

## НЕЛИНЕАРНА АНАЛИЗА АБ НОСАЧА ПРИМЕНОМ ПРОГРАМСКОГ ПАКЕТА ANSYS

Емир Маслак<sup>1</sup>  
Енис Садовић<sup>2</sup>

УДК: 624.072.2:517.988

DOI: 10.14415/konferencijaGFS2014.045

**Резиме:** Најпростији статички систем који се примењује у конструкторству и данас (мостови, индустријски објекти великих распона) је проста греда. Такви бетонски носачи су углавном оптерећени континуалним једнакорасподељеним оптерећењем, али се неретко дешава да се на њих преносе велика концентрисана оптерећења. То су места велике концентрације напона које изазивају некад негативне последице у конструкцији уколико се не предвиде. Анализом носача путем програмског пакета ANSYS и њеним моделирањем користећи методу коначних елемената (FEM), добија се детаљнији приказ утицаја тачкастог оптерећења на један бетонски гредни носач. У раду је уведена нелинеарност конструкције као феномен у физичком понашању. Нелинеарно понашање конструкције мора се узети у обзир кад напони у неком делу конструкције прекораче границу пропорционалности (материјална нелинеарност) или када деформације на носачу достигну ту вредност да њихова величина има значајан утицај на промену напонско-деформацијског стања конструкције (геометријска нелинеарност). Проблем који се анализира у овом задатку је упоредна анализа напонског стања, деформација и осталих резултата за три модела армирано бетонског носача статичког система просте греде. Акцент је на разлику у одговору конструкције услед линеарног и нелинеарног прорачуна и начину моделирања арматуре.

**Кључне речи:** АБ греда, нелинеарна анализа, напонско стање, пукотине, деформације

### 1. UVOD

Za potrebe analize konstrukcija, nezavisno od toga da li je u pitanju linearna ili nelinearna analiza, do današnjih dana razvijen je veliki broj softverskih paketa. Tačnost rezultata proračuna zavisi od nivoa idealizacija koje su usvojene u modelu. Jasno je da će naponsko-deformacijsko stanje u konstrukciji koju modeliramo biti bliže stvarnom ukoliko stepen idealizacija svedemo na najmanju moguću meru.

<sup>1</sup> Emir Maslak, dipl.inž. građ., Državni Univerzitet u Novom Pazaru, Departman tehničkih nauka, Novi Pazar, tel: 020 317 754, e – mail: [e\\_maslak@yahoo.com](mailto:e_maslak@yahoo.com)

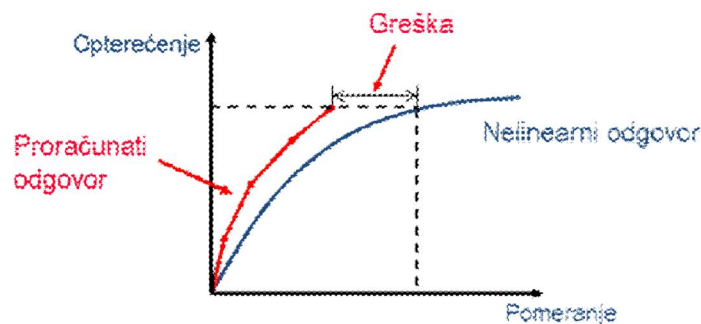
<sup>2</sup> Enis Sadović, dipl.inž. građ., Ph.D. student na Građevinsko-arhitektonskom fakultetu Univerziteta u Nišu, „Formel“ doo, Rifata Burdževića 46, Novi Pazar, tel: 020 316256, e –mail: [enis\\_sadovic@yahoo.com](mailto:enis_sadovic@yahoo.com)

