRATNI KONSTRUKCIJSKI SISTEMI

(1)P Konstrukcijski detalji međuspratnih konstrukcija (sistema podova) (*floor systems*) moraju da budu u skladu sa pretpostavkama u konstrukcijskoj analizi i proračunu. Moraju da se uzmu u obzir odgovarajući standardi proizvoda.

(2)P Kada je uzeta u obzir poprečna (transverzalna) preraspodela opterećenja između susjednih konstrukcijskih elemenata, mora da se predvidi odgovarajući spoj koji može da prihvati smicanje (smičući spoj) (*shear connection*).

(3)P Uticaji mogućih uklještenja prefabrikovanih elemenata moraju da se uzmu u obzir čak i kada su u proračunu pretpostavljeni prosti oslonci.

(4) Prenosjenje smicanja u spojevima može da se ostvari na različite načine. Tri osnovna tipa spojeva prikazana su na slici 10.2.

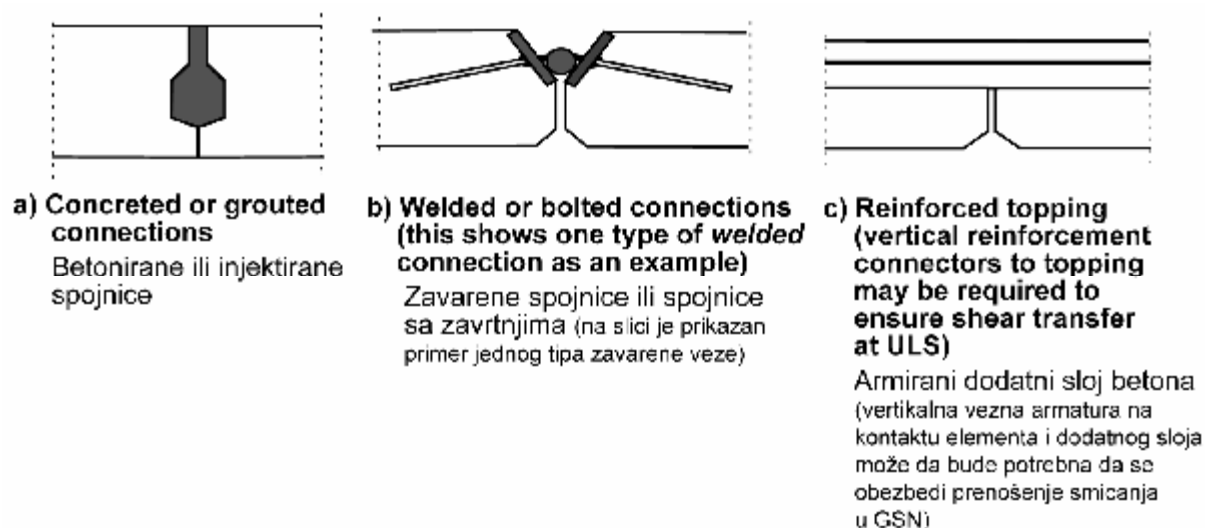
(5) Poprečna preraspodela opterećenja treba da se zasniva na analizi ili rezultatima eksperimentalnih ispitivanja, vodeći računa o mogućim razlikama opterećenja između prefabrikovanih elemenata. Rezultujuća sila smicanja između elemenata podne konstrukcije treba da se uzme u obzir u proračunu i konstrukcijskim detaljima spojnica i susjednih delova elemenata (na primer, spoljašnjih ili srednjih rebara) (*outside ribs or webs*).

Za međuspratne ploče sa jednako podeljenim opterećenjem, u nedostatku tačnije analize može da se uzme da je ta sila smicanja po jedinici dužine:

$$v_{Ed} = q_{Ed} \cdot b_e / 3 \quad (10.4)$$

gde je:

$q_{Ed}$  proračunska vrednost promenljivog opterećenja ( $\text{kN/m}^2$ )  
 $b_e$  širina elementa.



**Slika 10.2: Primeri spojeva za prenošenje smicanja**

(6) Kada se pretpostavi da prefabrikovane podne ploče deluju kao dijafragme u prenošenju horizontalnih opterećenja na elemente za ukrućenje, treba da se vodi računa o sledećem:

- dijafragma treba da bude deo realnog konstrukcijskog modela, vodeći računa o kompatibilnosti deformacija sa elementima koji obezbeđuju ukrućenje (*bracing elements*),
- uticaje usled horizontalnih deformacija treba uzeti u obzir za sve delove konstrukcije koji učestvuju u prenošenju horizontalnih opterećenja,
- dijafragma treba da bude armirana za sile zatezanja koje su dobijene na konstrukcijskom modelu,
- koncentracije napona oko otvora i spojeva treba uzeti u obzir pri rešavanju konstrukcijskih detalja armature.

(7) Poprečna armatura u dijafragmi za prenošenje smicanja preko spojnica može da se skoncentriše duž oslonaca, formirajući zatege koje odgovaraju konstrukcijskom modelu. Ta armatura može da se raspoređi u dodatnom sloju betona, ako je takav sloj predviđen.

(8) Prefabrikovani elementi sa dodatnim završnim slojem betona debljine najmanje **40 mm**, mogu da se proračunaju kao kompozitni (*spregnuti*) elementi ako je smicanje na kontaktnoj površini dokazano prema 6.2.5. Prefabrikovani element treba da se provere u svim fazama građenja, pre i posle aktiviranja kompozitnog dejstva.

(9) Poprečna armatura za savijanje i uticaje usled drugih dejstava može sva da bude raspoređena u dodatnom sloju betona. Konstrukcijski detalji treba da odgovaraju konstrukcijskom modelu, na primer, ako je pretpostavljeno da element nosi u dva pravca.

(10) U rebrima izdvojenih ploča (*webs or ribs in isolated slab units*) (na primer, u elementima koji nisu međusobno povezani za prenošenje smicanja), treba da se predvidi armatura za smicanje kao u gredama.

(11) Međuspratne konstrukcije od prefabrikovanih rebara (*precast ribs*) i blokova, bez dodatnog sloja betona, mogu da se analiziraju kao pune ploče pod uslovom da postoje poprečna rebra (*transverse ribs*) koja su betonirana na licu mesta, sa kontinualnom armaturom kroz prefabrikovana podužna rebra, na međusobnom rastojanju  $s_T$ , prema tabeli 10.1.

**Tabela 10.1: Maksimalno rastojanje poprečnih rebara,  $s_T$ , za analizu podnih ploča od prefabrikovanih rebara i blokova kao punih ploča**

$s_L$  rastojanje podužnih rebara  
 $l_L$  dužina (raspon) podužnih rebara  
 $h$  debljina rebraste podne konstrukcije

Vrsta promenljivog opterećenja	$s_L \leq l_L/8$	$s_L > l_L/8$
Opterećenje u stambenim zgradama, sneg	ne zahteva se	$s_T \leq 12 h$
Druga opterećenja	$s_T \leq 10 h$	$s_T \leq 8 h$

## 10.9.4 SPOJNICE I OSLONCI PREFABRIKOVANIH ELEMENATA

### 10.9.4.1 MATERIJALI

**(1)P** Materijali koji se koriste za spojnice prefabrikovanih elemenata moraju da budu:

- stabilni i trajni za proračunski eksploatacioni vek konstrukcije
- hemijski i fizički kompatibilni
- zaštićeni od nepovoljnih hemijskih i fizičkih uticaja
- otporni na dejstvo požara u meri otpornosti na dejstvo požara konstrukcije.

**(2)P** Oslonačke ploče (podložni slojevi) (*supporting pads*) moraju da imaju čvrstoću i svojstva deformacije u skladu sa proračunskim pretpostavkama.

**(3)P** Metalni elementi za nošenje fasadnih obloga (*claddings*), u sredinama klase izloženosti drugačije od **XO** i **XC1** (tabela 4.1), koji nisu zaštićeni od uticaja sredine, moraju da budu od materijala otpornog na dejstvo korozije. Ukoliko su takvi elementi dostupni pregledu, može da se primeni i materijal sa zaštitnim premazom (*coated material*).

**(4)P** Pre zavarivanja (*welding*), kaljenja (*annealing*) ili hladnog oblikovanja (*cold forming*), podobnost materijala za takve postupke mora da se proveriti.

### 10.9.4.2 OPŠTA PRAVILA ZA PRORAČUN I KONSTRUKCIJSKE DETALJE SPOJNICA

**(1)P** Spojnice moraju da budu u stanju da prenesu uticaje od dejstava u skladu sa proračunskim pretpostavkama, da prihvate neophodne deformacije i da osiguraju robustno ponašanje konstrukcije.

**(2)P** Prerano cepanje ili odlamanje betona na krajevima elemenata mora da se spreči, vođenjem računa:

- o relativnim pomeranjima između elemenata
- odstupanjima pri izvođenju (devijacijama)
- zahtevima montaže
- jednostavnosti izvođenja
- jednostavnosti pregleda.

**(3)** Dokaz nosivosti i krutosti spojnica može da se zasniva na analizi, eventualno uz korišćenje rezultata ispitivanja (za proračun na osnovu rezultata ispitivanja videti EN 1990, Aneks D). Imperfekcije treba da se uzmu u obzir. Pri usvajanju proračunskih vrednosti na

osnovu rezultata ispitivanja treba da se vodi računa o mogućim nepovoljnim odstupanjima od uslova ispitivanja.

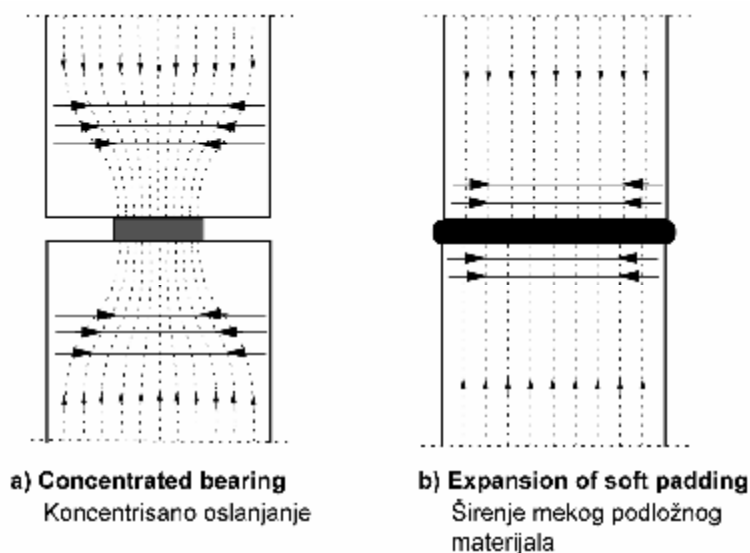
### 10.9.4.3 SPOJNICE KOJE PRENOSE SILE PRITISKA

(1) Sile smicanja u pritisnutim spojnica (*compression connections*) mogu da se zane- mare ako iznose manje od **10%** od sile pritiska.

(2) U spojnica u kojima se koriste podložni materijali (*bedding materials*) kao što je malter, beton, ili polimeri, za vreme očvršćavanja tog materijala moraju da se spreče relativ- na pomeranja kontaktnih površina.

(3) Spojnice bez podložnog materijala (suve spojnice) (*dry connections*) treba koristiti samo ako može da se očekuje potreban kvalitet izvođenja. Srednja vrednost napona (*bear- ing stress*) između ravnih kontaktnih površina ne treba da bude veća od **0,3  $f_{cd}$** . Suve spoj- nice sa zakrivljenim (konveksnim) površinama treba da se oblikuju sa posebnom pažnjom u odnosu na geometriju.

(4) Poprečni naponi zatezanja u susednim elementima treba da se uzmu u obzir. Oni mogu da nastanu usled koncentrisanih pritisaka, prema slici 10.3a), ili usled ekspanzije me- kih podložnih materijala, prema slici 10.3b). Armatura u slučaju a) može da se sračuna i ra- sporedi prema 6.5. U slučaju b) armatura treba da se rasporedi blisko površinama susednih elemenata.



**Slika 10.3: Poprečni naponi zatezanja u pritisnutim spojnica**

(5) U nedostatku tačnijih proračunskih modela armatura u slučaju b) može da se sraču- na prema izrazu (10.5):

$$A_s = 0,25 (t/h) F_{Ed} / f_{yd} \quad (10.5)$$

gde je:

- $A_s$  površina preseka armature na svakoj površini spojnice
- $t$  debljina podložnog sloja (*thickness of padding*)
- $h$  dimenzija podložnog sloja u pravcu armature
- $F_{Ed}$  sila pritiska u spojnici.

## EN 1992-1-1:2004

(6) Nosivost pritisnutih spojnica može da se odredi prema 6.7, ili na osnovu analize, eventualno uz korišćenje rezultata ispitivanja (za proračun na osnovu rezultata ispitivanja videti EN 1990).

### 10.9.4.4 SPOJNICE KOJE PRENOSE SILE SMICANJA

(1) Za prenošenje smicanja na kontaktnoj površini između dva betona, na primer, pre-fabrikovanog elementa i betona ugrađenog na licu mesta, videti 6.2.5.

### 10.9.4.5 SPOJNICE KOJE PRENOSE MOMENTE SAVIJANJA ILI SILE ZATEZANJA

(1)P Armatura mora da bude kontinualna kroz spojnicu i ankerovana u susedne elemente.

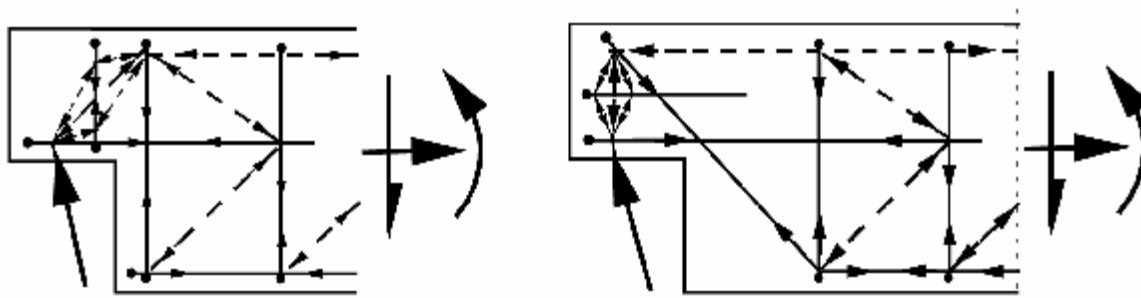
(2) Kontinuitet može da se ostvari, na primer, na sledeće načine:

- nastavljanjem šipki preklapanjem
- injektiranjem armature u otvorima ostavljenim u betonu
- preklapanjem petlji armature
- zavarivanjem šipki ili čeličnih ploča
- prethodnim naprezanjem
- mehaničkim nastavcima (rukavcima sa navojima ili sa ispunom) (*threaded or filled sleeves*)
- poprečno zgnječnim rukavcima (*swaged connectors*).

### 10.9.4.6 OSLANJANJE GREDA PREKO ISPUŠTENIH KRATKIH ELEMENATA

(1) Oslanjanje greda preko ispuštenih kratkih elemenata, čija je visina približno jednaka polovini visine nosača (*half joints*), može da se proračuna korišćenjem modela sa pritisnutim štapovima i zategama, prema 6.5. Dva alternativna modela i odgovarajuća armatura prikazani su na slici 10.4. Ta dva modela mogu da se kombinuju.

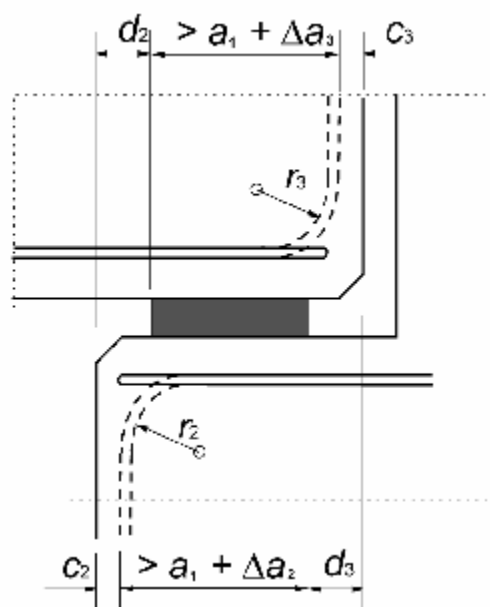
**Napomena:** Na skicama su prikazani samo glavni elementi modela sa pritisnutim štapovima i zategama.



**Slika 10.4: Indikativni modeli za armaturu pri oslanjanju greda na ispuštene kratke elemente**

### 10.9.4.7 ANKEROVANJE ARMATURE NA OSLONCIMA

(1) Konstrukcijski detalji armature u oslonačkom elementu i u elementu koji se oslanja treba da obezbede ankerovanje u odgovarajućem čvoru (*node*), vodeći računa o mogućim odstupanjima. Jedan primer prikazan je na slici 10.5.



**Slika 10.5: Primer konstrukcijskog detalja armature na osloncu**

Efektivna dužina oslanjanja (*effective bearing length*)  $a_1$  određena je rastojanjem  $d_i$  (videti sliku 10.5) od ivica odgovarajućeg elementa, gde je:

$d_i = c_i + \Delta a_i$  kada su šipke na krajevima ankerovane sa horizontalnim petljama ili na drugi odgovarajući način

$d_i = c_i + \Delta a_i + r_i$  kada su šipke ankerovane sa vertikalno savijenim krajevima

gde je:

$c_i$  zaštitni sloj betona

$\Delta a_i$  tolerancija (*deviation*) (videti 10.9.5.2 (1))

$r_i$  poluprečnik krivine savijanja šipke.

Videti sliku 10.5 i 10.9.5.2 (1) za definicije veličina  $\Delta a_2$  i  $\Delta a_3$ .

## 10.9.5 LEŽIŠTA

### 10.9.5.1 OPŠTE ODREDBE

**(1)P** Ispravno funkcionisanje ležišta (*bearings*) mora da se osigura armaturom u susednim elementima, ograničenjem napona u ležištu i merama kojima se vodi računa o pomeranjima ili o sprečenim deformacijama.

**(2)P** Za ležišta koja ne dopuštaju klizanje ili rotaciju bez značajnih sila usled sprečenih deformacija, dejstva usled tečenja, skupljanja, temperature, nepoklapanja osa sistema (*misa-lignment*), odstupanja iz vertikale (*lack of plumb*), itd., moraju da se uzmu u obzir u proračunu susednih elemenata.

