

НОМОГРАМИ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ЕФЕКТИВНЕ ДУЖИНЕ ИЗДВОЈЕНИХ АБ СТУБОВА ПРЕМА ЕС 2

Александар Ристовски¹Владимир Станојевић²

УДК: 624.97

DOI: 10.14415/konferencijaGFS2014.031

Резиме: Објављивањем стандарда Еврокода 2, 2004.г. (у даљем тексту ЕС2), уведене су бројне новине у прорачун бетонских елемената и конструкција уопште, па и у области витких елемената. Прорачун витких елемената је знатно прецизније дефинисан, иако су даља детаљнија упутства још увек неопходна. У раду се указује на значајне новине при прора-чуну ефективне дужине изолованих армирано бетонских стубова у Стандарду ЕС2 у односу на предстандард EN1992, а самим тим и у односу на наш актуелни правилник ПБАБ 87.

Кључне речи: Издвојени АБ стубови, ефективна дужина, виткост, стандард, номограми

1. UVOD

Прорачун витких АБ конструкција захтева анализу утицаја деформације елемената на величину сила у пресечима елемената.

Ovim problem postaje geometrijski i materijalno nelinearan i osetljiv na sve parametre koji utiču na величину деформација елемената конструкције (imperfekcija, istorija opterećenja, reološke osobine, promena krutosti i dr.).

U inženjerskoj praksi je uobičajen proračun uticaja u elementima конструкције по теорiji еластичности (теорija I реда). Актуелна техничка регулатива из ове области у свету и код нас се махом ослања на овако добијене утицаје. У циљу свођења прорачуна витких АБ елемената на исти ред величина развијен је читав низ алгоритама који полазе од ове претпоставке.

Osetljivost na uticaje drugog reda nije ista za sve elemente конструкције. Stoga je uobičajen prvi korak uprošćene analize identifikacija елемената/конструкција код којих би ови ефекти могли бити занемарени.

Ovim uprošćenjem se može izbeći složena analiza u velikom broju praktičnih slučajeva. Ukoliko prethodna provera ukaže na potrebu tačnijeg, tj. dodatnog прорачуна елемената/конструкције, може се различитим класификацијамa и апроксимацијамa прорачун упростити за велики број практичних случајева. На пример, додатна анализа по теорiji II реда се може извести само на издвојеним елементима

¹ Проф. др Факултет техничких наука, Косовска Митровица

² Асс. Мр Факултет техничких наука, Косовска Митровица

1.1 DEFINICIJE

Pod izvijanjem se ovde podrazumeva lom usled nestabilnosti elemenata ili konstrukcije pod dejstvom idealno aksijalnog pritiska i bez transferzalnog opterećenja. definisano "čisto izvijanje" nije relevantno granično stanje u realnim konstrukcijama usled imperfekcije i transferzalnih opterećenja, ali se nominalno opterećenje pri izvijanju može koristiti kao parametar u nekim metodama analize po teoriji drugog reda.

Ovo je takođe razlog zbog čega je termin „izvijanje“ izbegnut u naslovu poglavlja 5.8. [1]. U tekstu je izvijanje pomenuto samo kada je nominalno opterećenje izvijanja upotrebljeno kao parametar u određenim metodama proračuna.

Opterećenje pri izvijanju je definisano kao opterećenje pri kojem dolazi do izvijanja, a za izdvojene elastične elemente podrazumeva se da je to Ojlerova sila. Efektivna dužina izvijanja je definisana kao dužina na kojoj se uzima u obzir oblik deformacione krive. Ona može biti definisana i kao dužina izvijanja, 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.

Termini bočno pomerljive - nepomerljive konstrukcije su izostavljeni u konačnoj verziji [1], nakon mnogih komentara za ili protiv. Same po sebi, ove formulacije navode na pogrešan zaključak, obzirom da su sve konstrukcije u manjoj ili većoj meri „bočno pomerljive“; konstrukcije koje bi i bile klasifikovane kao „bočno pomerljive“ mogle bi biti podjednako krute kao i „bočno nepomerljive“. Ovi termini su sada zamenjeni terminima neukrućeni-ukrućeni. Razlika među terminima neukrućeni-ukrućeni je prosta: konstrukcijski elementi ili podsistemi za koje se u analizi i proračunu može pretpostaviti da doprinose ukupnoj horizontalnoj stabilnosti konstrukcije su elementi ili sistemi koji ukrućuju, ostali su ukrućeni. Konstrukcijski elementi ili podsistemi koji ukrućuju konstrukciju treba da su projektovani tako da svi zajedno poseduju potrebnu krutost i otpornost da razviju stabilišuće sile i da daju doprinos ukupnoj stabilnosti konstrukcije.