U programskom paketu *ANSYS* moguće je modelirati ovu konstrukciju sa njenom stvarnom geometrijom i sa mehaničkim karakteristikama i u linearnom i u nelinearnom domenu. Za tu svrhu neophodno je primeniti zapreminske, odnosno *SOLID* elemente, uz pomoć kojih se neprekidna sredina betonske grede diskretizuje u određeni broj konačnih elemenata. Na osnovu ovoga lako je zaključiti da će tačnost rezultata proračuna zavisiti od stepena diskretizacije. U opštem slučaju, veći broj elemenata znači i rezultat koji je bliži tačnom, ali veći broj elemenata zahteva veće angažovanje resursa računara. Detaljan prikaz mogućnosti primene ovog softvera u konstrukterstvu je prikazan u [1]. Problem koji se analizira u ovom radu je uporedna analiza naponskog stanja, deformacija i ostalih rezultata za armirano betonski nosač statičkog sistema proste grede u linearnoj i nelinearnoj oblasti. Dimenzije poprečnog preseka su  $b/d=25/50\text{cm}$ , a raspon nosača je  $6,0\text{m}$ . Greda je opterećena koncentrisanom silom od  $P=11,0\text{kN}$  na sredini raspona. Generalna analiza je podeljena na tri slučaja. U prvom slučaju analiziraju se rezultati nearmiranog nosača, u drugom se takvom modelu dodaje samo podužna armatura, a u trećem se dodaju i uzengije na rastojanju od  $20,0\text{cm}$ .

## 2. NELINEARNA ANALIZA

Jedan od najčešćih fenomena u fizičkom ponašanju je nelinearno ponašanje konstrukcija. Postoji mnogo situacija kada je dovoljno pretpostaviti linearno ponašanje i rezultati su zadovoljavajući. S druge strane postoje situacije ili problemi kod kojih je neophodno, u cilju što boljeg sagledavanja odgovora konstrukcije, pratiti njeno ponašanje i u nelinearnoj oblasti. U opštem slučaju, kao posledica smanjenja modula elastičnosti, a samim tim i krutosti, deformacije konstrukcije će se povećati kada u proračun uključimo bilo geometrijsku, bilo materijalnu nelinearnost, kao i promenu graničnih uslova. Ove nelinearnosti su detaljno obrađene u literaturi [2].

Za nelinearnu analizu na armiranim nosačima je aplicirana koncentrisana sila od  $11,0\text{kN}$ . U ovom primeru biće izvršen proračun poštujući materijalnu nelinearnost. Kada u konstrukciji napon u nekom preseku značajno poraste dolazi do promene krutosti konstrukcije. U tom trenutku odnos napon-dilatacija više nije linearan. Cilj je da se sada nelinearni odgovor konstrukcije proračuna sistemom linearnih jednačina. Jedan od načina je da se opterećenje podeli pa da se na konstrukciju nanosi postepeno i da se vrši korekcija matrice krutosti na kraju svakog koraka. Problem kod ovakog načina proračuna je akumulacija greške (*Slika 1*).



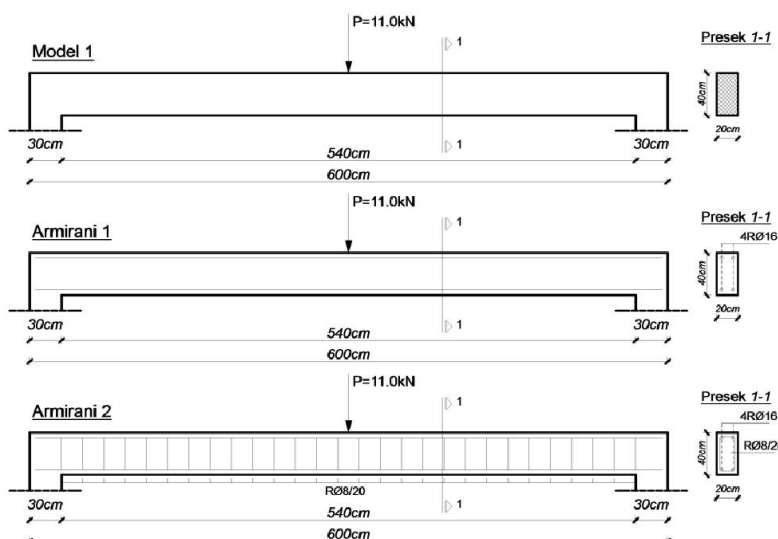
Slika 1. Razlika proračunatih i stvarnih vrednosti u nelinearnoj oblasti

ANSYS koristi Newton-Raphson-ov numerički metod, koji se, u najkraćim crtama, sastoji u postepenom (inkrementalnom) nanošenju opterećenja na konstrukciju, ispisivanje jednačina ravnoteže za svaki inkrement opterećenja i rešavanje jednačine ravnoteže  $[K_T]\{\Delta U\}=\{F\}-\{F^{nr}\}$ .