**(3)** Uticaji navedeni u (2)P u prethodnom tekstu mogu da zahtevaju poprečnu armaturu u oslonačkom elementu i u elementu koji se oslanja, i/ili kontinualnu armaturu za međusobno povezivanje elemenata. Ti uticaji mogu da utiču i na proračun glavne armature u takvim elementima.

## EN 1992-1-1:2004

(4)P Ležišta moraju da budu proračunata i konstrukcijski detalji rešeni tako da se osigura ispravno postavljanje u predviđeni položaj, vodeći računa o tolerancijama u proizvodnji i montaži.

(5)P Mogući uticaji ankerovanja prethodnog naprezanja i prostora za ankere (niša) (*reses*) moraju da se uzmu u obzir.

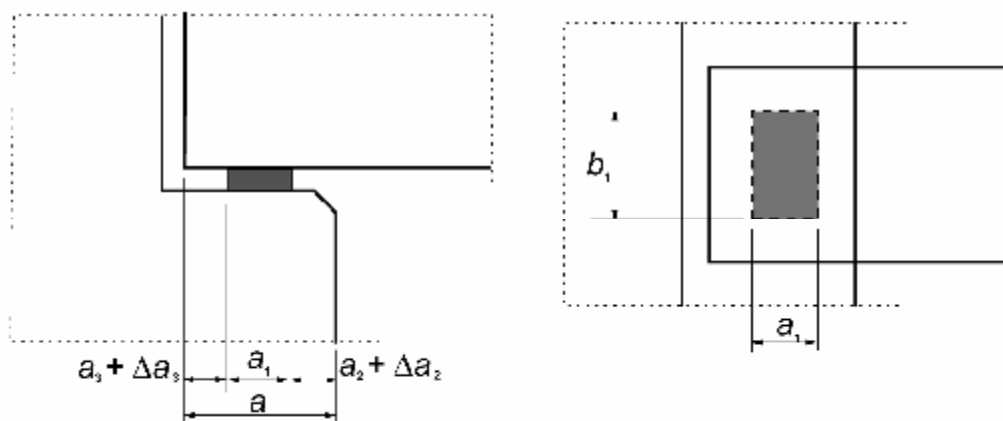
### 10.9.5.2 LEŽIŠTA ZA SPOJENE (NEIZDVOJENE) ELEMENTE

(1) Nominalna dužina  $a$  (*nominal length*) prostog ležišta kako je prikazano na slici 10.6, može da se sračuna prema izrazu:

$$a = a_1 + a_2 + a_3 + \sqrt{\Delta a_2^2 + \Delta a_3^2} \quad (10.6)$$

gde je:

- $a_1$  neto dužina ležišta s obzirom na napone u ležištu,  
 $a_1 = F_{Ed} / (b_1 \cdot f_{Rd})$ , ali ne manje od minimalnih vrednosti u tabeli 10.2
- $F_{Ed}$  proračunska veličina oslonačke reakcije
- $b_1$  neto širina ležišta, videti (3) u daljem tekstu
- $f_{Rd}$  proračunska vrednost čvrstoće ležišta, videti (2) u daljem tekstu
- $a_2$  rastojanje od spoljašnjeg kraja oslonačkog elementa, za koje se može smatrati da ne sudeluje u prenošenju sila, videti sliku 10.6 i tabelu 10.3
- $a_3$  slično definisano rastojanje za element koji se oslanja, videti sliku 10.6 i tabelu 10.4
- $\Delta a_2$  tolerancija (dopušteno odstupanje) (*allowance for deviations*) za rastojanje između oslonačkih elemenata, videti tabelu 10.5
- $\Delta a_3$  tolerancija za dužinu oslonjenog elementa  
 $\Delta a_3 = l_n / 2500$ , gde je  $l_n$  dužina elementa.



Slika 10.6: Primer ležišta i definicije

Tabela 10.2: Minimalna veličina  $a_1$  u (mm)

Relativni napon u ležištu, $\sigma_{Ed} / f_{cd}$	$\leq 0,15$	0,15 – 0,4	$> 0,4$
Linijsko oslanjanje (međuspratne i krovne konstrukcije)	25	30	40
Rebraste tavanice i rožnjače	55	70	80
Koncentrisano oslanjanje (grede)	90	110	140

**Tabela 10.3: Rastojanje  $a_2$  (mm) od spoljašnjeg kraja oslonackog elementa, za koje se pretpostavlja da ne sudeluje u prenošenju opterećenja**

Materijal ležišta i vrsta oslonca	$\sigma_{Ed}/f_{cd}$	$\leq 0,15$	$0,15 - 0,4$	$> 0,4$
Čelik	linijski	0	0	10
	koncentrisan	5	10	15
Armironi beton $\geq C30$	linijski	5	10	15
	koncentrisan	10	15	25
Nearmirani beton i armironi beton $< C30$	linijski	10	15	25
	koncentrisan	20	25	35
Zid od opeke	linijski	10	15	(-)
	koncentrisan	20	25	(-)

Napomena: Za slučajeve označene sa (-) treba da se koristi oslonacka ploča od betona.

**Tabela 10.4: Rastojanje  $a_3$  (mm) od spoljašnjeg kraja oslonjenog elementa, za koje se pretpostavlja da ne sudeluje u prenošenju opterećenja**

Konstrukcijski detalji armature	Oslonac	
	linijski	koncentrisan
Kontinualne šipke preko oslonca (sa ili bez uklještenja)	0	0
Prave šipke, horizontalne petlje, blizu kraja elementa	5	15, ali ne manje od zaštitnog sloja na kraju elementa
Kablovi za prethodno naprezanje ili prave šipke slobodne na krajevima elementa	5	15
Armatura od vertikalnih petlji	15	zaštitni sloj betona na kraju elementa + unutrašnji poluprečnik savijanja

**Tabela 10.5: Tolerancija  $\Delta a_2$  za odstupanja od čistog rastojanja između ivica oslonaca ( $l = \text{raspon}$ )**

Materijal oslonca	$\Delta a_2$
Čelik ili prefabrikovani beton	$10 \leq l/1200 \leq 30$ mm
Oslonac od opeke ili beton liven na licu mesta	$15 \leq l/1200 + 5 \leq 40$ mm

(2) U nedostatku drugačijih specifikacija, za čvrstoću ležišta mogu da se koriste sledeće vrednosti:

$$f_{Rd} = 0,4 f_{cd} \quad \text{za suve spojnice (videti 10.9.4.3 (3) za definiciju)}$$

$$f_{Rd} = f_{bed} \leq 0,85 f_{cd} \quad \text{za sve ostale slučajeve}$$

gde je:

$f_{cd}$  niža vrednost proračunske čvrstoće betona od dve vrednosti: za element koji je oslonjen i za oslonacki element

$f_{bed}$  proračunska čvrstoća materijala ležišta.

(3) Ako su preduzete mere da se obezbedi jednako podeljena raspodela pritiska na ležište, na primer, sa podložnim slojem (*pad*) maltera, neoprenom, ili sličnim podložnim materi-

## EN 1992-1-1:2004

jalom, može da se smatra da je proračunska širina ležišta  $b_1$  jednaka stvarnoj širini ležišta. U suprotnom, i u nedostatku tačnije analize,  $b_1$  ne treba da bude veće od **600 mm**.

### 10.9.5.3 LEŽIŠTA ZA IZDOJENE ELEMENTE

**(1)P** Nominalna dužina ležišta mora da bude **20 mm** veća nego za neizdvojene (*non-isolated*) elemente.

**(2)P** Ako ležište dozvoljava pomeranje na osloncu, neto dužina ležišta mora da se poveća da bi se obezbedila moguća pomeranja.

**(3)P** Ako je element prihvaćen zategom koja nije na nivou njegovog ležišta, neto dužina ležišta  $a_1$  mora da se poveća da bi se obuhvatili uticaji moguće rotacije.

### 10.9.6 FUNDIRANJE MONTAŽNIH STUBOVA U BETONSKIM STOPAMA

#### 10.9.6.1 OPŠTA ODREDBA

**(1)P** Betonske stope za montažne stubove (*concrete pockets foundations*) moraju da budu u stanju da prenesu vertikalna dejstva, momente savijanja i horizontalne sile smicanja sa stuba na tle. Prostor za montažu stubova (montažna čaša) (*pocket*) mora da bude dovoljan da omogući da se betonska ispuna ispravno izbetonira ispod i oko stuba.

#### 10.9.6.2 ČAŠE ZA MONTAŽNE STUBOVE SA OREBRENIM POVRŠINAMA

**(1)** Za čaše na stopama za montažne stubove, čije su unutrašnje površine specijalno ozubljene (orebrene) ili su sa moždanicama, može da se smatra da posle montaže deluju monolitno sa stubom.

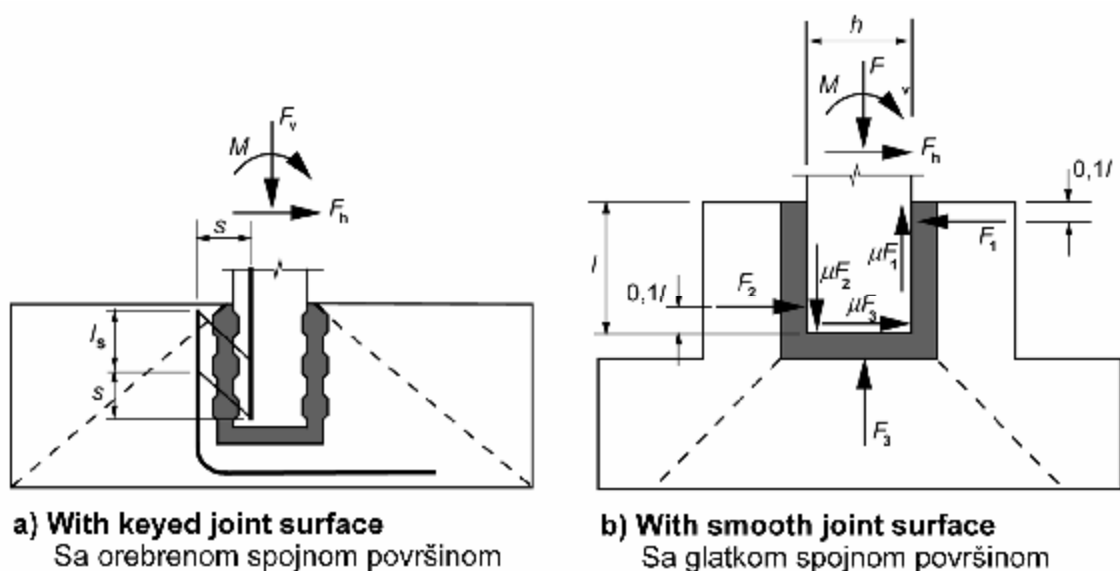
**(2)** Kada može doći do vertikalnog zatezanja usled prenošenja momenta, potrebno je obratiti pažnju na konstrukcijske detalje armature u čaši i u stubu koja se nastavlja preklapanjem na dužini na kojoj su površine čaše i stuba na isti način obrađene, vodeći računa o međusobnom rastojanju te armature. Dužina preklapanja, data u 8.7, treba da se poveća najmanje za veličinu horizontalnog rastojanja između šipki u stubu i u zidu čaše (videti sliku 10.7 (a)). Treba da se obezbedi i adekvatna horizontalna armatura za nastavljavanje preklapanjem.

**(3)** Proračun smicanja usled probijanja treba da bude kao za monolitne veze stub/temelj, prema 6.4, kako je prikazano na slici 10.7 (a), pod uslovom da je dokazano prenošenje smicanja između stuba i temelja. U suprotnom, proračun smicanja usled probijanja treba da se sprovede kao za montažne čaše sa glatkim površinama.

#### 10.9.6.3 ČAŠE ZA MONTAŽNE STUBOVE SA GLATKIM POVRŠINAMA

**(1)** Može da se pretpostavi da se sile i momenat prenose sa stuba na stopu silama pritiska  $F_1$ ,  $F_2$  i  $F_3$  kroz betonsku ispunu i odgovarajućim silama trenja, kako je prikazano na slici 10.7 (b). Za takav model potrebno je da bude  $l \geq 1,2 h$ .

**(2)** Koeficijent trenja ne treba da se uzme veći od  $\mu = 0,3$ .



**Slika 10.7: Stope sa čašama za montažne stubove**

- (3) Posebna pažnja treba da se obrati na:
- konstrukcijske detalje armature za silu  $F_1$  na gornjoj ivici zidova čaše
  - prenošenje sile  $F_1$  duž bočnih zidova do temeljne stope
  - ankerovanje glavne armature u stubu i u zidovima čaše
  - nosivost na smicanje stuba unutar čaše
  - nosivost temeljne ploče ispod stuba na probijanje usled sile u stubu, pri čemu se u proračunu može da uzme u obzir konstrukcijski beton ugrađen in-situ ispod pre-fabrikovanog stuba.

### 10.9.7 SISTEMI POVEZIVANJA ZATEGAMA

(1) Za ravne elemente opterećene u svojoj ravni, na primer, za zidove ili podne dijafragme, potrebna interakcija može da se obezbedi povezivanjem konstrukcije zategama po obimu konstrukcije i/ili unutrašnjim zategama.

Iste zatege mogu da imaju i funkciju sprečavanja progresivnog loma, prema 9.10.

## GLAVA 11

# BETONSKE KONSTRUKCIJE OD LAKOG AGREGATA

### 11.1 OPŠTI PRINCIP

(1)P U ovoj glavi dati su dodatni zahtevi za beton od lakog agregata (*lightweight aggregate concrete - LWAC*). Odredbe u ovoj glavi pozivaju se na ostale glave ovog standarda (1 do 10 i 12) kao i na anekse.

**Napomena:** Naslovi poglavlja u ovoj glavi obeleženi su brojem **11**, posle kojeg sledi broj odgovarajuće glave iz prethodnog dela ovog standarda. Naslovi nižeg reda numerisani su rednim brojevima prema redosledu izlaganja, bez pozivanja na brojeve podnaslova u odgovarajućim glavama. Ukoliko se daju alternative za pojedine izraze, slike i tabele, ispred originalnih referentnih brojeva isto se dodaje broj **11**.

#### 11.1.1 OBLAST PRIMENE

(1)P Sve odredbe u glavama 1 do 10 i 12 generalno ostaju u važnosti, ukoliko nisu zamenjene posebnim odredbama datim u ovoj glavi. Generalno, kada se u izrazima koriste čvrstoće betona iz tabele 3.1, te vrednosti moraju da se zamene vrednostima koje odgovaraju za beton od lakog agregata, datim u ovoj glavi u tabeli 11.3.1.

(2)P Glava 11 odnosi se na sve betone sa zatvorenom strukturom, spravljene sa prirodnim ili sa veštačkim mineralnim lakim agregatom, osim ako pouzdano iskustvo ukazuje da se sa sigurnošću mogu da usvoje odredbe drugačije od onih koje su ovde date.

(3) Ova glava ne važi za beton sa uvučenim vazduhom (*aerated concrete*), bilo da je zaparivan pod pritiskom (*autoclaved*) ili normalno negovan, niti za beton od lakog agregata sa otvorenom strukturom.

(4)P Beton od lakog agregata je beton sa zatvorenom strukturom i zapreminskom masom koja nije veća od **2.200 kg/m<sup>3</sup>**, a sastoji se ili sadrži izvestan deo veštačkog ili prirodnog lakog agregata čija je zapreminska masa manja od **2.000 kg/m<sup>3</sup>**.

#### 11.1.2 POSEBNE OZNAKE

(1)P Sledeće oznake koriste se specijalno za beton od lakog agregata:

- LC** ispred klasa čvrstoće betona od lakog agregata dodaje se oznaka LC
- $\eta_E$  koeficijent konverzije za proračun modula elastičnosti
- $\eta_1$  koeficijent za određivanje čvrstoće pri zatezanju
- $\eta_2$  koeficijent za određivanje koeficijenta tečenja
- $\eta_3$  koeficijent za određivanje dilatacija skupljanja usled sušenja (*drying shrinkage*)
- $\rho$  zapreminska masa betona od lakog agregata posle sušenja u peći (*oven-dry density*) u **kg/m<sup>3</sup>**.

Za mehanička svojstva koristi se dodatni indeks *I* (koji označava laki agregat) (*lightweight*).

### 11.2 OSNOVE PRORAČUNA

(1)P Za beton od lakog agregata glava 2 važi bez izmena.

## 11.3 MATERIJALI

### 11.3.1 BETON

(1)P U EN 206-1 laki agregat klasifikovan je prema svojoj zapremskoj masi na klase zapremske mase (*density classes*), kako je prikazano u tabeli 11.1. Osim toga, u toj tabeli date su i odgovarajuće zapremske mase nearmiranog betona i armiranog betona sa uobičajenim procentom armature, koje mogu da se koriste za potrebe proračuna pri određivanju sopstvene težine ili drugih stalnih opterećenja. Alternativno, zapremska masa može da se propiše kao zahtevana vrednost.

**Tabela 11.1: Klase zapremske mase i odgovarajuće proračunske zapremske mase betona od lakog agregata prema EN 206-1**

Klase zapremske mase		1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Zapremska masa lakog agregata (kg/m <sup>3</sup> )		801-1000	1001-1200	1201-1400	1401-1600	1601-1800	1801-2000
Zapremska masa (kg/m <sup>3</sup> )	nearmirani beton	1050	1250	1450	1650	1850	2050
	armirani beton	1150	1350	1550	1750	1950	2150

(2) Umesto vrednosti iz tabele 11.1, povećanje zapremske mase usled doprinosa armature može da se odredi proračunom.

(3) Čvrstoća betona od lakog agregata pri zatezanju može da se dobije množenjem vrednosti  $f_{ct}$  iz tabele 3.1 sa koeficijentom:

$$\eta_1 = 0,40 + 0,60\rho / 2200 \quad (11.1)$$

gde je  $\rho$  gornja granica zapremske mase za određenu klasu zapremske mase prema tabeli 11.1.

### 11.3.2 ELASTIČNA DEFORMACIJA

(1) Procenjene srednje vrednosti sekantnog modula elastičnosti (*mean values of the secant modulus*)  $E_{Icm}$  za beton od lakog agregata mogu da se odrede množenjem vrednosti iz tabele 3.1 za beton normalne zapremske mase sa koeficijentom:

$$\eta_E = (\rho / 2200) \quad (11.2)$$

gde  $\rho$  označava zapremsku masu posle sušenja u peći, prema EN 206-1 glava 4 (videti tabelu 11.1).

Kada su potrebni tačni podaci, na primer, kada su ugibi od velikog značaja, za određivanje vrednosti  $E_{Icm}$  treba da se izvrše testovi prema ISO 6784.