Elementi ili sistemi koji su ukrućeni, po definiciji, nemaju sposobnost da daju doprinos ukupnoj horizontalnoj stabilnosti konstrukcije. U ENV je koncept bočno pomerljiv - nepomerljiv povezan sa kriterijumom za zanemarivanje globalnih efekata drugog reda u konstrukcijama. Klasifikacija konstrukcija, sa ove tačke gledišta, ostaje u EC2, ali bez upotrebe termina „pomerljiv - nepomerljiv“.

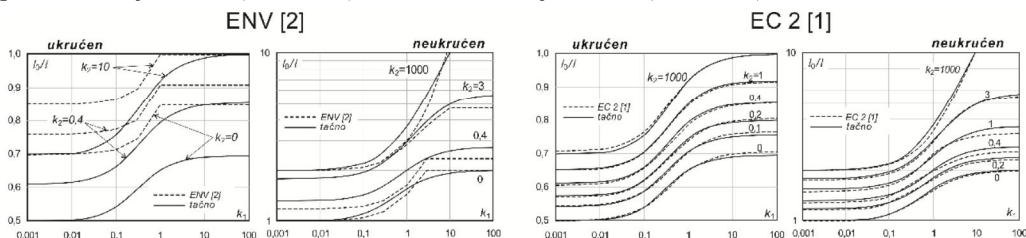
2. EFEKTIVNA DUŽINA IZVIJANJA

2.1 POREKLO NOVOG PREDLOGA

Izrazi za određivanje efektivne dužine u verziji ENV-a su uzeti iz predloga Velike Britanije, (uključeni u ENV i u ranije verzije EN-a). Nađeno je da su oni u nekim slučajevima veoma konzervativni, te da daju i do 40 % premašivanja procene efektivne dužine za ukrućene elemente, odnosno da nisu na strani sigurnosti u drugim slučajevima, dajući do 20% umanjene procene za efektivnu dužinu neukrućenih elemenata.

Tvrdilo se da je konzervativnost (umerenost) bila namerna i promišljena, u cilju pokrivanja određenih neželjenih nelinearnih efekata. Efektivna dužina je po definiciji zasnovana

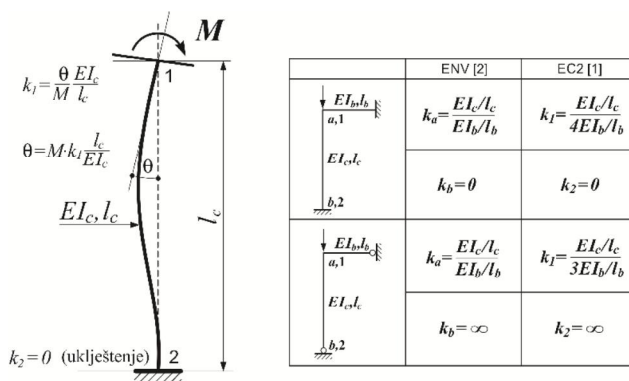
na linearnom ponašanju; postojeći modeli su usmereni ka davanju tačnih predviđanja u skladu sa definicijom, bez uključivanja skrivenih dopuštanja za moguće nepoželjne efekte. Umesto toga, ovi efekti su eksplicitno navedeni u poglavljima 5.8.3.2 i 5.8.7.2 [1]. Novim izrazima se takođe izbegavaju nebezbedne procene, kao što je to slučaj kod neukrućenih elemenata u prethodnim izrazima. Slike 1.a) i b) pokazuju poređenje između tačnog numeričkog proračuna u skladu sa definicijom efektivne dužine i procene prema verziji ENV, (Slika 1 a) i konačne verzije EC 2, (Slika 1 b).