Na osnovu prethodnog, za već definisane karakteristike materijala (modul elastičnosti, radni dijagram...), proračun u nelinearnom domenu u programu ANSYS sastoji se u definisanju jednog ili više koraka opterećenja i definisanju više podkoraka (*substeps*).

### 3. KARAKTERISTIKE MATERIJALA I MODELA

U klasičnoj teoriji konstrukcija, koja je prilagođena svakodnevnoj inženjerskoj potrebi, čini se niz idealizacija, kako geometrijskog tako i materijalnog modela. U linearnom proračunu materijalne karakteristike su definisane sa nekoliko parametara, modulom elastičnosti ( $E$ ), Poisson-ovim koeficijentom ( $\nu$ ), koeficijentom termičkog širenja ( $\alpha$ ). Pretpostavlja se da je materijal izotropan i homogen. Ponašanje pod pritiskom se znatno razlikuje od ponašanja kada je beton zategnut. Kada se na sve ovo doda armatura (poprečna i podužna) sa svojim mehaničkim karakteristikama, jasno je da je materijal daleko i od homogenih i od izotropnih karakteristika.

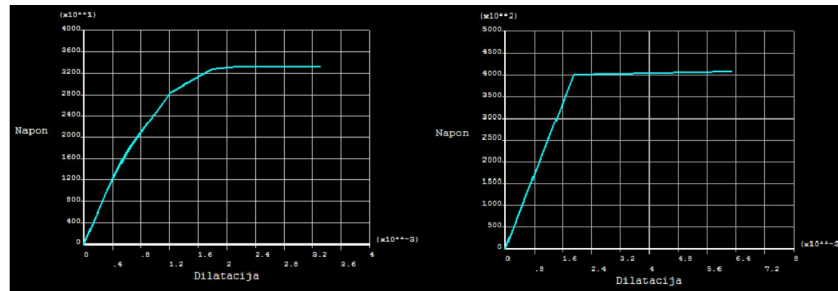


Slika 2. Karakteristike modela tretiranih u analizi

U skladu sa usvojenim pretpostavkama dobijamo i stepen tačnosti rezultata proračuna. Heterogenost materijala, u određenoj meri, u ANSYS-u moguće je postići modeliranjem armature unutar betonskog preseka. U razmatranje su uzeta dva slučaja elementa sa armaturom (slika 2). Za modeliranje betonskog peseka korišćen je SOLID65 konačni element, a za modeliranje armature BEAM188. Detaljnije o ovim tipovima elemenata može se videti u [3].

Da bi o mogućili pojavu prslina i mrvljenja u betonu, neophodno je da definišemo radni dijagram, kako betona, tako i armature u nelinearnoj oblasti. Radni dijagram betona za

C20/25 (prema EC2, oznake predstavljaju čvrstoću betona na pritisak, i to 20MPa za standardnu kocku dimenzija 150x150x150mm, odnosno 25MPa za standardni cilindar prečnika 150mm i visine 300mm) računa se prema [4] (slika 3- levo). Sličan problem je analiziran u radu [5].



Slika 3. Radni dijagram betona (multilinearan)- levo i čelika (bilinearan)- desno

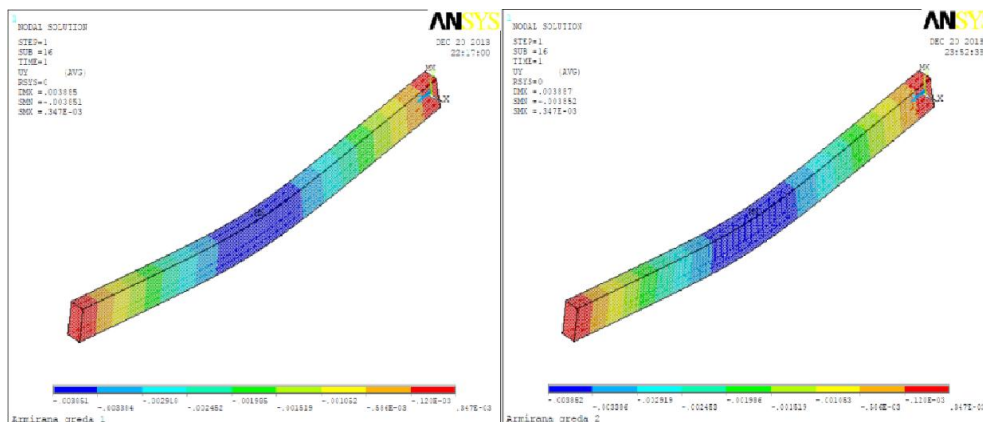
Da bi pratili razvoj prslina i mrvljenja u betonskom preseku, potrebno je definisati još i sledeće parametre i njihove brojne vrednosti:

- koeficijent prenosa smicanja kod otvorene prsline je 0,4 ;
- koeficijent prenosa smicanja kod zatvorene prsline je 0,8 ;
- čvrstoća pri zatezanju je 2000.0 kN/m<sup>2</sup> ;
- čvrstoća na pritisak je 33300.0 kN/m<sup>2</sup>.

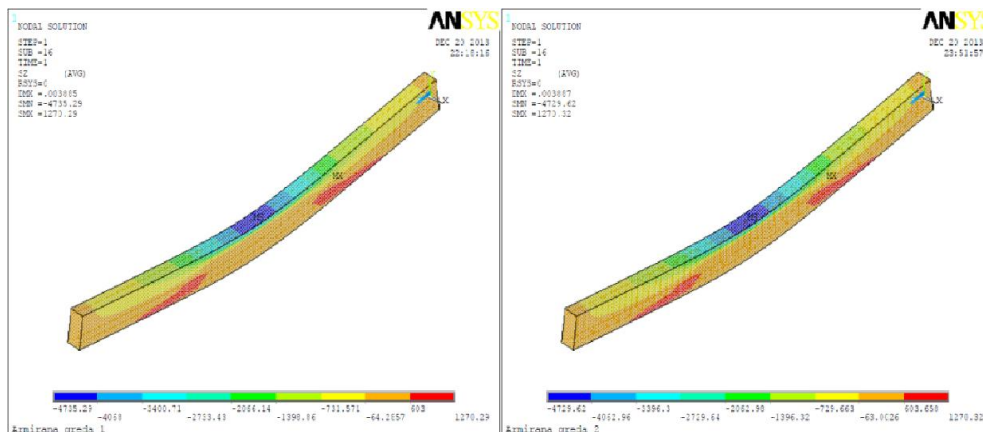
Neophodno je definisati i mehaničke karakteristike armature. Pretpostavljna je rebrasta armatura R400/500. Modul elastičnosti, kao i Poisson-ov koeficijent su usvojeni kao za čelik,  $E=2.10 \times 10^8$  kN/m<sup>2</sup>,  $\nu=0.30$ , dok je za rad armature u nelinearnoj oblasti definisan bilinearni radni dijagram (Slika 3-desno),sa granicom tečenja  $f_y=4.0 \times 10^5$  kN/m<sup>2</sup>, i drugim modulom elastičnosti veličine  $E_b=0.01E$ .

#### 4. REZULTATI ANALIZE

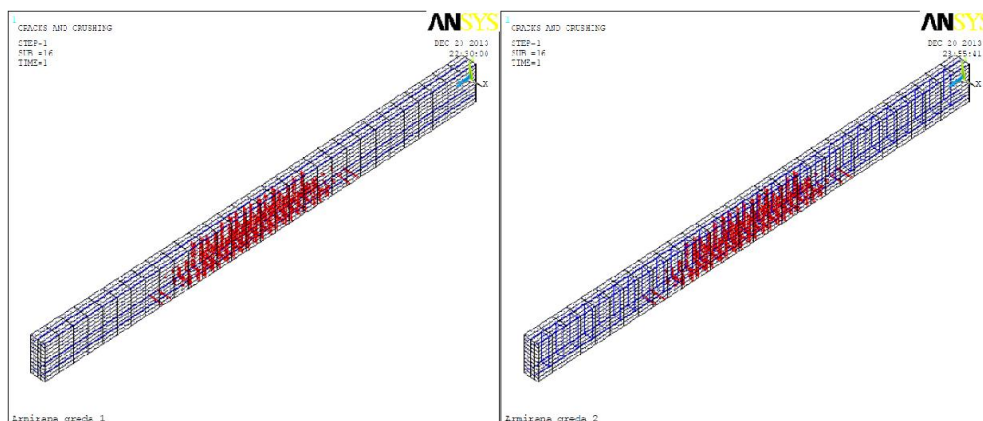
Na slikama koje slede dati su rezultati proračuna tako što je sa lijeve strane slike model bez uzengija, a sa desne strane model sa uzengijama (da bi mogle da se, u određenoj meri, vide šipke od armature, solid elementi su prikazani kao transparentni).