**Napomena:** U Nacionalnom aneksu odgovarajuće zemlje može da se ukaže na nekontradiktorne dodatne informacije.

(2) Koeficijent termičke dilatacije (*coefficient of thermal expansion*) za beton od lakog agregata uglavnom zavisi od vrste agregata koji se koristi i varira u širokom opsegu od oko  $4 \cdot 10^{-6}$  do  $14 \cdot 10^{-6}/K$ .

Tabela 11.3.1: Čvrstoće i deformacijske karakteristike betona od lakog agregata

Klase čvrstoće za beton od lakog agregata													Analitički izraz/oblaštenje
$f_{\text{ck}}$ (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	
$f_{\text{ck,cube}}$ (MPa)	13	18	22	28	33	38	44	50	55	60	66	77	88
$f_{\text{icm}}$ (MPa)	17	22	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88
$f_{\text{icm}}$ (MPa)	$f_{\text{icm}} = f_{\text{ctm}} \cdot \eta_1$												$\eta_1 = 0,40 + 0,60 \rho / 2200$
$f_{\text{ictk},0,05}$ (MPa)	$f_{\text{ictk},0,05} = f_{\text{ctk},0,05} \cdot \eta_1$												5% fraktil
$f_{\text{ictk},0,95}$ (MPa)	$f_{\text{ictk},0,95} = f_{\text{ctk},0,95} \cdot \eta_1$												95% fraktil
$E_{\text{icm}}$ (GPa)	$E_{\text{icm}} = E_{\text{cm}} \cdot \eta_E$												$\eta_E = (\rho / 2200)^2$
$\epsilon_{\text{lc1}}$ (‰)	$k f_{\text{icm}} / (E_{\text{lc1}} \cdot \eta_E)$												videti sliku 3.2
$\epsilon_{\text{lcu1}}$ (‰)	$\epsilon_{\text{lc1}}$												videti sliku 3.2
$\epsilon_{\text{lc2}}$ (‰)	2,0									2,2	2,3	2,4	2,5
$\epsilon_{\text{lcu2}}$ (‰)	3,5 $\eta_1$									3,1 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,7 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$
$n$	2,0									1,75	1,6	1,45	1,4
$\epsilon_{\text{lc3}}$ (‰)	1,75									1,8	1,9	2,0	2,2
$\epsilon_{\text{lcu3}}$ (‰)	3,5 $\eta_1$									3,1 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,7 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$

Za potrebe proračuna, kada termička dilatacija nije od velikog značaja, može da se uzme da je koeficijent termičke dilatacije  $8 \cdot 10^{-6}/K$ .

Razlike između koeficijenata termičke dilatacije čelika i betona od lakog agregata ne treba da se uzmu u obzir u proračunu.

### 11.3.3 TEČENJE I SKUPLJANJE

(1) Može da se pretpostavi da je koeficijent tečenja betona od lakog agregata  $\varphi$  jednak vrednosti za beton normalne zapreminske mase pomnoženoj sa faktorom  $(\rho / 2200)^2$ .

Tako određene dilatacije tečenja treba da se pomnože sa koeficijentom  $\eta_2$ :

$$\begin{aligned} \eta_2 &= 1,5 && \text{za } f_{lck} \leq \text{LC16/18} \\ &= 1,0 && \text{za } f_{lck} \geq \text{LC20/22} \end{aligned}$$

(2) Konačne vrednosti skupljanja usled sušenja (*final drying shrinkage values*) za beton od lakog agregata mogu da se odrede množenjem odgovarajućih vrednosti za beton normalne zapreminske mase iz tabele 3.2 sa koeficijentom  $\eta_3$ :

$$\begin{aligned} \eta_3 &= 1,5 && \text{za } f_{lck} \leq \text{LC16/18} \\ &= 1,2 && \text{za } f_{lck} \geq \text{LC20/22} \end{aligned}$$

(3) Izrazi (3.11), (3.12) i (3.13), kojima su date vrednosti sopstvenog skupljanja (*autogenous shrinkage*), daju maksimalne vrednosti za beton od lakog agregata kada nije moguć nikakav doticaj vode iz agregata u mikrostrukturu cementne matrice koja se suši. Ako se koristi lak agregat zasićen vodom, ili delimično zasićen vodom, vrednosti sopstvenog skupljanja biće znatno manje.

### 11.3.4 DIJAGRAMI NAPON-DEFORMACIJA ZA NELINEARNU ANALIZU KONSTRUKCIJA

(1) Za beton od lakog agregata vrednosti  $\varepsilon_{c1}$  i  $\varepsilon_{c2}$ , date na slici 3.2, treba da se zamene vrednostima  $\varepsilon_{lc1}$  i  $\varepsilon_{lc2}$ , datim u tabeli 11.3.1.

### 11.3.5 PRORAČUNSKE ČVRSTOĆE PRI PRITISKU I PRI ZATEZANJU

(1)P Vrednost proračunske čvrstoće betona od lakog agregata pri pritisku data je izrazom:

$$f_{lcd} = \alpha_{lcc} f_{lck} / \gamma_c \quad (11.3.15)$$

gde je  $\gamma_c$  parcijalni koeficijent sigurnosti za beton, videti 2.4.2.4, i  $\alpha_{lcc}$  koeficijent prema 3.1.6 (1)P.

**Napomena:** Vrednost  $\alpha_{lcc}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **0,85**.

(2)P Vrednost proračunske čvrstoće betona od lakog agregata pri zatezanju data je izrazom:

$$f_{lctd} = \alpha_{lct} f_{lctk} / \gamma_c \quad (11.3.16)$$

## EN 1992-1-1:2004

gde je  $\gamma_c$  parcijalni koeficijent sigurnosti za beton, videti 2.4.1.4, i  $\alpha_{lct}$  koeficijent prema 3.1.6 (2)P.

**Napomena:** Vrednost  $\alpha_{lct}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **0,85**.

### 11.3.6 DIJAGRAMI NAPON–DILATACIJA ZA PRORAČUN PRESEKA

(1) Za beton od lakog agregata vrednosti  $\varepsilon_{c2}$  i  $\varepsilon_{cu2}$ , date na slici 3.3, treba da se zamene vrednostima  $\varepsilon_{lc2}$  i  $\varepsilon_{lcu2}$  datim u tabeli 11.3.1.

(2) Za beton od lakog agregata vrednosti  $\varepsilon_{c3}$  i  $\varepsilon_{cu3}$ , date na slici 3.4, treba da se zamene vrednostima  $\varepsilon_{lc3}$  i  $\varepsilon_{lcu3}$  datim u tabeli 11.3.1.

### 11.3.7 UTEGNUTI BETON

(1) Ako se ne raspolaže preciznijim podacima, može da se koristi dijagram napon-dilatacija prikazan na slici 3.6, sa povećanim karakterističnim vrednostima napona i dilatacija, prema izrazu:

$$f_{lck,c} = f_{lck}(1,0 + k\sigma_2/f_{lck}) \quad (11.3.24)$$

**Napomena:** Vrednost  $k$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je:

1,1 za beton od lakog agregata sa prirodnim peskom kao finim agregatom

1,0 za beton sa svim frakcijama (finim i krupnim) od lakog agregata

$$\varepsilon_{lc2,c} = \varepsilon_{lc2} (f_{lckc}/f_{lck})^2 \quad (11.3.26)$$

$$\varepsilon_{lcu2,c} = \varepsilon_{lcu2,c} + 0,2 \sigma_2/f_{lck} \quad (11.3.27)$$

gde su vrednosti  $\varepsilon_{lc2}$  i  $\varepsilon_{lcu2}$  date u tabeli 11.3.1.

## 11.4 TRAJNOST I ZAŠTITNI SLOJ BETONA

### 11.4.1 USLOVI SREDINE

(1) Za beton od lakog agregata mogu da se koriste iste indikativne klase izloženosti uticajima sredine koje su date u tabeli 4.1 za beton normalne zapreminske mase.

### 11.4.2 ZAŠTITNI SLOJ I SVOJSTVA BETONA

(1)P Za beton od lakog agregata minimalne veličine zaštitnog sloja betona, date u tabeli 4.2, moraju da se povećaju za **5 mm**.

## 11.5 ANALIZA KONSTRUKCIJA

### 11.5.1 KAPACITET ROTACIJE

**Napomena:** Za beton od lakog agregata vrednost  $\theta_{pl,d}$ , koja je prikazana na slici 5.6N, treba da se pomnoži sa faktorom  $\varepsilon_{lc2u}/\varepsilon_{c2u}$ .

## 11.6 GRANIČNA STANJA NOSIVOSTI

### 11.6.1 ELEMENTI U KOJIMA NIJE POTREBNA PRORAČUNSKA ARMATURA ZA SMICANJE

(1) Proračunska vrednost nosivosti pri smicanju betonskog elementa od lakog agregata bez armature za smicanje,  $V_{IRd,c}$ , data je izrazom:

$$V_{IRd,c} = [C_{IRd,c} \eta_1 k (100 \rho_l f_{lck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \geq (v_{l,min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d \quad (11.6.2)$$

gde je koeficijent  $\eta_1$  definisan izrazom (11.1),  $f_{lck}$  se uzima iz tabele 11.3.1 i  $\sigma_{cp}$  je srednja vrednost napona pritiska u preseku od aksijalne sile i prethodnog naprezanja.

**Napomena:** Vrednosti  $C_{IRd,c}$ ,  $v_{l,min}$  i  $k_1$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost za  $C_{IRd,c}$  je  $0,15/\gamma_c$ , za  $v_{l,min}$  je  $0,03 k^{3/2} f_{lck}^{1/2}$  i za  $k_1$  je  $0,15$ .

**Tabela 11.6.1N: Vrednosti  $v_{l,min}$  za date vrednosti  $d$  i  $f_{lck}$**

$d$ (mm)	$v_{l,min}$ (MPa)						
	$f_{lck}$ (MPa)						
	20	30	40	50	60	70	80
200	0,36	0,44	0,50	0,56	0,61	0,65	0,70
400	0,29	0,35	0,39	0,44	0,48	0,52	0,55
600	0,25	0,31	0,35	0,39	0,42	0,46	0,49
800	0,23	0,28	0,32	0,36	0,39	0,42	0,45
$\geq 1000$	0,22	0,27	0,31	0,34	0,37	0,40	0,43

(2) Proračunska sila smicanja,  $V_{Ed}$ , sračunata bez redukcije sa koeficijentom  $\beta$  (videti 6.2.2 (6)), treba uvek da zadovolji uslov:

$$V_{Ed} \leq 0,5 \eta_1 b_w d v_l f_{lck} \quad (11.6.5)$$

gde je:

$\eta_1$  koeficijent definisan u 11.6.1 (1)

$v_l$  redukcioni koeficijent prema 11.6.2 (1).

### 11.6.2 ELEMENTI U KOJIMA JE POTREBNA PRORAČUNSKA ARMATURA ZA SMICANJE

(1) Redukcioni koeficijent za nosivost pritisnutih betonskih štapova u analizi modela pritisnutih štapova i zatega je  $v_l$ .

**Napomena:** Vrednost  $v_l$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost data je izrazom:

$$v_l = 0,5 \eta_1 (1 - f_{lck} / 250) \quad (11.6.6N)$$

## 11.6.3 TORZIJA

### 11.6.3.1 POSTUPAK PRORAČUNA

(1) Za beton od lakog agregata koeficijent  $v$  u izrazu (6.30) treba da se uzme da je jednak  $v_l$ , prema 11.6.2 (1).

## 11.6.4 PROBIJANJE

### 11.6.4.1 NOSIVOST PRI SMICANJU OD PROBIJANJA PLOČA ILI STOPA STUBOVA BEZ ARMATURE ZA SMICANJE

(1) Proračunska vrednost nosivosti pri smicanju od probijanja po jedinici površine (*punching shear resistance per unit area*) ploče od betona od lakog agregata sledi iz izraza:

$$V_{IRd,c} = C_{IRd,c} k \eta_1 (100 \rho_1 f_{lck})^{1/3} + k_2 \sigma_{cp} \geq (\eta_1 v_{l,min} + k_2 \sigma_{cp}) \quad (11.6.47)$$

gde je:

$\eta_1$  koeficijent dat izrazom (11.1)  
 $C_{IRd,c}$  videti 11.6.1 (1)  
 $v_{l,min}$  videti 11.6.1 (1).

**Napomena:** Vrednost  $k_2$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **0,08**.

(2) Nosivost pri smicanju od probijanja (*punching shear resistance*),  $V_{IRd}$ , za stope stubova od betona od lakog agregata, sledi iz izraza:

$$V_{IRd,c} = C_{IRd,c} \eta_1 k (100 \rho_1 f_{lck})^{1/3} 2d/a \geq \eta_1 v_{l,min} \cdot 2d/a \quad (11.6.50)$$

gde je:

$\eta_1$  koeficijent definisan izrazom (11.1)  
 $\rho_1 \geq 0,005$   
 $C_{IPd,c}$  videti 11.6.1 (1)  
 $v_{l,min}$  videti 11.6.1 (1).

### 11.6.4.2 NOSIVOST PRI SMICANJU OD PROBIJANJA PLOČA ILI STOPA STUBOVA SA ARMATUROM ZA SMICANJE

(1) Kada je u betonskim pločama i stopama stubova od lakog agregata potrebna armatura za smicanje, nosivost pri smicanju od probijanja data je izrazom:

$$V_{IRd,cs} = 0,75 v_{IRd,c} + 1,5 \left( \frac{d}{s_r} \right) \left( \frac{1}{u_1 d} \right) A_{sw} f_{ywd,eff} \sin \alpha \quad (11.6.52)$$

gde je  $v_{IRd,c}$  definisano jednim od izraza (11.6.47) ili (11.6.53), u zavisnosti od elementa koji se razmatra.

(2) U zoni uz stub napon smicanja od probijanja ograničen je na najviše:

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{u_0 d} \leq v_{IRd,max} = 0,5 v f_{lck} \quad (11.6.53)$$

gde koeficijent  $v$  treba uzeti da je jednak vrednosti  $v_l$ , prema 11.6.2 (1).

## 11.6.5 LOKALNO OPTEREĆENJE

(1) Za jednako podeljeno opterećenje na površini  $A_{c0}$  (videti sliku 6.29), koncentrisana sila nosivosti (*concentrated resistance force*) može da se odredi prema izrazu:

$$F_{Rdu} = A_{c0} \cdot f_{lctd} [A_{c1}/A_{c0}] \frac{\rho}{4400} \leq 3,0 \cdot f_{lctd} \cdot A_{c0} \frac{\rho}{2200} \quad (11.6.63)$$

### 11.6.6 ZAMOR

(1) Proračun elemenata od betona od lakog agregata na dejstvo zamora zahteva posebnu pažnju. Treba koristiti odgovarajuće Evropsko tehničko odobrenje.

## 11.7 GRANIČNA STANJA UPOTREBLJIVOSTI

(1)P Osnovni odnosi raspon/statička visina za armiranobetonske elemente bez aksijalne sile pritiska, dati u 7.4.2, za beton od lakog agregata treba da se redukuju sa faktorom  $\eta_E^{0,15}$ .

## 11.8 KONSTRUKCIJSKI DETALJI ARMATURE – OPŠTE ODREDBE

### 11.8.1 DOPUŠTENI PREČNICI VALJAKA ZA SAVIJANJE ŠIPKI

(1) Prečnici valjaka koji su dati u 8.3 da bi se u betonu normalne zapreminske mase izbeglo cepanje betona unutar pravougaonih i polukružnih kuka i petlji (*bends, hooks and loops*), za beton od lakog agregata treba da se povećaju za **50%**.

### 11.8.2 GRANIČNI NAPON PRIANJANJA

(1) Proračunska vrednost graničnog napona prianjanja za beton od lakog agregata može da se odredi prema izrazu 8.2, zamenjujući  $f_{ctd}$  sa  $f_{lctd}$ , gde je  $f_{lctd} = f_{lctk,0,05} / \gamma_C$ . Vrednosti  $f_{lctk,0,05}$  date su u tabeli 11.3.1.

## 11.9 KONSTRUKCIJSKI DETALJI ELEMENATA I POSEBNA PRAVILA

(1) Prečnik šipki kojima se armiraju elementi od betona od lakog agregata normalno ne treba da bude veći od **32 mm**. Svežnjevi šipki (*bundles of bars*) u betonu od lakog agregata ne treba da imaju više od dve šipke a njihov ekvivalentni prečnik ne treba da je veći od **45 mm**.

## 11.10 DODATNA PRAVILA ZA PREFABRIKOVANE BETONSKE ELEMENTE I KONSTRUKCIJE

(1) Za beton od lakog agregata glava 10 važi bez izmena.

## 11.12 NEARMIRANE I SLABO ARMIRANE BETONSKE KONSTRUKCIJE

(1) Za beton od lakog agregata glava 12 važi bez izmena.

## GLAVA 12

# NEARMIRANE I SLABO ARMIRANE BETONSKE KONSTRUKCIJE

### 12.1 OPŠTE ODREDBE

(1)P U ovoj glavi data su dodatna pravila za nearmirane betonske konstrukcije (*plain concrete structures*) ili za konstrukcije sa armaturom manjom od minimalne koja se zahteva za armirani beton (*lightly reinforced concrete structures*).

**Napomena:** Naslovi u ovoj glavi obeleženi su brojem **12**, posle kojeg sledi broj odgovarajuće glave iz prethodnog dela ovog standarda. Naslovi nižeg reda numerisani su rednim brojevima prema redosledu izlaganja, bez pozivanja na brojeve podnaslova u odgovarajućim glavama.

(2) Odredbe ove glave odnose se na elemente u kojima mogu da se zanemare uticaji dinamičkih dejstava. Ona se ne odnosi na uticaje kao što su uticaji od rotacionih mašina ili saobraćajnog opterećenja. Primeri takvih elemenata su:

- elementi izloženi pretežno pritisku koji nije rezultat prethodnog naprezanja, na primer, zidovi, stubovi, luci, svodovi, i tuneli (*walls, columns, arches, vaults, and tunnels*)
- temeljne trake i pojedinačne temeljne stope (*strip and pad footings for foundations*)
- potporni zidovi (*retaining walls*)
- šipovi (*piles*) čiji je prečnik  $\geq 600$  mm i u kojima je  $N_{Ed}/A_c \leq 0,3 f_{ck}$ .

(3) Za elemente od betona od lakog agregata sa zatvorenom strukturom, prema glavi 11, ili za prefabrikovane betonske elemente i konstrukcije koje su obuhvaćene ovim Evrokomom, proračunska pravila treba da se na odgovarajući način modifikuju.