Slika 1. a) - Efektivna dužina prema tačnom i uprošćenom proračunu prema ENV, b) - efektivna dužina prema tačnom i uprošćenom metodu prema EC 2

2.2 EFEKTIVNA DUŽINA IZDOJENIH ARMIRANOBETONSKIH STUBOVA PREMA STANDARDU EC 2

Postojeći k -faktori su definisani na drugačiji način u poređenju sa korespondentnim faktorima u verziji ENV i nazvani su k_1 i k_2 , kako bi se izbegla konfuzija sa prethodnim faktorima k_a i k_b . Aktuelni k -faktori izražavaju relativnu elastičnost uklještenja koje sprečava rotaciju na krajevima elementa, prema definicijama na Slici 2 a) i Slici 2 b). Ovako definisani faktori su primenljivi na različite tipove elastičnog uklještenja, kao na primer kod greda sa različitim graničnim uslovima, kod fleksibilnih temelja i dr. U drugoj verziji uvedeni su novi izrazi (1) i (2) za efektivnu dužinu izolovanih elemenata u ramovima. Izvedeni su da bi dali tačne procene, a zasnovani na definiciji efektivne dužine u 5.8.1. [1], ovi izrazi zamenjuju Sl. 4.27, kao i izraze (5.22) i (5.23) u ENV [2]



Slika 2 - a) Definicija faktora krutosti k prema EC 2, b) Poređenje različitih definicija k -faktora; prema ENV i EC 2

Za pritisnute elemente u geometrijski pravilnim ramovskim konstrukcijama kriterijum vitkosti treba proveriti sa efektivnom dužinom l_0 , određenom na sledeći način:

- za ukružene elemente:

$$l_0 = 0,5 \cdot l \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{0,45 + k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{0,45 + k_2}\right)}, \quad (1)$$

- za neukružene elemente usvaja se veća od dve vrednosti :

$$l_0 = l \cdot \max \left\{ \sqrt{1 + 10 \cdot \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2}} ; \left(1 + \frac{k_1}{1 + k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{1 + k_2}\right) \right\}, \quad (2)$$

gde je:

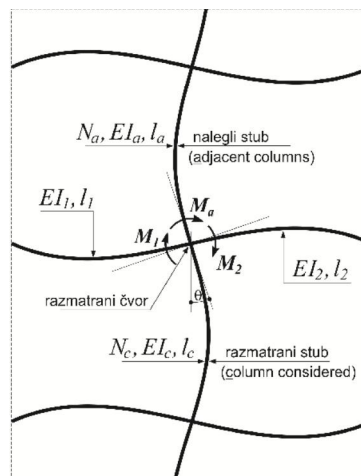
k_1, k_2 - relativna elastičnost uklještenja koja sprečavaju rotaciju na krajevima elementa 1 i 2; $k = (\theta/M) \cdot (EI/l)$,

θ - rotacija elastičnog uklještenja usled momenta savijanja M ,

EI - krutost na savijanje pritisnutog elementa,

l - čista visina pritisnutog elementa između uklještenih krajeva.

Po definiciji je $k=0$ teorijska granica za kruto rotaciono uklještenje, $ak=\infty$ predstavlja granicu kada uopšte nema uklještenja. Obzirom da potpuno kruto uklještenje u realnim konstrukcijama praktično ne postoji, za k_1 i k_2 se preporučuje kao minimalna vrednost 0,1. Ukoliko susedni pritisnuti element (stub) u čvoru realno doprinosi rotaciji posmatranog elementa pri izvijanju, vrednost (EI/l) u izrazu za k treba da se zameni sa (3), gde a i c označavaju pritisnuti element (stub) ispod i iznad čvora, Slika 3. Ovo će zavistiti od veličine aksijalne sile u susednom stubu.



Slika 3 - Ilustracija razmatranog čvora sa priključnim elementima

Ako oba stuba vezana za posmatrani čvor dostignu svoje opterećenje na izvijanje u isto vreme (pod proporcionalnim uvećanjem opterećenja), oba će morati da dele ograničenje koje potiče od drugih vezanih elemenata (greda) i faktor k će tada biti definisan kao (3).