(4) U elementima od nearmiranog betona ne isključuje se korišćenje čelične armature potrebne da se zadovolje zahtevi upotrebljivosti i/ili trajnosti, niti armature u izvesnim delovima elemenata. Ta armatura može da se uzme u obzir u proveru lokalnih graničnih stanja nosivosti, kao i u proveru graničnih stanja upotrebljivosti.

### 12.3 MATERIJALI

#### 12.3.1 BETON: DODATNE PRORAČUNSKE PRETPOSTAVKE

(1) Usled smanjenih svojstava duktilnosti nearmiranog betona, za koeficijente  $\alpha_{cc,pl}$  i  $\alpha_{ct,pl}$  treba da se uzmu vrednosti manje od vrednosti  $\alpha_{cc}$  i  $\alpha_{ct}$  za armirani beton.

**Napomena:** Vrednosti  $\alpha_{cc,pl}$  i  $\alpha_{ct,pl}$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost za oba koeficijenta je **0,8**.

(2) Kada se naponi zatezanja uzimaju u obzir pri određivanju proračunske nosivosti nearmiranih betonskih elemenata, dijagram napon-dilatacija (videti 3.1.7) može da se produži do proračunske čvrstoće pri zatezanju, koristeći izraz 3.16 ili linearan odnos (pravu liniju).

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} f_{ctk,0,05} / \gamma_c \quad (12.1)$$

(3) Mogu se koristiti metode Mehanike loma (*Fracture mechanics*) pod uslovom da može da se dokaže da one obezbeđuju zahtevani nivo sigurnosti.

## 12.5 ANALIZA KONSTRUKCIJA: GRANIČNA STANJA NOSIVOSTI

(1) S obzirom da elementi od nearmiranog betona imaju ograničenu duktilnost, linearna analiza sa redistribucijom uticaja ili plastična analiza, odnosno metode bez eksplicitne provere kapaciteta deformacije ne treba da se koriste, osim ako se dokaže mogućnost njihove primene.

(2) U analizi konstrukcija može da se koristi nelinearna ili linearna teorija elastičnosti. U slučaju nelinearne analize (na primer, prema Mehanici loma), treba da se proveri kapacitet deformacije (*deformation capacity*).

## 12.6 GRANIČNA STANJA NOSIVOSTI

### 12.6.1 PRORAČUNSKA NOSIVOST PRI SAVIJANJU I AKSIJALNOJ SILI

(1) U slučaju zidova, ukoliko su predviđeni adekvatni konstrukcijski detalji i nega elementa, prinudne deformacije (*imposed deformations*) usled temperature i skupljanja mogu da se zanemare.

(2) Dijagrami napon-dilatacija za nearmirani beton treba da se uzmu prema 3.1.7.

(3) Nosivost pravougaonog poprečnog preseka pri dejstvu aksijalne sile (*axial resistance*),  $N_{Rd}$ , sa jednoaksijalnim ekscentricitetom  $e$  u pravcu  $h_w$ , može da se odredi prema izrazu:

$$N_{Rd} = \eta f_{cd} \times b \times h_w \times (1 - 2e/h_w) \quad (12.2)$$

gde je:

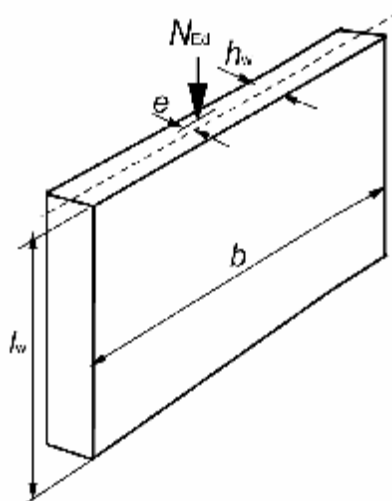
$\eta f_{cd}$  proračunska efektivna čvrstoća pri pritisku (videti 3.1.7 (3))

$b$  ukupna širina poprečnog preseka (videti sliku 12.1)

$h_w$  ukupna visina poprečnog preseka (debljina zida)

$e$  ekscentricitet sile  $N_{Ed}$  u pravcu  $h_w$ .

**Napomena:** Kada se koriste druge uprošćene metode, one ne treba da budu manje konzervativne od strožije metode u kojoj se koristi dijagram napon-dilatacija koji je dat u 3.1.7.



Slika 12.1: Oznake za zid od nearmiranog betona

## 12.6.2 LOKALNI LOM

(1)P Ukoliko nisu preduzete mere da ne dođe do lokalnog loma usled zatezanja u poprečnom preseku (*local tensile failure*), maksimalni ekscentricitet aksijalne sile  $N_{Ed}$  u poprečnom preseku treba da se ograniči da bi se sprečila pojava prslina širokih otvora.

## 12.6.3 SMICANJE

(1) U nearmiranim betonskim elementima, u analizi graničnog stanja nosivosti pri smicanju može da se uzme u obzir čvrstoća betona pri zatezanju, pod uslovom da se proračunom, ili na osnovu iskustva, dokaže da je isključena mogućnost krtoq loma (*brittle failure*) i da može da se obezbedi adekvatna nosivost.

(2) Za presek koji je izložen sili smicanja  $V_{Ed}$  i normalnoj sili  $N_{Ed}$  koja deluje na pritisnutoj površini  $A_{cc}$ , apsolutna vrednost komponenta proračunskih napona data je izrazima:

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_{cc} \quad (12.3)$$

$$\tau_{cp} = kV_{Ed}/A_{cc} \quad (12.4)$$

**Napomena:** Vrednost  $k$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je 1,5.

Potrebno je da se prover i da li su ispunjeni uslovi:

$$\tau_{cp} \leq f_{cvd}$$

gde je:

$$\sigma_{cp} \leq \sigma_{c,lim} \quad f_{cvd} = \sqrt{f_{ctd}^2 + \sigma_{cp}f_{ctd}} \quad (12.5)$$

ili

$$\sigma_{cp} > \sigma_{c,lim} \quad f_{cvd} = \sqrt{f_{ctd}^2 + \sigma_{cp}f_{ctd} - \left(\frac{\sigma_{cp} - \sigma_{c,lim}}{2}\right)^2} \quad (12.6)$$

$$\sigma_{c,lim} = f_{cd} - 2\sqrt{f_{ctd}(f_{ctd} + f_{cd})} \quad (12.7)$$

gde je:

$f_{cvd}$  proračunska čvrstoća betona pri smicanju i pritisku

$f_{cd}$  proračunska čvrstoća betona pri pritisku

$f_{ctd}$  proračunska čvrstoća betona pri zatezanju.

(3) Može da se smatra da je betonski element u graničnom stanju nosivosti bez prslina ako je potpuno pritisnut ili ako apsolutna vrednost glavnog napona zatezanja  $\sigma_{ct1}$  nije veća od  $f_{ctd}$ .

## 12.6.4 TORZIJA

(1) Elemente sa prslinama normalno ne treba predvideti za prihvatanje momenata torzije, osim ako može da se dokaže suprotno.

## 12.6.5 GRANIČNA STANJA NOSIVOSTI USLED DEFORMACIJE KONSTRUKCIJE (IZVIJANJE)

### 12.6.5.1 VITKOST STUBOVA I ZIDOVA

(1) Vitkost (*slenderness*) stuba ili zida data je izrazom:

$$\lambda = l_0 / i \quad (12.8)$$

gde je:

$i$  minimalni poluprečnik inercije (*minimum radius of gyration*)  
 $l_0$  efektivna dužina elementa, za koju se može pretpostaviti da je

$$l_0 = \beta \cdot l_w \quad (12.9)$$

gde je:

$l_w$  efektivna (slobodna) visina elementa

$\beta$  koeficijent koji zavisi od uslova oslanjanja:

za stubove, generalno, treba da se pretpostavi  $\beta = 1$

za konzolne stubove ili zidove  $\beta = 2$

za drugačije uslove oslanjanja zidova vrednosti  $\beta$  date su u tabeli 12.1.

**Tabela 12.1: Vrednosti  $\beta$  za različite ivične uslove**

Bočno uklještenje	Skica	Izraz	Koeficijent $\beta$	
duž dve ivice			$\beta = 1,0$ za bilo koji odnos $l_w/b$	
duž tri ivice		$\beta = \frac{1}{1 + \left(\frac{l_w}{3b}\right)^2}$	$b/l_w$	$\beta$
duž četiri ivice		ako je $b \geq l_w$ $\beta = \frac{1}{1 + \left(\frac{l_w}{3b}\right)^2}$ ako je $b < l_w$ $\beta = \frac{b}{2l_w}$	0,2	0,26
			0,4	0,59
			0,6	0,76
			0,8	0,85
			1,0	0,90
			1,5	0,95
2,0	0,97			
5,0	1,00			
			0,2	0,10
			0,4	0,20
			0,6	0,30
			0,8	0,40
			1,0	0,50
			1,5	0,69
			2,0	0,80
			5,0	0,96

(A) – Floor slab  
ploča poda

(B) – Free edge  
slobodna ivica

(C) – Transverse wall  
poprečni zid

**Napomena:** Vrednosti u tabeli 12.1 date su pod pretpostavkom da u zidu nema otvora čija je visina veća od 1/3 visine zida  $l_w$ , ili površina veća od 1/10 površine zida. U zidovima u kojima su otvori veći od

## EN 1992-1-1:2004

ovih vrednosti, a zidovi su bočno uklešteni duž 3 ili 4 ivice, treba smatrati da su delovi zidova između otvora bočno uklešteni samo duž dve ivice, i tako ih sračunati.

- (2) Ukoliko na nosivost u poprečnom pravcu nepovoljno utiču kanali ili udubljenja (niše) (*chases or recesses*) u zidu,  $\beta$  - koeficijente treba u odgovarajućoj meri povećati.
- (3) Poprečni zid (*transverse wall*) može da se smatra da je zid za ukrućenje (*bracing wall*) ako:
- ukupna debljina poprečnog zida nije manja od  $0,5 h_w$ , gde je  $h_w$  ukupna debljina zida koji se ukrućuje
  - zid ima istu visinu  $I_w$  kao zid koji se ukrućuje
  - dužina zida  $I_{nt}$  je najmanje jednaka  $I_w/5$ , gde  $I_w$  označava slobodnu visinu ukrućenog zida
  - na dužini  $I_{nt}$  poprečni zid nema otvore.
- (4) U slučaju da je zid i na gornjoj i na donjoj ivici betonom ugrađenim in-situ i armaturom kruto uklešten za uticaje savijanja, tako da ivični momenti mogu da budu potpuno prihvaćeni, vrednosti  $\beta$  date u tabeli 12.1 mogu da se smanje sa koeficijentom **0,85**.
- (5) Vitkost zidova od nearmiranog betona betoniranih na licu mesta generalno ne treba da bude veća od  $\lambda = 86$  (odnosno,  $I_0/h_w = 25$ ).

### 12.6.5.2 UPROŠĆENA METODA PRORAČUNA ZA ZIDOVE I STUBOVE

- (1) U nedostatku strožije analize, proračunska nosivost pri dejstvu granične aksijalne sile za vitak zid ili stub od nearmiranog betona može da se sračuna prema izrazu:

$$N_{Rd} = b \times h_w \times f_{cd} \times \Phi \quad (12.10)$$

gde je:

- $N_{Rd}$  nosivost pri dejstvu aksijalne sile (*axial resistance*)
- $b$  ukupna širina poprečnog preseka
- $h_w$  ukupna visina poprečnog preseka
- $\Phi$  koeficijent kojim se uzima u obzir ekscentricitet, uključujući uticaje drugog reda i uticaje skupljanja, videti dalji tekst.

Za ukrućene elemente, koeficijent  $\Phi$  može da se odredi prema izrazu:

$$\Phi = 1,14 (1 - 2e_{tot}/h_w) - 0,02 I_0/h_w \leq (1 - 2e_{tot}/h_w) \quad (12.11)$$

gde je:

- $e_{tot} = e_0 + e_i \quad (12.12)$
- $e_0$  ekscentricitet prvog reda, uključujući, gde je to od značaja, uticaj konstrukcija podova (na primer, eventualne momente savijanja koji se prenose sa ploče na zid) i horizontalna dejstva
- $e_i$  dodatni ekscentricitet kojim se obuhvataju uticaji geometrijskih imperfekcija, videti 5.2.

- (2) Druge uprošćene metode mogu da se koriste ako nisu manje konzervativne od strožije metode date u 5.8.

## 12.7 GRANIČNA STANJA UPOTREBLJIVOSTI

- (1) Napone treba proveriti na mestima na kojima može da se očekuje da budu sprečene deformacije konstrukcije.
- (2) Treba voditi računa da se preduzmu sledeće mere za obezbeđenje adekvatne upotrebljivosti:
- a) u pogledu pojave prslina:
    - ograničenje napona zatezanja u betonu na prihvatljive vrednosti
    - korišćenje pomoćne konstrukcijske armature (površinska armatura, sistemi povezivanja zategama, gde je potrebno)
    - dispozicija nastavaka betoniranja
    - izbor tehnologije betoniranja (na primer, odgovarajuća kompozicija betona, nega)
    - izbor odgovarajuće metode građenja
  - b) u pogledu ograničenja deformacija:
    - usvajanje dimenzija preseka koje nisu manje od minimalnih (videti 12.9 u daljem tekstu)
    - ograničenje vitkosti u slučaju pritisnutih elemenata.
- (3) Sva armatura koja se koristi u nearmiranim betonskim elementima, i kada nije uzeta u obzir u proračunu nosivosti, u pogledu zaštitnog sloja betona mora da bude u skladu sa zahtevima 4.4.1.

## 12.9 KONSTRUKCIJSKI DETALJI ELEMENATA I POSEBNA PRAVILA

### 12.9.1 KONSTRUKCIJSKI ELEMENTI

- (1) Ukupna debljina zida  $h_w$  za betonske zidove livene in-situ ne treba da bude manja od **120 mm**.
- (2) Kada su u zidu predviđeni kanali i niše treba izvršiti provere da bi se osigurala adekvatna nosivost i stabilnost elementa.

### 12.9.2 NASTAVCI BETONIRANJA

- (1) Kada se na nastavcima betoniranja (*construction joints*) očekuje pojava napona zatezanja u betonu, treba da se predvide konstrukcijski detalji armature za kontrolu prslina.

### 12.9.3 TEMELJNE TRAKE I TEMELJNE STOPE

- (1) U nedostatku detaljnijih podataka, aksijalno opterećene temeljne trake i pojedinačne temeljne stope mogu da budu od nearmiranog betona pod uslovom da je:

$$\frac{0,85 \cdot h_F}{a} \geq \sqrt{9 \sigma_{gd} / f_{ctd}} \quad (12.13)$$

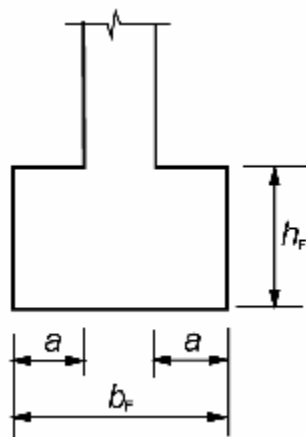
gde je:

$h_F$  debljina temelja

## EN 1992-1-1:2004

- $a$**  prepust temelja u odnosu na stranicu stuba (videti sliku 12.2)
- $\sigma_{gd}$**  proračunska vrednost pritiska na tle
- $f_{ctd}$**  proračunska vrednost čvrstoće betona pri zatezanju (u istim jedinicama kao  $\sigma_{gd}$ ).

Kao uprošćenje može da se koristi  $h_F/a \geq 2$ .



**Slika 12.2: Nearmirana betonska temeljna stopa; oznake**

**ANEKS A**

(INFORMATIVAN)

**MODIFIKACIJA PARCIJALNIH  
KOEFIČIJENATA ZA MATERIJALE****A.1 OPŠTE ODREDBE**

(1) Parcijalni koeficijenti za materijale (*partial factors for materials*), dati u 2.4.2.4, odgovaraju geometrijskim tolerancijama klase 1 u ENV 13670-1 i uobičajenom nivou izvođenja i kontrole (na primer, klasi 2 kontrole u ENV 13670-1).

(2) Preporuke za smanjene parcijalne koeficijente za materijale date su u ovom informativnom aneksu. Detaljnija pravila o postupcima kontrole mogu da budu data u standardima proizvoda za prefabrikovane elemente.

**Napomena:** Za više informacija videti Aneks B u EN 1990.

**A.2 KONSTRUKCIJE BETONIRANE IN-SITU****A.2.1 SMANJENJE NA OSNOVU KONTROLE KVALITETA  
I SMANJENIH TOLERANCIJA**

(1) Ako se konstrukcija izvodi u sistemu kontrole kvaliteta (*quality control system*), kojim se obezbeđuje da su nepovoljna odstupanja dimenzija poprečnog preseka u granicama smanjenih tolerancija datih u tabeli A.1, parcijalni koeficijent sigurnosti za armaturu može da se smanji na vrednost  $\gamma_{s,red1}$ .

**Tabela A1: Smanjene tolerancije**

<i>h</i> ili <i>b</i> (mm)	Smanjene tolerancije (mm)	
	Dimenzije poprečnog preseka $\pm \Delta h, \Delta b$ (mm)	Položaj armature $+\Delta c$ (mm)
$\leq 150$	5	5
400	10	10
$\geq 2500$	30	20

**Napomena 1:** Za međuvrednosti može da se koristi linearna interpolacija.  
**Napomena 2:**  $+\Delta c$  se odnosi na srednju vrednost položaja šipki armature ili kablova za prethodno naprezanje u poprečnom preseku, ili na širini od jednog metra (na primer, za ploče i zidove).

**Napomena:** Vrednost  $\gamma_{s,red1}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **1,1**.

(2) Pod uslovom datim u A.2.1 (1), i ako se dokaže da koeficijent varijacije čvrstoće betona (*coefficient of variation of the concrete strength*) nije veći od **10%**, parcijalni koeficijent sigurnosti za beton može da se smanji na vrednost  $\gamma_{c,red1}$ .

**Napomena:** Vrednost  $\gamma_{c,red1}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **1,4**.

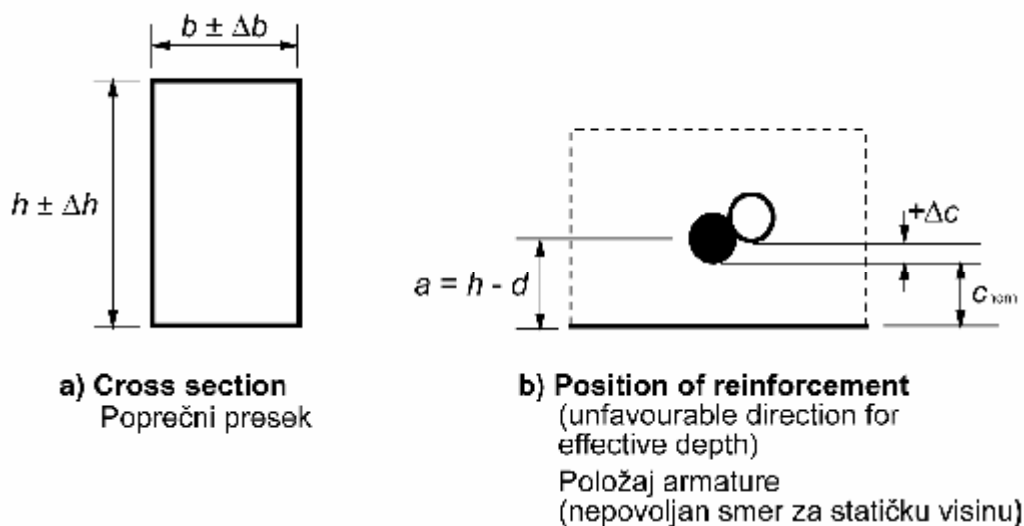
### A.2.2 SMANJENJE NA OSNOVU PRORAČUNA SA SMANJENIM ILI MERENIM GEOMETRIJSKIM PODACIMA

(1) Ako se određivanje proračunske nosivosti zasniva na kritičnim geometrijskim podacima, uključujući statičku visinu (videti sliku A.1), koji su:

- smanjeni za vrednost tolerancija, ili
- izmereni na završenoj konstrukciji,

parcijalni koeficijenti sigurnosti mogu da se smanje na vrednosti  $\gamma_{S,red2}$  i  $\gamma_{C,red2}$ .

**Napomena:** Vrednosti  $\gamma_{S,red2}$  i  $\gamma_{C,red2}$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost za  $\gamma_{S,red2}$  je **1,05** a za  $\gamma_{C,red2}$  je **1,45**.



**Slika A1: Tolerancije u poprečnom preseku**

(2) Pod uslovom datim u A.2.2 (1), i ako se dokaže da koeficijent varijacije čvrstoće betona nije veći od **10%**, parcijalni koeficijent sigurnosti za beton može da se smanji na vrednost  $\gamma_{C,red3}$ .

**Napomena:** Vrednost  $\gamma_{C,red3}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **1,35**.

### A.2.3 SMANJENJE NA OSNOVU UTVRĐIVANJA CVRSTOĆE BETONA U ZAVRŠENOJ KONSTRUKCIJI

(1) Za čvrstoće betona određene na osnovu ispitivanja u završenoj konstrukciji ili elementu (videti EN 13791<sup>1</sup>, EN 206-1 i odgovarajuće standarde proizvoda),  $\gamma_c$  može da se smanji sa koeficijentom konverzije  $\eta$ .

**Napomena:** Vrednost  $\eta$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **0,85**.

Vrednost  $\gamma_c$  na koju se primenjuje ovo smanjenje, može da bude prethodno već smanjena prema A.2.1 ili A.2.2. Međutim, rezultujuća vrednost parcijalnog koeficijenta ne treba da se uzme manja od  $\gamma_{C,red4}$ .

<sup>1</sup> EN 13791: Utvrđivanje čvrstoće betona pri pritisku u konstrukcijama ili u konstrukcijskim elementima  
(Assessment of concrete compressive strength in structures or in structural elements)

**Napomena:** Vrednost  $\gamma_{c,red4}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **1,3**.

### A.3 PREFABRIKOVANI PROIZVODI

#### A.3.1 OPŠTA ODREDBA

(1) Ove odredbe odnose se na prefabrikovane proizvode (*precast products*) kako su opisani u glavi 10, uz uslov da se primenjuju sistemi za obezbeđenje kvaliteta i raspolaže sa atestima o usaglašenosti sa propisanim uslovima.

**Napomena:** Kontrola fabričke proizvodnje za prefabrikovane proizvode koji nose oznaku **CE** (*CE-marked precast products*) potvrđuje se od strane odgovarajućeg ovlašćenog tela (atestacioni nivo **2+**) (*attestation level 2+*).

#### A.3.2 PARCIJALNI KOEFICIJENTI ZA MATERIJALE

(1) Smanjeni parcijalni koeficijenti za materijale,  $\gamma_{c,pcred}$  i  $\gamma_{s,pcred}$ , mogu da se koriste u skladu sa pravilima datim u A.2, ukoliko se primenjuju odgovarajući postupci kontrole.

(2) Preporuke za kontrolu u fabričkoj proizvodnji, na osnovu koje može da se dozvoli korišćenje smanjenih parcijalnih koeficijenata za materijale, date su u standardima za proizvode. Generalne preporuke date su u EN 13369.

### A.4 PREFABRIKOVANI ELEMENTI

(1) Pravila data u A.2 za konstrukcije betonirane na licu mesta važe i za prefabrikovane betonske elemente, kako su definisani u 10.1.1.

ANEKS B  
(INFORMATIVAN)

DILATACIJE TEČENJA I SKUPLJANJA

B.1 OSNOVNE JEDNAČINE  
ZA ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA TEČENJA

(1) Koeficijent tečenja (*creep coefficient*)  $\varphi(t, t_0)$  može da se sračuna prema izrazu:

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0) \quad (\text{B.1})$$

gde je:

$\varphi_0$  nominalna vrednost koeficijenta tečenja (*notional creep coefficient*), koja može da se odredi prema izrazu:

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) \quad (\text{B.2})$$

$\varphi_{RH}$  koeficijent kojim se uzima u obzir uticaj relativne vlažnosti na nominalnu vrednost koeficijenta tečenja:

$$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH / 100}{0,1 \sqrt[3]{h_0}} \quad \text{za } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \quad (\text{B.3a})$$

$$\varphi_{RH} = \left[ 1 + \frac{1 - RH / 100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 \quad \text{za } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \quad (\text{B.3b})$$

**RH** relativna vlažnost sredine (relative humidity of the ambient environment) u %

$\beta(f_{cm})$  koeficijent kojim se uzima u obzir uticaj čvrstoće betona na nominalnu vrednost koeficijenta tečenja:

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} \quad (\text{B.4})$$

$f_{cm}$  srednja vrednost čvrstoće betona pri pritisku u starosti od **28 dana**

$\beta(t_0)$  koeficijent kojim se uzima u obzir uticaj starosti betona (*concrete age*) u trenutku opterećenja na vrednost nominalnog koeficijenta tečenja:

$$\beta(t_0) = \frac{1}{(0,1 + t_0^{0,20})} \quad (\text{B.5})$$

$h_0$  nominalna veličina elementa (*notional size of the member*), u **mm**, gde je:

$$h_0 = \frac{2A_c}{u} \quad (\text{B.6})$$

$A_c$  površina poprečnog preseka elementa

- $u$  obim elementa u kontaktu sa atmosferom  
 $\beta_c(t, t_0)$  koeficijent kojim se definiše dijagram tečenja u zavisnosti od vremena posle opterećenja, čija vrednost može da se odredi prema izrazu:

$$\beta(t, t_0) = \left[ \frac{(t - t_0)}{\beta_H + (t - t_0)} \right]^{-0,3} \quad (\text{B.7})$$

- $t$  starost betona u posmatranom trenutku vremena u **danima**  
 $t_0$  starost betona u trenutku opterećenja u **danima**  
 $(t - t_0)$  stvarno (nekorigovano) trajanje opterećenja (*non-adjusted duration of loading*) u **danima**  
 $\beta_H$  koeficijent koji zavisi od relativne vlažnosti ( $RH$  u %) i nominalne veličine elementa ( $h_0$  u **mm**) i može da se odredi iz izraza:

$$\beta_H = 1,5 [1 + (0,012 RH)^{18}] h_0 + 250 \leq 1500 \quad \text{za } f_{cm} \leq 35 \quad (\text{B.8a})$$

$$\beta_H = 1,5 [1 + (0,012 RH)^{18}] h_0 + 250 \alpha_3 \leq 1500 \alpha_3 \quad \text{za } f_{cm} > 35 \quad (\text{B.8b})$$

- $\alpha_{1/2/3}$  su koeficijenti kojima se uzima u obzir uticaj čvrstoće betona:

$$\alpha_1 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,7} \quad \alpha_2 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,2} \quad \alpha_3 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,5} \quad (\text{B.8c})$$

- (2) Uticaj vrste cementa (videti 3.1.2 (6)) na koeficijent tečenja betona može da se uzme u obzir modifikovanjem starosti u trenutku opterećenja  $t_0$ , u izrazu (B.5), prema:

$$t_0 = t_{0,T} \left( \frac{9}{2 + t_{0,T}^{1,2}} + 1 \right) \quad (\text{B.9})$$

gde je:

- $t_{0,T}$  starost betona u trenutku opterećenja, korigovana (prilagođena) zbog uticaja temperature (*temperature adjusted age of concrete at loading*), prema izrazu (B.10)  
 $\alpha$  stepen koji zavisi od vrste cementa  
 = **-1** za cement klase **S**  
 = **0** za cement klase **N**  
 = **1** za cement klase **R**.

- (3) Uticaj povišenih ili sniženih temperatura u opsegu **0 – 80°C** na zrelost (*maturity*) betona može da se uzme u obzir korigovanjem starosti betona prema sledećem izrazu:

$$t_T = \sum_{i=1}^n e^{-\frac{4000}{273+T(\Delta t_i)} - 13,65} \cdot \Delta t_i \quad (\text{B.10})$$

gde je:

- $t_T$  starost betona korigovana zbog temperature, kojom treba da se zameni  $t$  u odgovarajućim jednačinama  
 $T(\Delta t_i)$  temperatura u **°C** u periodu vremena  $\Delta t_i$   
 $\Delta t_i$  broj dana u kojima dominira temperatura  $T$ .

Srednji koeficijent varijacije ovih vrednosti tečenja, sračunat na osnovu kompjuterizovanih podataka banke laboratorijskih ispitivanja, je reda veličine **20%**.

Vrednosti  $\varphi(t, t_0)$ , date u prethodnom tekstu, treba da se uzmu u proračunu sa tangentnim modulom elastičnosti  $E_c$ .

Kada se manje tačan proračun uticaja tečenja smatra zadovoljavajućim, vrednosti date na slici 3.1 u 3.1.4 mogu da se usvoje kao konačne dilatacije tečenja betona u starosti od **70 godina**.

## B.2 OSNOVNE JEDNAČINE ZA ODREĐIVANJE DILATACIJE SKUPLJANJA USLED SUŠENJA

(1) Osnovna vrednost dilatacije skupljanja usled sušenja  $\varepsilon_{cd,0}$  dobija se prema izrazima:

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 \left[ (220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot \exp\left(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}\right) \right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH} \quad (\text{B.11})$$

$$\beta_{RH} = 1,55 \left[ 1 - \left( \frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right] \quad (\text{B.12})$$

gde je:

- $f_{cm}$  srednja vrednost čvrstoće betona pri pritisku (**MPa**)
- $f_{cm0} = 10 \text{ MPa}$
- $\alpha_{ds1}$  koeficijent koji zavisi od vrste cementa (videti 3.1.2 (6))
  - = **3** za cement klase **S**
  - = **4** za cement klase **N**
  - = **6** za cement klase **R**
- $\alpha_{ds2}$  koeficijent koji zavisi od vrste cementa
  - = **0,13** za cement klase **S**
  - = **0,12** za cement klase **N**
  - = **0,11** za cement klase **R**
- $RH$  relativna vlažnost sredine (%)
- $RH_0 = 100\%$ .

**Napomena:**  $\exp\{ \}$  ima isto značenje kao  $e^{( )}$ .

**ANEKS C**  
(NORMATIVAN)

**SVOJSTVA ARMATURE PODOBNE ZA PRIMENU  
PREMA OVOM EVROKODU**

**C.1 OPŠTA ODREDBA**

(1) U tabeli C.1 data su svojstva armature koja je podobna za primenu prema odredbama ovog Evrokoda. Svojstva armature važe za temperaturu između  $-40^{\circ}\text{C}$  i  $100^{\circ}\text{C}$ , za ugrađenu armaturu u završenoj konstrukciji. Za svako savijanje i zavarivanje armature koje se obavlja na gradilištu dopušteni opseg temperature treba da se ograniči prema EN 13670.

**Tabela. C1: Svojstva armature**

Oblik proizvoda	Šipke i ispravljene žice			Zavarene armature mreže			Zahtevi ili vrednost fraktila (%)
	A	B	C	A	B	C	
Klasa	A	B	C	A	B	C	-
Karakteristična granica razvlačenja $f_{yk}$ ili $f_{0,2k}$ (MPa)	400 do 600						5,0
Minimalna vrednost $k = (f_t / f_y)_k$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	10,0
Karakteristična dilatacija pri maksimalnoj sili, $\epsilon_{uk}$ (%)	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	10,0
Podobnost za savijanje	Test savijanje/ispravljanje			-			
Čvrstoća pri smicanju	-			0,3 A $f_{yk}$ (A je površina žice)			Minimum
Maksimalno odstupanje od nominalne mase (pojedinačna šipka ili žica) (%)	Nominalni prečnik žice (mm)						5,0
	$\leq 8$			$\pm 6,0$			
	$> 8$			$\pm 4,5$			

**Napomena:** Vrednosti amplitude napona pri dejstvu zamora, sa gornjom granicom  $\beta f_{yk}$ , i minimalne relativne površine rebra rebraste armature, koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti date su u tabeli C.2N. Vrednost  $\beta$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je **0,6**.

Tabela C.2N: Svojstva armature

Oblik proizvoda	Šipke i ispravljene žice			Zavarene armaturne mreže			Zahtevi ili vrednost fraktila (%)
	A	B	C	A	B	C	
<b>Klasa</b>							-
<b>Amplituda napona pri dejstvu zamora (MPa) (za <math>N \geq 2 \times 10^6</math> ciklusa) sa gornjom granicom <math>\beta \cdot f_{yk}</math></b>	$\geq 150$			$\geq 100$			10,0
<b>Prianjanje: minimalna relativna površina rebra, <math>f_{R,min}</math></b>	<b>Nominalni prečnik žice (mm)</b>						5,0
	5-6			0,035			
	6,5 do 12			0,040			
	> 12			0,056			

**Zamor:** Izuzeci od pravila za zamor, koji se primenjuju u određenoj zemlji, dati su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučeni izuzeci su slučajevi kada je armatura dominantno izložena statičkim opterećenjima, ili ako je ispitivanjem dokazano da su moguće više vrednosti amplitude napona pri dejstvu zamora, i/ili veći broj ciklusa. U tom poslednjem slučaju vrednosti u tabeli 6.3 mogu na odgovarajući način da se modifikuju. Takvo ispitivanje treba da bude u skladu sa EN 10080.

**Prianjanje:** Kada može da se dokaže da dovoljna čvrstoća prianjanja betona i čelika može da se postigne sa vrednostima  $f_R$  koje su manje od vrednosti koje su specificirane u prethodnom tekstu, te vrednosti mogu da se smanje. Da bi se potvrdilo da je dovoljna čvrstoća prianjanja postignuta, naponi prianjanja pri ispitivanju CEB/RILEM grednim testom moraju da zadovolje preporučene izraze (C.1N) i (C.2N):

$$\tau_m \geq 0,098 (80 - 1,2 \varnothing) \quad (C.1N)$$

$$\tau_r \geq 0,098 (130 - 1,9 \varnothing) \quad (C.2N)$$

gde je:

$\varnothing$  nominalni prečnik žice (mm)

$\tau_m$  srednja vrednost napona prianjanja (MPa) pri klizanju od 0,01, 0,1 i 1 mm

$\tau_r$  napon prianjanja pri lomu usled klizanja.

(2) Vrednosti  $f_{yk}$ ,  $k$  i  $\varepsilon_{uk}$  u tabeli C.1 su karakteristične vrednosti. Maksimalni procenat rezultata ispitivanja koji mogu da budu manji od karakteristične vrednosti dat je za svaku karakterističnu vrednost u desnoj koloni tabele C.1.

(3) EN 10080 ne propisuje vrednosti fraktila za karakteristične vrednosti, niti procenu rezultata ispitivanja za pojedinačne serije ispitivanja.

Da bi moglo da se smatra da postoji saglasnost sa nivoima kvaliteta koji se postižu u dugotrajnoj proizvodnji (*long term quality levels*), datim u tabeli C.1, na rezultate ispitivanja treba da se primene sledeća ograničenja:

- kada su svi rezultati pojedinačnih testova jedne serije ispitivanja veći od karakteristične vrednosti, (ili su ispod karakteristične vrednosti, u slučaju maksimalne vrednosti  $f_{yk}$  ili  $k$ ), može da se pretpostavi da je serija saglasna sa propisanim uslovima;
- pojedinačne vrednosti čvrstoće pri granici razvlačenja  $f_{yk}$ ,  $k$  i  $\varepsilon_{uk}$  treba da budu veće od minimalnih vrednosti i manje od maksimalnih vrednosti. Osim toga, srednja vrednost,  $M$ , serije testova treba da zadovolji jednačinu:

$$M \geq C_v + a \quad (C.3)$$

gde je:

$C_v$  karakteristična vrednost koja se postiže u dugotrajnoj proizvodnji  
 $a$  koeficijent koji zavisi od posmatranog parametra.

**Napomena 1:** Vrednost  $a$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost za  $f_{yk}$  je **10 MPa** a za  $k$  i za  $\varepsilon_{uk}$  je **0**.

**Napomena 2:** Minimalne i maksimalne vrednosti za  $f_{yk}$ ,  $k$  i  $\varepsilon_{uk}$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti date su u tabeli C.3N.

**Tabela C.3N: Apsolutne granice za rezultate testova**

Karakteristično svojstvo	Minimalna vrednost	Maksimalna vrednost
Granica razvlačenja $f_{yk}$	0,97 x minimum $C_v$	1,03 x maksimum $C_v$
$k$	0,98 x minimum $C_v$	1,02 x maksimum $C_v$
$\varepsilon_{uk}$	0,80 x minimum $C_v$	ne primenjuje se

## C.2 ČVRSTOĆA

**(1)P** Stvarna maksimalna granica razvlačenja (maksimalni napon na granici razvlačenja)  $f_{y,max}$ , ne sme da bude veći od **1,3**  $f_{yk}$ .