U suprotnom slučaju, kada susedni stub ima relativno malo aksijalno opterećenje, on se može uključiti među elemente koji doprinose rotaciji posmatranog elementa pri izvijanju prema (4):

$$k = \frac{\theta}{M} \cdot \left[\frac{EI_a}{l_a} + \frac{EI_c}{l_c} \right], \tag{3}$$

$$k = \frac{\theta}{M_1 + M_2 + \dots + (1-\alpha) \cdot M_a} \cdot \left(\alpha \cdot \frac{EI_a}{l_a} + \frac{EI_c}{l_c} \right), \tag{4}$$

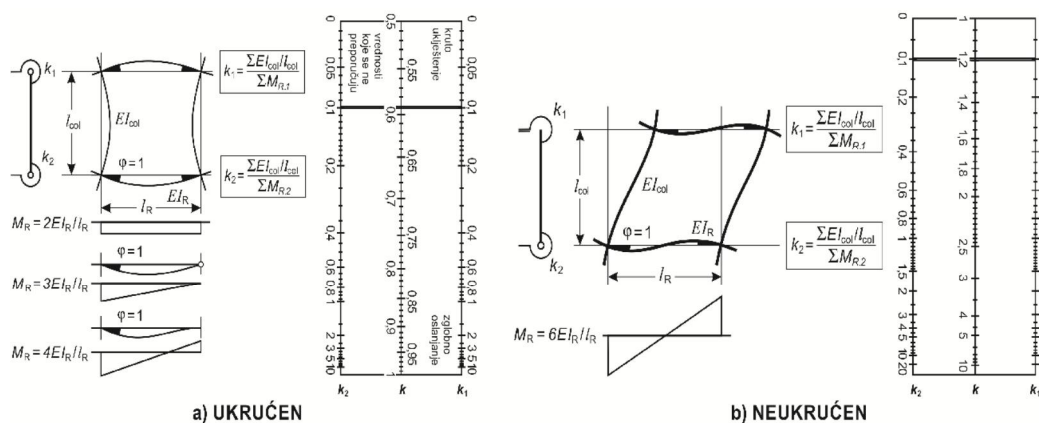
где је:

- M_1, M_2 - momenti savijanja u gredama 1,2,3,
- M_a - momenat savijanja u sledećem stubu izračunat bez uzimanjau obzir aksijalne sile $N_a, \alpha = N_a/N_{Ba}$,
- N_a - aksijana sila na sledećem stubu
- N_{Ba} - izvijanje sledećeg stuba (može biti proračunato aproksimativno, npr. uzimanjem obzir samo horizonatnih članova koji su pozicionirani kao sledeći do čvorova).

Kada se definišu efektivne dužine, krutost elemenata koji obezbeđuju uklještenja treba da se odredi uzimajući u obzir prsline, ukoliko se ne može pokazati da ti elementi rade u fazi bez prsline. U izrazima (3) i (4) potrebno je sračunati relativnu elastičnost uklještenja koja spreča-vaju rotaciju na krajevima elementa k_1 i k_2 kao i rotaciju elastičnog uklještenja a usled momenta savijanja M , što u praksi podrazumeva upotrebu softvera. Alternativno prema [3] u velikom broju praktičnih slučajeva k_1 i k_2 se mogu sračunati kao rotacija posmatra-nog čvora usled $\varphi=1$. Krutost prema (5) se može sračunati pod uslovom da se krutost susednih stubova ne razlikuju za više od 15%. Rezultati su dobijeni primenom uslova (6).

$$k_i = \frac{\sum E_{cm} \cdot I_{col,i} / l_{col,i}}{\sum M_{R,i}} = \frac{\sum E_{cm} \cdot I_{col,i} / l_{col,i}}{\sum \alpha \cdot E_{cm} \cdot I_{R,i} / l_{R,i}}; \quad \alpha = 2,3,4,6 \tag{5}$$

$$\varepsilon_i = \frac{s_i \cdot |N_i|}{E \cdot I_i} \quad 0,8 \leq \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_{i+1}} \leq 1,25 \tag{6}$$



Sl.4 Nomogrami za određivanje efektivne dužine izvijanja za ukružene i neukružene ramove

Evaluacija navedenih jednačina prikazana je na nomogramima (sl.4). Ovi izrazi su izvedeni za pritisnute elemente u geometrijski pravilnim višespratnim ramovskim konstrukcijama. Redukciju krutosti rigli zbog isprskalosti treba uzeti sa najviše $I_{R,eff}=0,7 \cdot I_R$, najčešće u praksi je $I_{R,eff}=0,5 \cdot I_R$.