## C.3 PODOBNOST ZA SAVIJANJE

**(1)P** Podobnost šipki za savijanje (*bendability*) mora da se proveriti testom savijanja i ispravljavanja (*bend and rebend tests*), prema EN 10080 i EN ISO 15630-1. Kada je takva provera izvršena samo testom ispravljavanja, prečnik valjka za savijanje (*mandrel size*) ne sme da bude veći od vrednosti propisane za savijanje u tabeli 8.1 ovog Evrokoda. Da bi se potvrdila podobnost za savijanje, posle prvog savijanja šipka ne sme da ima vidljive prsline.

ANEKS D  
(INFORMATIVAN)

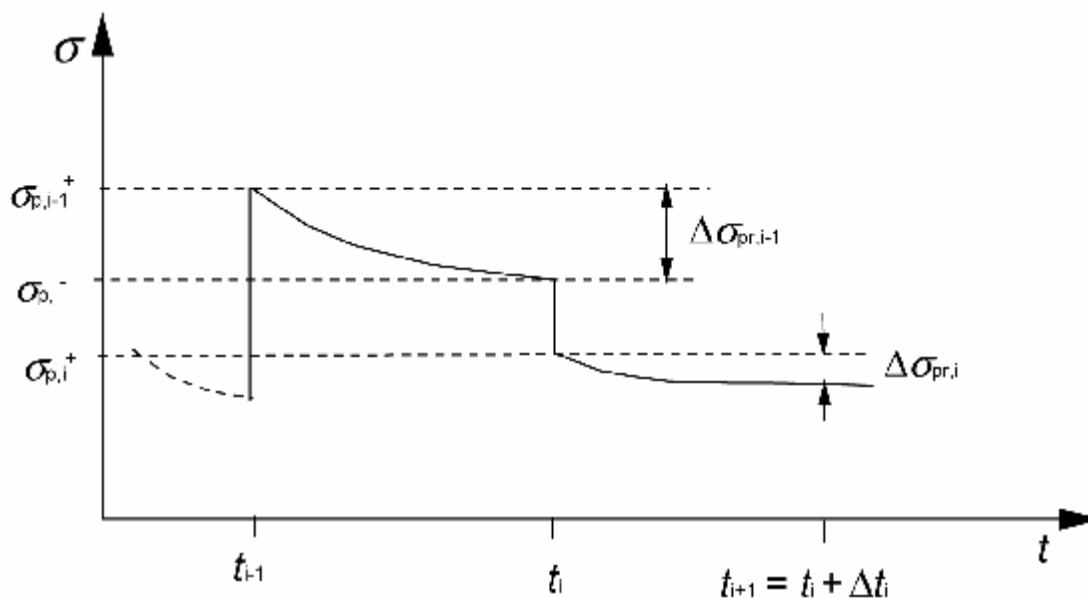
DETALJNA METODA PRORAČUNA GUBITAKA  
USLED RELAKSACIJE ČELIKA ZA PRETHODNO NAPREZANJE

D.1 OPŠTE ODREDBE

(1) U slučaju da je potrebno da se gubici usled relaksacije sračunaju u različitim vremen-  
skim intervalima (fazama), u kojima napon u kابلu za prethodno naprežanje nije konstantan,  
na primer, usled elastičnog skraćenja betona, treba primeniti metodu ekvivalentnog vremena  
(*equivalent time method*).

(2) Koncept metode ekvivalentnog vremena prikazan je na slici D.1, na kojoj u vremenu  
 $t_i$  nastaje trenutna deformacija kablа za prethodno naprežanje, gde je:

- $\sigma_{p,i}^-$  napon zatezanja u kابلu neposredno pre trenutka vremena  $t_i$
- $\sigma_{p,i}^+$  napon zatezanja u kابلu neposredno posle trenutka vremena  $t_i$
- $\sigma_{p,i-1}^+$  napon zatezanja u kابلu u prethodnom intervalu (fazi) vremena
- $\Delta\sigma_{pr,i-1}$  apsolutna vrednost gubitka usled relaksacije u prethodnom intervalu vre-  
mena
- $\Delta\sigma_{pr,i}$  apsolutna vrednost gubitka usled relaksacije u posmatranom intervalu vre-  
mena.



Slika D.1: Metoda ekvivalentnog vremena

(3) Neka je  $\sum_1^{i-1} \Delta\sigma_{pr,j}$  suma svih gubitaka usled relaksacije u prethodnim intervalima vre-  
mena, i neka je  $t_e$  definisano kao ekvivalentno vreme (u **časovima**) potrebno da se ostvari  
ista suma gubitaka usled relaksacije, koja zadovoljava funkciju vremena relaksacije datu u  
3.3.2 (7), sa početnim naponom jednakim

$$\sigma_{p,i}^+ + \sum_1^{i-1} \Delta \sigma_{pr,j} \quad \text{i sa} \quad \mu = \frac{\sigma_{p,i}^+ + \sum_1^{i-1} \Delta \sigma_{pr,j}}{f_{pk}}$$

(4) Na primer, za kabl za prethodno naprežanje klase 2, izraz (3.31) za ekvivalentno vreme  $t_e$  postaje:

$$\sum_1^{i-1} \Delta \sigma_{pr,j} = 0,66 \rho_{1000} e^{9,09\mu} \left( \frac{t_e}{1000} \right)^{0,75(1-\mu)} \left\{ \sigma_{p,i}^+ + \sum_1^{i-1} \Delta \sigma_{pr,j} \right\} 10^{-5} \quad (\text{D.1})$$

(5) Posle rešavanja prethodne jednačine po  $t_e$ , isti izraz može da se koristi da bi se sračunali gubici usled relaksacije u posmatranom intervalu vremena,  $\Delta \sigma_{pr,i}$  (gde se ekvivalentno vreme  $t_e$  dodaje posmatranom intervalu vremena):

$$\Delta \sigma_{pr,i} = 0,66 \rho_{1000} e^{9,09\mu} \left( \frac{t_e + \Delta t_i}{1000} \right)^{0,75(1-\mu)} \left\{ \sigma_{p,i}^+ + \sum_1^{i-1} \Delta \sigma_{pr,j} \right\} 10^{-5} - \sum_1^{i-1} \Delta \sigma_{pr,j} \quad (\text{D.2})$$

(6) Isti princip važi za sve tri klase relaksacije kablova za prethodno naprežanje.

**ANEKS E**  
(INFORMATIVAN)

**INDIKATIVNE KLASSE ČVRSTOĆE  
BETONA S OBZIROM NA TRAJNOST**

**E.1 OPŠTE ODREDBE**

(1) Izbor adekvatno trajnog betona (*adequately durable concrete*) za zaštitu armature od korozije i zaštitu od nepovoljnih uticaja sredine na beton, zahteva vođenje računa o kompoziciji betona. Ispunjenje tog zahteva može da dovede do potrebe za većom čvrstoćom betona pri pritisku od one koja je potrebna prema proračunu konstrukcije. Odnos između klasa čvrstoće betona pri pritisku i klasa izloženosti uticajima sredine (*exposure classes*) (videti tabelu 4.1) može da se opiše indikativnim klasama čvrstoće betona s obzirom na trajnost (*indicative strength classes for durability*).

(2) Kada je usvojena čvrstoća betona veća od one koju zahteva proračun konstrukcije, u proračunu minimalne armature, prema 7.3.2 i 9.2.1.1, i proveriti širine otvora prslina, prema 7.3.3 i 7.3.4, treba da se uzme u obzir vrednost  $f_{ctm}$  koja odgovara većoj čvrstoći.

**Napomena:** Vrednosti indikativnih klasa čvrstoće s obzirom na trajnost, koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučene vrednosti date su u tabeli E.1N.

**Tabela E.1N: Indikativne klase čvrstoće betona s obzirom na trajnost**

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

**ANEKS F**  
(INFORMATIVAN)

**PRORAČUN ZATEGNERE ARMATURE  
ZA RAVNA STANJA NAPONA**

**F.1 OPŠTE ODREDBE**

(1) U ovom aneksu nisu dati izrazi za proračun pritisnute armature.

(2) Armatura za zatezanje u elementu izloženom ravnom stanju ortogonalnih napona (*in-plane orthogonal stresses*)  $\sigma_{Edx}$ ,  $\sigma_{Edy}$  i  $\tau_{Edxy}$  može da se sračuna postupkom koji je prikazan u daljem tekstu. Napone pritiska treba uzeti sa pozitivnim znakom, pri čemu je  $\sigma_{Edx} > \sigma_{Edy}$ , a pravac armature treba da se poklapa sa  $x$  i  $y$  osom.

Nosivost zategnute armature treba da se odredi prema izrazima:

$$f_{tdx} = \rho_x f_{yd} \quad \text{i} \quad f_{tdy} = \rho_y f_{yd} \quad (\text{F.1})$$

gde su  $\rho_x$  i  $\rho_y$  geometrijski odnosi (koeficijenti) armature, duž  $x$  odnosno  $y$  ose.

(3) Kada su oba normalna napona  $\sigma_{Edx}$  i  $\sigma_{Edy}$  naponi pritiska, i  $\sigma_{Edx} \sigma_{Edy} > \tau_{Edxy}^2$ , proračunska armatura nije potrebna. Međutim, treba voditi računa da maksimalni napon pritiska ne bude veći od  $f_{cd}$  (videti 3.1.6).

(4) Kada je napon  $\sigma_{Edy}$  zatezanje, ili kada je  $\sigma_{Edx} \sigma_{Edy} \leq \tau_{Edxy}^2$ , armatura je potrebna. Optimalna armatura, obeležena sa indeksom  $'$ , i odgovarajući naponi u betonu, dati su izrazima:

za  $\sigma_{Edx} \leq |\tau_{Edxy}|$

$$f'_{tdx} = |\tau_{Edxy}| - \sigma_{Edx} \quad (\text{F.2})$$

$$f'_{tdy} = |\tau_{Edxy}| - \sigma_{Edy} \quad (\text{F.3})$$

$$\sigma_{cd} = 2 |\tau_{Edy}| \quad (\text{F.4})$$

za  $\sigma_{Edx} > |\tau_{Edxy}|$

$$f'_{tdx} = 0 \quad (\text{F.5})$$

$$f'_{tdy} = \frac{\tau_{Edxy}^2}{\sigma_{Edx}} - \sigma_{Edy} \quad (\text{F.6})$$

$$\sigma_{cd} = \sigma_{Edx} \left( 1 + \left( \frac{\tau_{Edxy}}{\sigma_{Edx}} \right)^2 \right) \quad (\text{F.7})$$

Napon u betonu,  $\sigma_{cd}$ , treba da se proveri sa realnim modelom za preseke sa prslinama (videti EN 1992-2), ali generalno ne treba da bude veći od  $\nu f_{cd}$  ( $\nu$  može da se odredi iz izraza (6.5)).

**Napomena:** Minimalna površina armature dobija se ako su pravci armature identični sa pravcima glavnih napona.

## EN 1992-1-1:2004

U suprotnom, u opštem slučaju potrebna armatura i napon u betonu mogu da se odrede prema izrazima:

$$f_{tdx} = |\tau_{Edxy}| \operatorname{ctg}\theta - \sigma_{Edx} \quad (\text{F.8})$$

$$f_{tdy} = |\tau_{Edxy}| / \operatorname{ctg}\theta - \sigma_{Edy} \quad (\text{F.9})$$

$$\sigma_{cd} = |\tau_{Edy}| \left( \operatorname{ctg}\theta + \frac{1}{\operatorname{ctg}\theta} \right) \quad (\text{F.10})$$

gde je  $\theta$  ugao glavnog napona pritiska u betonu (*principal concrete compressive stress*) u odnosu na  $x$  osu.

**Napomena:** Vrednost  $\operatorname{ctg}\theta$  treba da se izabere tako da se izbegne da  $f_{td}$  bude napon pritiska.

Da bi se izbegle prsline sa neprihvatljivo širokim otvorima u graničnom stanju upotrebljivosti, i da bi se obezbedio zahtevani kapacitet deformacije za granično stanje nosivosti, armatura dobijena iz izraza (F.8) i (F.9) za svaki pravac može da bude najviše dvostruko veća, ali ne manja od polovine armature koja se dobija izrazima (F.2) i (F.3) ili (F.5) i (F.6). Ta ograničenja izražena su relacijama:  $1/2 f'_{tdx} \leq f_{tdx} \leq 2 f'_{tdx}$  i  $1/2 f'_{tdy} \leq f_{tdy} \leq 2 f'_{tdy}$ .

**(6)** Armatura treba da bude popuno ankerovana na svim slobodnim ivicama, na primer, ukosnicama (*U-bars*) ili sličnom armaturom.

## ANEKS G (INFORMATIVAN)

### INTERAKCIJA TLA I KONSTRUKCIJE

#### G.1 PLITKI FUNDAMENTI

##### G.1.1 OPŠTE ODREDBE

(1) Interakcija (*interaction*) tla, fundamenata (*foundation*) i konstrukcije iznad fundamenata (*superstructure*) treba da se uzme u obzir. Raspodela pritiska na tle u temeljima i sila u stubovima zavisi od relativnih sleganja (*relative settlements*).

(2) Generalno, problem može da se reši obezbeđenjem kompatibilnosti pomeranja i odgovarajućih reakcija tla i konstrukcije.

(3) Iako je generalni postupak prema prethodnoj odredbi adekvatan, ostaje dosta nepouzdanosti, usled redosleda opterećenja i uticaja tečenja. Iz tog razloga obično se definišu različiti nivoi analize, u zavisnosti od stepena idealizacije mehaničkih modela koji se primenjuju.

(4) Ako može da se smatra da je konstrukcija fleksibilna (*flexible*), opterećenja koja se prenose na temelje ne zavise od relativnih sleganja jer konstrukcija nema krutost. U tom slučaju opterećenja više nisu nepoznata, i problem se svodi na analizu temelja na deformabilnom tlu.

(5) Ako može da se smatra da je konstrukcija kruta (*rigid*), nepoznata opterećenja temelja mogu da se odrede iz uslova da sleganja budu u istoj ravni. Treba proveriti da li ta krutost postoji sve do dostizanja graničnog stanja nosivosti.

(6) Dalje uprošćenje moguće je ako se pretpostavi da je sistem fundamenata krut (*rigid*), ili da je oslonjačko tle veoma kruto (*very stiff*). U oba ta slučaja relativna sleganja mogu da se zanemare i nije potrebna nikakva modifikacija opterećenja koja se sa konstrukcije prenose na fundamente.

(7) Da bi se odredila približna krutost konstrukcijskog sistema, može da se sprovede uporedna analiza kombinovane krutosti fundamenata, ramovskih elemenata konstrukcije i zidova za ukrućenje od smicanja (*shear walls*), u odnosu na krutost tla. Ta relativna krutost (*relative stiffness*)  $K_R$  određuje da li fundamente ili konstrukcijski sistem treba smatrati krutim ili fleksibilnim. Sledeći izraz može da se koristi za konstrukcije zgrada:

$$K_R = (EI)_s / (EI^3) \quad (\text{G.1})$$

gde je:

$(EI)_s$	aproksimativna vrednost krutosti na savijanje po jedinici širine posmatrane konstrukcije zgrade, koja se dobija sabiranjem krutosti na savijanje fundamenata, ramovskih elemenata i zidova za ukrućenje od smicanja
$E$	modul deformacije ( <i>deformation modulus</i> ) tla
$I$	dužina fundamenata.

Relativne krutosti veće od **0,5** ukazuju da se radi o krutim konstrukcijskim sistemima.

### G.1.2 NIVOI ANALIZE KONSTRUKCIJE

(1) Za potrebe proračuna, dopušteni su sledeći nivoi analize:

**Nivo 0:** Na tom nivou analize konstrukcije može da se pretpostavi linearna raspodela kontaktnog pritiska na tle:

Sledeći prethodni uslovi u tom slučaju moraju da budu zadovoljeni:

- kontaktni pritisak u temeljnoj spojnici nije veći od proračunskih vrednosti za GSU niti za GSN
- u graničnom stanju upotrebljivosti sleganja nemaju uticaja na konstrukcijski sistem, ili očekivana diferencijalna sleganja nisu značajna
- u graničnom stanju nosivosti konstrukcijski sistem raspolaže dovoljnim kapacitetom plastične deformacije, tako da razlike u sleganjima nemaju uticaja na proračun.

**Nivo 1:** Kontaktni pritisak može da se odredi uzimajući u obzir relativnu krutost fundamenata i tla; pritom treba da se proverí da li su deformacije koje slede iz takve analize u prihvatljivim granicama.

Sledeći prethodni uslovi u tom slučaju moraju da budu zadovoljeni:

- postoji dovoljno iskustvo koje pokazuje da na upotrebljivost konstrukcije deformacije tla neće nepovoljno da utiču
- u graničnom stanju nosivosti konstrukcijski sistem raspolaže adekvatnom duktilnošću.

**Nivo 2:** Na ovom nivou analize uzima se u obzir uticaj deformacija tla na konstrukciju. Konstrukcija se analizira za uticaje prinudnih deformacija fundamenata da bi se odredila preraspodela opterećenja koja deluju na fundamente. Ukoliko je ta preraspodela sila značajna (na primer,  $> |10|%$ ), treba da se usvoji nivo 3 analize.

**Nivo 3:** Nivo 3 analize je kompletan interaktivni proračun u kojem se uzima u obzir konstrukcija, njeni fundamenti i tle.

### G.2 FUNDAMENTI NA ŠIPOVIMA

(1) Ako je temeljna stopa (kapa) na šipovima kruta, može da se pretpostavi linearna varijacija sleganja pojedinačnih šipova, koja zavisi od rotacije temeljne stope na šipovima. Ako je ta rotacija jednaka nuli, ili može da se zanemari, može da se pretpostavi da su sleganja svih šipova ravnomerna. Iz jednačina ravnoteže tada mogu da se sračunaju nepoznate sile u šipovima i sleganje grupe šipova.

(2) Međutim, ako je u pitanju temeljna ploča na šipovima (*piled raft*), interakcija nastaje ne samo između pojedinačnih šipova već i između temeljne ploče i šipova, i ne postoji jednostavan postupak za analizu tog problema.

(3) Ponašanje grupe šipova za horizontalna opterećenja generalno zavisi ne samo od bočne krutosti okolnog tla i šipova, nego i od njihove aksijalne krutosti (na primer, bočno opterećenje na grupu šipova izaziva zatezanje i pritisak u ivičnim šipovima).

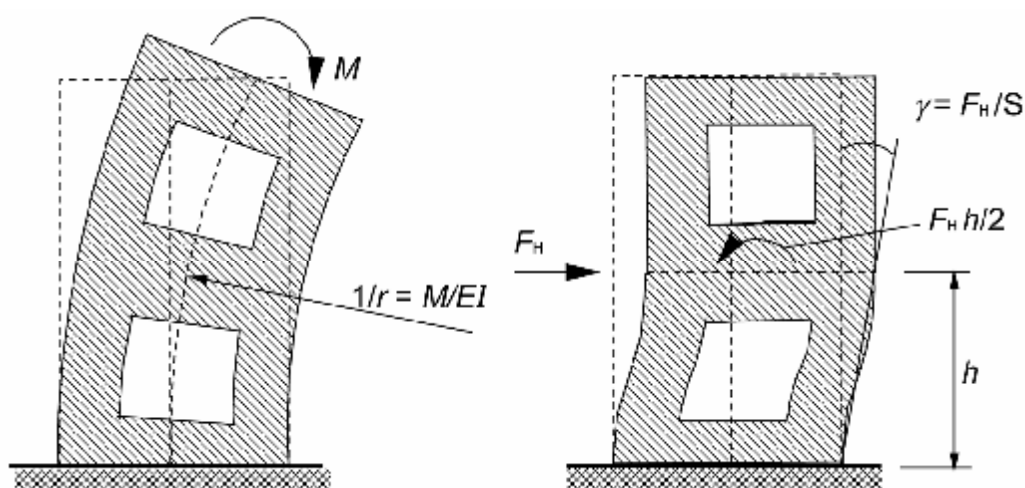
## ANEKS H (INFORMATIVAN)

### GLOBALNI UTICAJI DRUGOG REDA U KONSTRUKCIJAMA

#### H.1 KRITERIJUMI ZA ZANEMARIVANJE GLOBALNIH UTICAJA DRUGOG REDA

##### H.1.1 OPŠTA ODREDBA

(1) U ovom poglavlju H.1 dati su kriterijumi za konstrukcije u kojima nisu ispunjeni uslovi 5.8.3.3 (1). Kriterijumi se zasnivaju na 5.8.2 (6), uzimajući u obzir deformacije od globalnog savijanja i smicanja (*global bending and shear deformations*), kako su prikazane na slici H.1.



**Slika H.1: Definicija deformacija usled globalnog savijanja i smicanja ( $1/r$  i  $\gamma$ ) i odgovarajuće krutosti  $EI$  i  $S$**

##### H.1.2 SISTEM ZA UKRUĆENJE BEZ ZNAČAJNIH DEFORMACIJA OD SMICANJA

(1) Za sistem za ukrućenje (*bracing system*) bez značajnih deformacija od smicanja (na primer, zidovi za ukrućenje konstrukcije od smicanja bez otvora), globalni uticaji drugog reda mogu da se zanemare ako je:

$$F_{V,Ed} \leq 0,1 F_{V,BB} \quad (\text{H.1})$$

gde je:

$F_{V,Ed}$  ukupno vertikalno opterećenje (na elementima koji se ukrućuju i na elementima za ukrućenje)

$F_{V,BB}$  nominalno globalno opterećenje pri izvijanju za globalno savijanje (*nominal global buckling load for global bending*), videti (2) u daljem tekstu.

(2) U proračunu može da se uzme da je nominalno globalno opterećenje pri izvijanju za globalno savijanje:

$$F_{V,BB} = \xi \sum EI / L^2 \quad (\text{H.2})$$

gde je:

## EN 1992-1-1:2004

- $\xi$  koeficijent koji zavisi od broja spratova, varijacije krutosti, krutosti uklještenja u osnovi i raspodele opterećenja; videti (4) u daljem tekstu
- $\sum EI$  suma krutosti na savijanje elemenata za ukrućenje u posmatranom pravcu, uzimajući u obzir moguće uticaje prslina; videti (3) u daljem tekstu
- $L$  ukupna visina zgrade iznad nivoa uklještenja momenta.

(3) U nedostatku tačnijih procena krutosti, može da se koristi sledeći izraz **za element sa prslinama** koji ukrućuje konstrukciju:

$$EI \approx 0,4 E_{cd} I_c \quad (\text{H.3})$$

gde je:

$$E_{cd} = E_{cm} / \gamma_{cE}, \text{ proračunska vrednost modula elastičnosti betona, videti 5.8.6 (3)}$$

$I_c$  momenat inercije površine preseka elementa koji ukrućuje konstrukciju.

Ako se pokaže da je poprečni presek u граничном stanju nosivosti **bez prslina**, konstanta **0,4** u izrazu (H.3) može da se zameni sa **0,8**.

(4) Ukoliko elementi koji ukrućuju konstrukciju imaju konstantnu krutost po visini, i ako se ukupno vertikalno opterećenje povećava po svakom spratu za istu vrednost, može da se uzme da je  $\xi$  jednako:

$$\xi = 7,8 \frac{n_s}{n_s + 1,6} \cdot \frac{1}{1 + 0,7 \cdot k} \quad (\text{H.4})$$

gde je:

$n_s$  broj spratova

$k$  relativna rotacija (fleksibilnost) momenta uklještenja (*relative flexibility of moment restraint*); videti (5) u daljem tekstu.

(5) Relativna rotacija momenta uklještenja u osnovi definisana je kao vrednost:

$$k = (\theta / M) \cdot (EI / L) \quad (\text{H.5})$$

gde je:

$\theta$  rotacija od momenta savijanja  $M$

$EI$  krutost na savijanje prema (3) u prethodnom tekstu

$L$  ukupna visina elementa za ukrućenje.

**Napomena:** Za  $k = 0$ , odnosno za kruto uklještenje, izrazi (H.1) do (H.4) mogu da se kombinuju u izraz (5.18), gde koeficijent **0,31** sledi iz  $0,1 \cdot 0,4 \cdot 7,8 \approx 0,31$ .

### H.1.3 SISTEM ZA UKRUĆENJE SA ZNAČAJNIM GLOBALNIM DEFORMACIJAMA OD SMICANJA

(1) Globalni uticaji drugog reda mogu da se zanemare ako su ispunjeni sledeći uslovi:

$$F_{V,Ed} \leq 0,1 F_{V,B} = 0,1 \frac{F_{V,BB}}{1 + F_{V,BB} / F_{V,BS}} \quad (\text{H.6})$$

gde je:

$F_{V,B}$  globalno opterećenje pri izvijanju, uzimajući u obzir **globalno savijanje i smicanje**

- $F_{V,BB}$  globalno opterećenje pri izvijanju za čisto savijanje, videti H.1.2 (2)  
 $F_{V,BS}$  globalno opterećenje pri izvijanju za čisto smicanje,  $F_{V,BS} = \sum S$   
 $\sum S$  ukupna krutost na smicanje (*shear stiffness*) (sila po uglu deformacije usled smicanja) (*force per shear angle*) elemenata za ukrućenje (videti sliku H.1).

**Napomena:** Globalna deformacija smicanja elementa za ukrućenje normalno pretežno zavisi od lokalnih deformacija od savijanja (slika H.1). Zbog toga, u nedostatku preciznije analize, prsline mogu da se uzmu u obzir za  $S$  na isti način kao i za  $EI$ ; videti H.1.2 (3).

## H.2 METODE ZA PRORAČUN GLOBALNIH UTICAJA DRUGOG REDA

(1) Ovo poglavlje bazira se na linearnoj analizi uticaja drugog reda prema 5.8.7. Globalni uticaji drugog reda mogu da se uzmu u obzir analizom konstrukcije sa fiktivnim, povećanim horizontalnim silama  $F_{H,Ed}$ :

$$F_{H,Ed} = \frac{F_{H,0Ed}}{1 - F_{V,Ed} / F_{V,B}} \quad (H.7)$$

gde je:

- $F_{H,0Ed}$  horizontalna sila prvog reda usled vetra, imperfekcija, itd.  
 $F_{V,Ed}$  ukupno vertikalno opterećenje elementa za ukrućenje i elemenata koji su ukrućeni  
 $F_{V,B}$  nominalno globalno opterećenje pri izvijanju, videti (2) u daljem tekstu.

(2) Opterećenje pri izvijanju  $F_{V,B}$  može da se odredi prema H.1.3 (ili H.1.2 ako su globalne deformacije usled smicanja zanemarljive). Međutim, u tom slučaju treba da se koriste nominalne vrednosti krutosti prema 5.8.7.2, uključujući i uticaje tečenja.

(3) U slučaju da globalno opterećenje pri izvijanju  $F_{V,B}$  nije definisano, može da se koristi izraz:

$$F_{H,Ed} = \frac{F_{H,0Ed}}{1 - F_{H,1Ed} / F_{H,0Ed}} \quad (H.8)$$

gde je:

- $F_{H,1Ed}$  fiktivna horizontalna sila, koja izaziva iste momente savijanja kao vertikalno opterećenje  $N_{V,Ed}$  na konstrukciji koja je deformisana silom  $F_{H,0Ed}$  (deformacija prvog reda), sračunata sa nominalnim vrednostima krutosti prema 5.8.7.2.

**Napomena:** Izraz (H.8) sledi iz numeričkog proračuna korak po korak (*step-by-step numerical calculation*), u kojem se uticaji vertikalnog opterećenja i inkrementi deformacije konstrukcije, izraženi preko ekvivalentnih horizontalnih sila, dodaju u svakom narednom koraku. Posle nekoliko koraka inkrementi obrazuju geometrijski niz. Pretpostavljajući da do toga dolazi već u prvom koraku, (što je analogno pretpostavci da je  $\beta = 1$  u 5.8.7.3 (3)), suma reda može da se prikaže kao u izrazu (H.8). Ova pretpostavka zahteva da su vrednosti krutosti za konačnu fazu deformacija korišćene i u svim prethodnim koracima proračuna (treba zapaziti da je to osnovna pretpostavka i za analizu koja se zasniva na nominalnim vrednostima krutosti).

U drugim slučajevima, na primer, ako se u prvom koraku pretpostavi da su preseki bez prsline a u kasnijim koracima se pokaže da nastaju prsline, ili ako se raspodela ekvivalentnih horizontalnih sila koja je važila u prvim koracima kasnije značajno menja, u analizi mora da se koristi više koraka, dok se ne ostvari pretpostavka o geometrijskom nizu inkremenata. U daljem tekstu dat je primer sa dva koraka više nego u izrazu (H.8):

$$F_{H,Ed} = F_{H,0Ed} + F_{H,1Ed} + F_{H,2Ed} / (1 - F_{H,3Ed} / F_{H,2Ed})$$

ANEKS I

(INFORMATIVAN)

ANALIZA RAVNIH PLOČA  
I ZIDOVA ZA UKRUĆENJE OD SMICANJA

I.1 RAVNE PLOČE

I.1.1 OPŠTE ODREDBE

(1) Za potrebe ovog poglavlja ravne ploče (ploče bez kapitela) (*flat slabs*) mogu da budu konstantne debljine ili da budu sa ispuštenim ojačanjima nad stubovima (kapitelima) (*drops - thickenings over columns*).

(2) Ravne ploče treba da se analiziraju koristeći proverene metode proračuna, kao što je metoda grednih roštilja (*grillage*) (u kojoj se ploča idealizira mrežom diskretnih, međusobno povezanih grednih elemenata), metoda konačnih elemenata, metoda linija loma (*yield line*) ili metoda ekvivalentnih ramova (*equivalent frame*). U proračunu treba da se koriste odgovarajuća svojstva materijala i geometrijske karakteristike.

I.1.2 ANALIZA METODOM EKVIVALENTNIH RAMOVA

(1) Konstrukcija treba da se podužno i poprečno podeli na ramovske konstrukcije koje se sastoje od stubova i delova ploča između središnjih linija susednih polja (panela) (*adjacent panels*), (pod poljem se podrazumeva površina ploče ograničene sa četiri susedna oslonca). Krutost elemenata može da se sračuna iz bruto poprečnih preseka. Za vertikalno opterećenje krutost se može odrediti uzimajući u obzir punu širinu polja. Za horizontalno opterećenje treba koristiti samo **40%** od te vrednosti, da bi se na taj način uzela u obzir povećana fleksibilnost spojeva stub/ploča u konstrukcijama sa ravnim pločama u odnosu na čvorove stub/greda. U analizi uticaja za svaki pravac treba da se uzme u obzir ukupno opterećenje na polju.

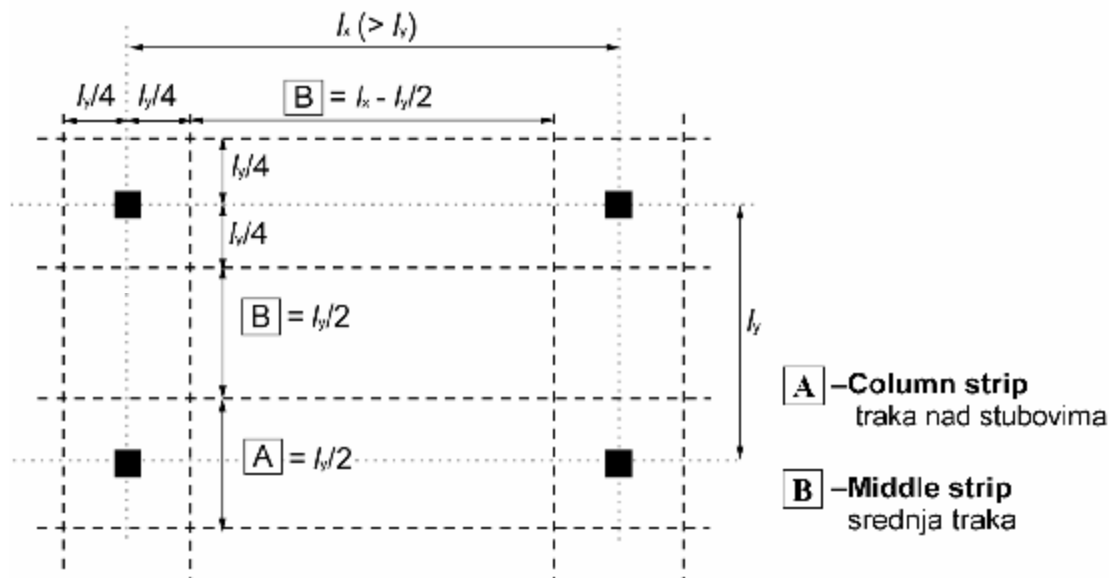
(2) Ukupne momente savijanja koji se dobijaju analizom treba rasporediti po širini ploče. U elastičnoj analizi negativni momenti imaju tendenciju da se koncentrišu ka osnim linijama stubova.

(3) Treba da se pretpostavi da su polja podeljena na trake nad stubovima (*column strips*) i na srednje trake između njih (*middle strips*) (videti sliku I.1) i ukupne momente savijanja raspodeliti na te trake prema tabeli I.1.

**Napomena:** Kada je širina ojačanja ravne ploče iznad stubova  $> (l_y/3)$ , u proračunu može da se uzme da je širina traka nad stubovima jednaka širini ojačanja. Širina srednjih traka onda treba da se odredi tako da se obuhvati ukupna širina polja.

**Tabela I.1: Uprošćena raspodela momenta savijanja u ravnoj ploči**

	Negativni momenti	Pozitivni momenti
Traka nad stubovima	60 - 80%	50-70%
Srednja traka	40 - 20%	50 - 30%
<b>Napomena:</b> Zbir ukupnih negativnih i pozitivnih momenata koje treba da prihvate trake nad stubovima i srednje trake uvek treba da bude <b>100%</b> .		



Slika I.1: Podela polja u ravnim pločama bez kapitela

(4) Kada se širina trake nad stubovima razlikuje od  $0,5 l_x$ , kako je prikazano na slici I.1 (na primer), i kada je usvojena tako da je njena širina jednaka širini ispuštenih ojačanja ploče nad stubovima, širina srednje trake treba da se odredi vodeći o tome računa.

(5) Osim u slučaju da postoje grede po konturi ploče, koje su predviđene i adekvatno sračunate za prihvatanje uticaja od torzije, momenti koji se prenose na ivične i ugaone stubove treba da se ograniče na vrednost momenta nosivosti pravougaonog preseka, jednaku  $0,17 b_e d^2 f_{ck}$  (videti sliku 9.9 za definiciju veličine  $b_e$ ). Pozitivni momenti u krajnjem rasponu trake treba da se na odgovarajući način prilagode.

### I.1.3 NEPRAVILAN RASPORED STUBOVA

(1) Kada zbog nepravilne dispozicije stubova ravna ploča ne može realno da se analizira metodom zamenjujućih ramova, može se koristiti metoda grednih roštilja ili neka druga elastična metoda. U takvom slučaju sledeći uprošćeni postupak normalno će biti zadovoljavajući:

- i) prvo se analizira ploča sa punim opterećenjem,  $\gamma_Q Q_k + \gamma_G G_k$ , u svim rasponima
- ii) zatim treba povećati momente u sredini raspona i nad stubovima da bi se uzelo u obzir nepravilno prenošenje opterećenja usled nepravilnog rasporeda stubova. To povećanje može da se odredi opterećenjem kritičnog (ili kritičnih) polja (*bays*) sa  $\gamma_Q Q_k + \gamma_G G_k$  a ostatka ploče sa  $\gamma_G G_k$ . Kada ima značajnih varijacija stalnog opterećenja u pojedinim poljima, može da se uzme da je za neopterećena polja  $\gamma_G = 1$
- iii) uticaji ovog posebnog opterećenja mogu onda na sličan način da se primene na druga kritična polja i oslonce.

(2) Treba da se primene ograničenja u pogledu prenošenja momenata na ivične stubove, data u I.1.2. (5).