Premala redukcija krutosti rigli dovodi do dobijanja nerealno malih dužina l_0 . Pri primeni nomograma utreba voditi računa o svim ograničenjima koja su navedena, pogotovu ako su u pitanju neukrućeni ramovi. U slučaju nedoumica treba videti[3].

3. ZAKLJUČAK

Svi vodeći svetski standardi predviđaju analizu uticaja drugog reda, pod određenim uslovima, na izolovanim AB elementima. Pri analizi uticaja drugog reda na izolovanim stubovima prvo se mora odrediti efektivna dužina l_0 . Od tačnosti ovog parametra u mnogome zavisi dalji tok i tačnost proračuna. Predstandard ENV[2] je ostavio brojne nedoumice, a za ne mali broj praktičnih problema projektant je bio upućen na opšte metode. Objavljivanjem standarda Evrokoda 2 [1], uvedene su brojne novine u proračun betonskih elemenata i konstrukcija uopšte, pa i u oblasti vitkih elemenata. Proračun vitkih elemenata je znatno preciznije definisan, iako su dalja detaljnija uputstva još uvek neophodna. Izrazi za određivanje efektivne dužine u verziji ENV-a su bili preuzeti iz predloga Velike Britanije. Nađeno je da su oni u nekim slučajevima veoma konzervativni, te da daju i do 40 % premašivanja procene efektivne dužine za ukrućene elemente, odnosno da nisu na strani sigurnosti u drugim slučajevima, dajući do 20% umanjene procene za efektivnu dužinu neukrućenih elemenata.

U standardu EC 2 [1] uvedeni su novi izrazi za određivanje efektivne dužine izolovanih elemenata u geometrijski pravilnim ramovskim konstrukcijama. Izvedeni su da bi dali tačne procene, a zasnovani su na definiciji efektivne dužine. Novim izrazima se izbegavaju nebezbedne procene, kao što je to bio slučaj kod neukrućenih elemenata u prethodnim izrazima. Alternativno su dati i nomogrami koji se, uz sva navedena ograničenja, mogu primenjivati u svakidašnjoj inženjerskoj praksi za pritisnute elemente u geometrijski pravilnim višespratnim ramovskim konstrukcijama.

LITERATURA

- [1] EN 1992-1-1:2004: (Evrokod 2, Eurocode 2- EC2): Proračun betonskih konstrukcija-Deo 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade, Građevinski fakultet, Beograd 2006.
- [2] EN 1992-1-1: (Evrokod 2, Eurocode 2- EC2): Proračun betonskih konstrukcija-Deo 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade, Građevinski fakultet, Beograd 1994.
- [3] BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Background paper to the UK National Annex to BS EN 1992-1-1 and BS EN 1992-1-2. BSI, due 2006.
- [4] On column slenderness limits / J. Hellesland // Mechanics Division, University of Oslo, 1999-05-28.

- [5] Narayanan,RS & Brooker,O.How to design concrete structures using Eurocode 2: Introduction. The Concrete Centre, 2005.
- [6] Analiza uticaja drugog reda armirano betonskih elemenata sa aksijalnom silom pritiska prema EC 2/ A. Ristovski, P. Čolić // Časopis Izgradnja, ISSN 0350-5421, 2007. Beograd, Br. 7-8.

NOMOGRAM FOR DETERMINING THE EFFECTIVE LENGTH OF ISOLATED RC COLUMNS ACCORDING TO EC2

***Summary:** Standard Eurocode2 (in further text as EC2), published in 2004, introduces numerous innovations in the calculation of reinforced concrete members and construction in general, as well as in the area of slender elements. The calculation of slender elements is defined much more precisely now, although further and more detailed instructions are still necessary. This paper brings attention to the significant innovations in calculation of effective length of isolated reinforced concrete columns given in EC2 standard, comparing to ENV prestandard and respectively to our current regulations.*

***Keywords:** Isolated reinforced concrete columns, effective length, slenderness, standard*