## I.2 ZIDOVI ZA UKRUĆENJE OD SMICANJA

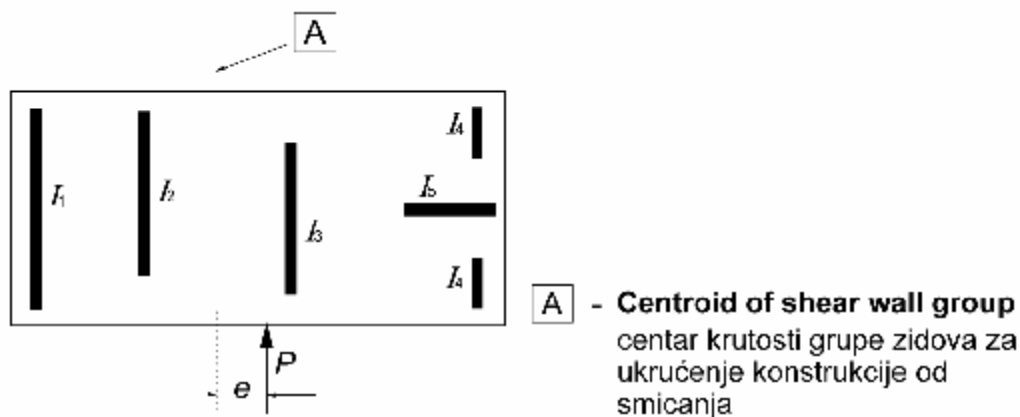
- (1) Zidovi za ukrućenje od smicanja (smičući zidovi) (*shear walls*) su nearmirani ili armirani betonski zidovi koji doprinose bočnoj stabilnosti (*lateral stability*) konstrukcije.
- (2) Bočno opterećenje koje prihvata svaki zid za ukrućenje u konstrukciji treba da se odredi globalnom analizom konstrukcije, uzimajući u obzir aplicirana opterećenja, ekscentricitete opterećenja u odnosu na centar smicanja (*shear center*) konstrukcije i interakciju između različitih konstrukcijskih zidova.
- (3) Treba voditi računa o uticajima asimetrije opterećenja od vetra (videti EN 1991-1-4).
- (4) U proračunu treba da se uzmu u obzir kombinovani uticaji aksijalnog opterećenja i smicanja.
- (5) Osim drugih kriterijuma upotrebljivosti u ovom standardu, treba voditi računa i o uticaju horizontalnih pomeranja (luljanja) (*sway*) smičućih zidova na korisnike objekta, (videti EN 1990).
- (6) U slučaju konstrukcija zgrada koje nemaju više od **25 spratova**, sa relativno simetričnom dispozicijom zidova u osnovi, i kada zidovi nemaju otvore koji bi značajno uticali na globalne deformacije od smicanja, bočno opterećenje koje prihvata pojedini smičući zid može da se odredi iz izraza:

$$P_n = \frac{P(EI)_n}{\Sigma(EI)} \pm \frac{(Pe)y_n(EI)_n}{\Sigma(EI)y_n^2} \quad (I.1)$$

gde je:

- $P_n$  bočno opterećenje koje deluje na zid  $n$
- $(EI)_n$  krutost zida  $n$
- $P$  ukupno bočno opterećenje
- $e$  ekscentricitet ukupnog bočnog opterećenja  $P$  u odnosu na centar krutosti (*centroid of the stiffnesses*) (videti sliku I.2)
- $y_n$  rastojanje zida  $n$  od centra krutosti.

- (7) Ukoliko su u sistemu za ukrućenje kombinovani elementi sa i bez značajnih deformacija od smicanja, u analizi treba uzeti u obzir i deformacije od smicanja i deformacije od savijanja.



Slika I.2: Ekscentricitet opterećenja u odnosu na centar krutosti zidova za ukrućenje

**ANEKS J**  
(INFORMATIVAN)

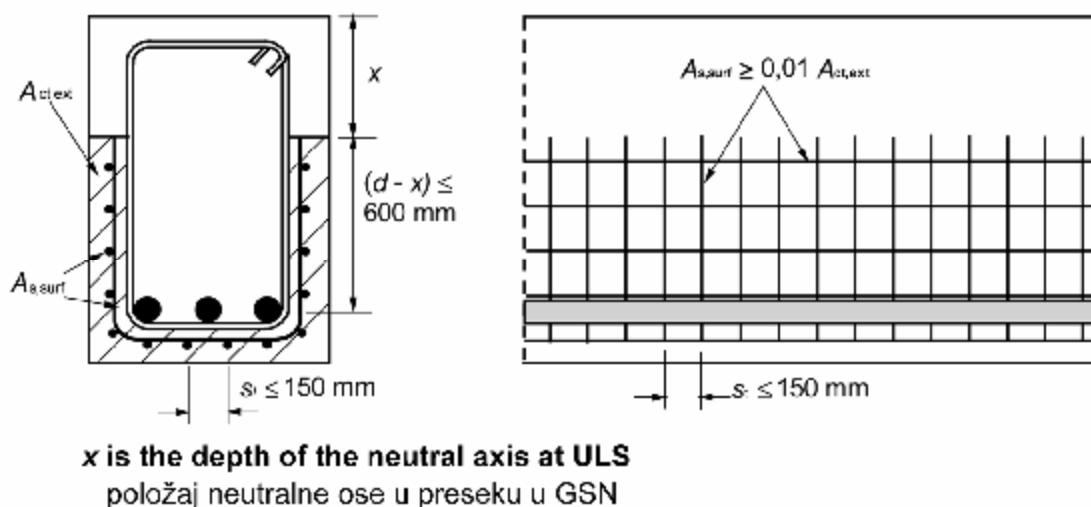
**PRAVILA ZA KONSTRUKCIJSKE DETALJE  
ZA POSEBNE SLUČAJEVE**

**J.1 POVRŠINSKA ARMATURA**

(1) Površinska armatura (*surface reinforcement*) za sprečavanje odlamanja (*spalling*) betona treba da se koristi kada glavnu armaturu čine:

- šipke prečnika većeg od **32 mm**, ili
- svežnjevi šipki (cvasti) (*bundled bars*) sa ekvivalentnim prečnikom većim od **32 mm** (videti 8.8).

Površinska armatura treba da se sastoji od armaturne mreže ili od šipki malog prečnika, i treba da se postavi izvan uzengija, kako je prikazano na slici J.1.



**Slika J.1: Primer dispozicije površinske armature**

(2) Površina preseka površinske armature  $A_{s,surf}$  treba da bude veća ili jednaka  $A_{s,surfmin}$  u oba pravca, paralelno i ortogonalno na armaturu za zatezanje u gredi.

**Napomena:** Vrednost  $A_{s,surfmin}$ , koja se primenjuje u određenoj zemlji, data je u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost je  $0,01 A_{ct,ext}$ , gde je  $A_{ct,ext}$  površina zategnutog betona izvan spoljašnje konture uzengija (videti sliku J.1).

(3) Kada je zaštitni sloj betona do armature (*cover to reinforcement*) veći od **70 mm**, da bi se obezbedila potrebna trajnost treba da se primeni slična površinska armatura, sa površinom  $0,005 A_{ct,ext}$  u svakom pravcu.

(4) Minimalni zaštitni sloj betona za površinsku armaturu dat je u 4.4.1.2.

(5) Podužne šipke površinske armature mogu da se uzmu u obzir kao podužna armatura za savijanje a poprečne šipke kao armatura za smicanje, pod uslovom da ispunjavaju zahteve u pogledu rasporeda i ankerovanja armature sa kojom sadejstvuju.

**J.2 UGLOVI RAMOVA**

**J.2.1 OPŠTA ODREDBA**

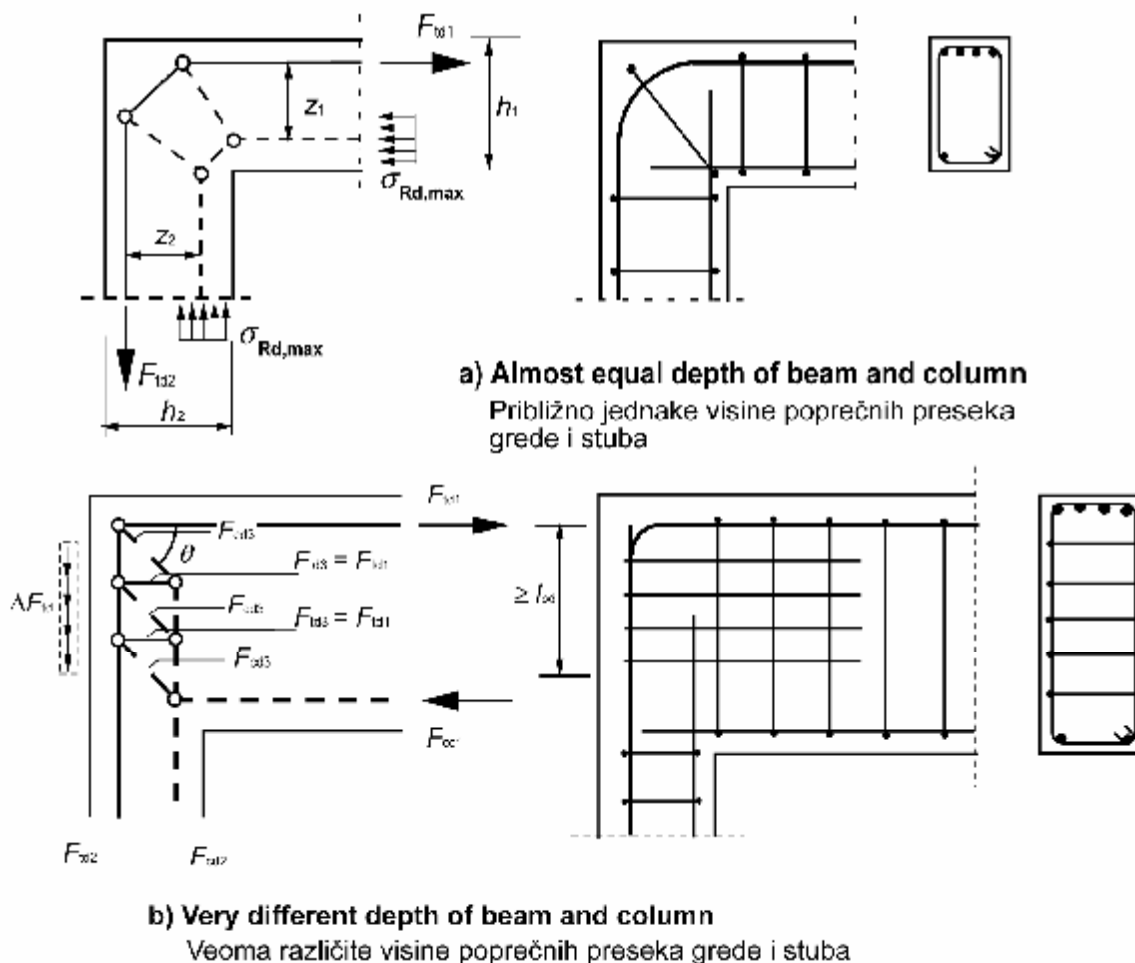
(1) Proračunska čvrstoća betona  $\sigma_{Rd,max}$  treba da se odredi prema uslovima 6.5.2 (pritisnute zone sa ili bez poprečne armature).

**J.2.2 UGLOVI RAMOVA SA MOMENTIMA SAVIJANJA KOJI IZAZIVAJU PRITISAK NA UNUTRAŠNJOJ KONTURI RAMA**

(1) Kada su približno jednake visine stuba i grede ( $2/3 < h_2/h_1 < 3/2$ ) (videti sliku J.2 (a)), u uglovima ramova sa momentima savijanja koji izazivaju pritisak (zatvaraju ugao) na unutrašnjoj konturi ugla rama (*frame corners with closing moments*), u čvoru grede i stuba nije potrebna nikakva kontrola uzengija niti dužine ankerovanja, pod uslovom da je sva zategnuta armatura iz grede savijena oko ugla rama.

(2) Na slici J.2 (b) prikazan je model sa pritisnutim štapovima i zategama za  $h_2/h_1 < 2/3$  za ograničeni opseg  $tg\theta$ .

**Napomena:** Granične vrednosti za  $tg\theta$ , koje se primenjuju u određenoj zemlji, date su u njenom Nacionalnom aneksu. Preporučena vrednost za donju granicu je **0,4** a preporučena vrednost za gornju granicu **1,0**.

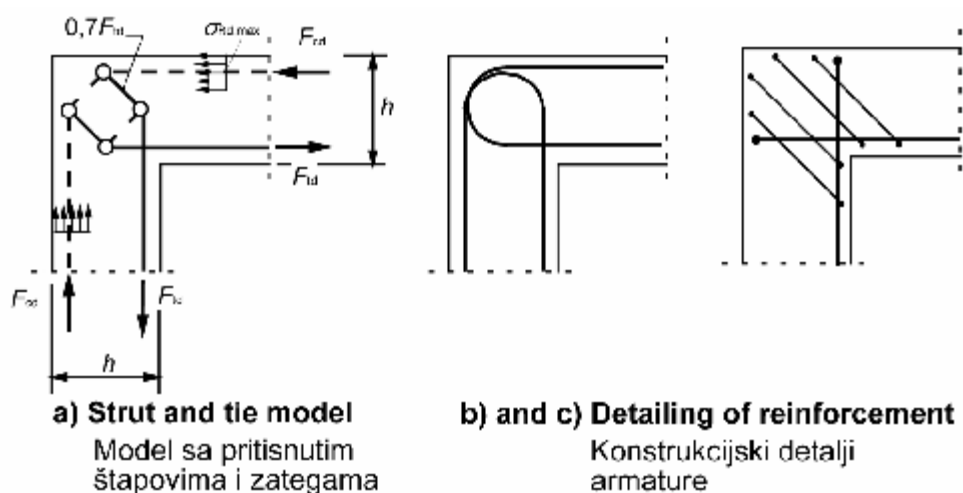


**Slika J.2: Ugao rama sa momentom savijanja koji izaziva pritisak na unutrašnjoj konturi ugla rama. Model i armatura**

- (3) Dužina ankerovanja  $l_{bd}$  treba da se odredi za silu  $\Delta F_{td} = F_{td2} - F_{td1}$ .
- (4) Treba da se predvidi armatura za poprečne sile zatezanja upravne na ravan čvora.

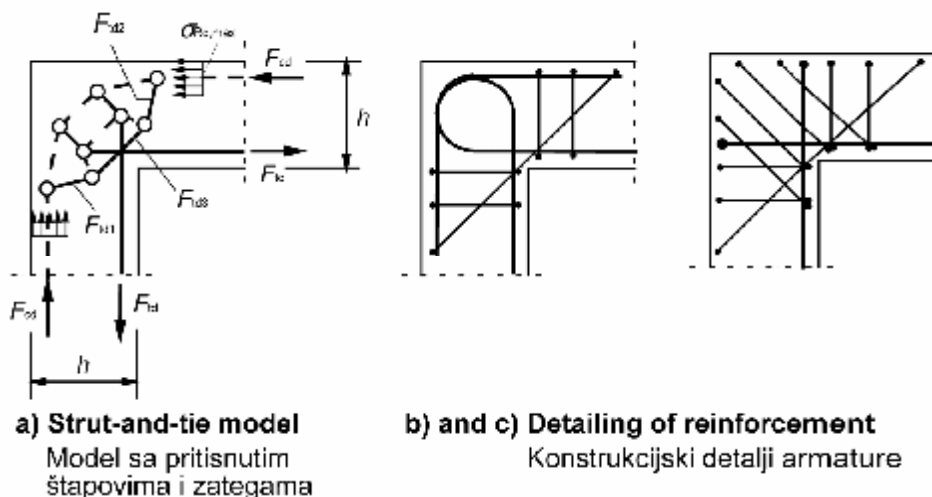
**J.2.3 UGLOVI RAMOVA SA MOMENTIMA SAVIJANJA KOJI IZAZIVAJU ZATEZANJE NA UNUTRAŠNJOJ KONTURI RAMA**

(1) Za približno jednake visine poprečnih preseka stuba i grede, za uglove rama sa momentima savijanja koji izazivaju zatezanje (otvaraju ugao) na unutrašnjoj konturi ugla rama (*frame corners with opening moments*), mogu da se koriste modeli pritisnutih štapova i zatega prikazani na slikama J.3 (a) i J.4 (a). Armatura treba da se predvidi u obliku petlji u zoni ugla ili u obliku obostranih U-šipki nastavljenih preklapanjem, u kombinaciji sa kosim uzengijama, kako je prikazano na slikama J.3 (b) i (c) i J.4 (b) i (c).



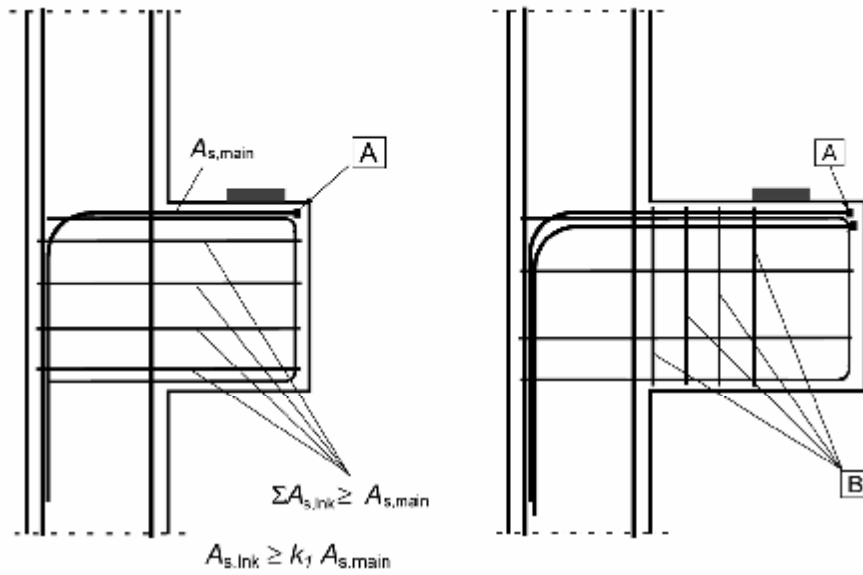
**Slika J.3: Ugao rama sa umereno velikim momentom savijanja koji izaziva zatezanje na unutrašnjoj konturi rama (na primer,  $A_s / bh \leq 2\%$ )**

(2) Za velike momente savijanja koji izazivaju zatezanje na unutrašnjoj konturi rama, treba da se predvide dijagonalne šipke i uzengije, kako je prikazano na slici J.4, da bi se sprečilo cepanje betona,.



**Slika J.4: Ugao rama sa velikim momentom savijanja koji izaziva zatezanje na unutrašnjoj konturi ugla rama (na primer,  $A_s / bh > 2\%$ )**





**A** - Anchorage devices or loops  
 mehanički uređaji za ankerovanje  
 ili petlje

**a) Reinforcement  $a_c \leq 0,5 h_c$**   
 Armatura za  $a_c \leq 0,5 h_c$

**B** - Links  
 uzengije

**b) Reinforcement for  $a_c > 0,5 h_c$**   
 Armatura za  $a_c > 0,5 h_c$

**Slika J.6: Konstrukcijski detalji za kratki element**