Slika 4. Pomeranja Uy za nosače Armirani 1 i Armirani 2 (P=11.0kN) [m]



Slika 5. Normalni naponi  $\sigma_z$  za nosače Armirani 1 i Armirani 2 ( $P=11.0kN$ ) [ $kN/m^2$ ]



Slika 6. Prva prslina za nosače Armirani 1 i Armirani 2 ( $P=11.0kN$ )

U ovom delu rada upoređeni su rezultati proračuna modela 1, Armirani 1 i Armirani 2 u linearnom domenu pod dejstvom sile od  $11.0kN$ . U materijalnim modelima su zadati samo moduli elastičnosti i *Poisson*-ovi koeficijenti za beton i armaturu. Rezultati proračuna su dati kao tabelarni prikaz maksimalnih vrednosti u Tabeli 1. Na osnovu proračunatih vrednosti može se videti da su razlike kod armiranih modela zanemarljive dok je razlika u rezultatima nearmiranog i armiranih modela značajna.

Razlike u pomeranjima i naponima za nearmirane i armirane modele				
	Model Narm.	Model Arm.	$\Delta_{aps}$	$\Delta_{rel}$ [%]
Pomeranja [m]	6.630E-04	5.980E-04	6.500E-05	9.804
Naponi [ $kN/m^2$ ]	1523.53	1290.53	233.000	15.293

Tabela 1. Razlike u pomeranjima i naponima nearmiranih i armiranih modela

## 5. ZAKLJUČAK

Komparacijom naponsko-deformacijskog stanja armiranih i nearmiranih modela dolazimo do očekivanih rezultata da su ugibi i naponi manji kod armiranih nego kod nearmiranog nosača, što se moglo očekivati, jer će određeni deo opterećenja preuzeti armatura. Razlike u rezultatima armiranih modela nisu velike, što je prikazano u analizi rezultata, čak ni kada su u pitanju smičući naponi. Razlog je u debljini uzengije i njihovom međusobnom razmaku.

Upotreba elemenata SOLID65 i BEAM188 je bila odgovarajuća za ovakav problem zato što svaki od ove dve vrste elemenata na adekvatan način simulira ponašanje željenog materijala i elementa. Armatura se može modelirati i upotrebom LINK elemenata.

## LITERATURA

- [1] Nakasone, N., Stolarski, T. A., Yoshimoto, S.: Engineering analysis with ANSYS Software, Elsevier Butterworth-Heinemann, Linacre House, Jordan Hill, Oxford, **2006**.
- [2] **Madenci, E., Guven, I.**: The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS®, Springer, XVI, **2006**.
- [3] ANSYS 14 Help: Mechanical APDL/Element Reference/Element Library/
- [4] Băetu, S. , Ciongradi, I.P.: Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Slit Walls with ANSYS (I), BULETINUL INSTITUTULUI POLITEHNIC DIN IAȘI, Publicat de Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, **2011**, Tomul LVII (LXI), Fasc. 1, str. 31-45.
- [5] Barbosa, A., Ribeiro, G.: Analysis of reinforced concrete structures using ANSYS nonlinear concrete model. COMPUTATIONAL MECHANICS - New Trends and Applications, **1998**, Eds. S. Idelsohn, E. Oñate and E. Dvorkin , Barcelona, Spain

## NONLINEAR ANALYSIS OF RC GIRDER WITH APPLICATION OF ANSYS SOFTWARE PACKAGE

*Summary: The simplest static system that is used in structural engineering today (bridges, large span industrial buildings ) is a single beam . Such concrete girders are usually loaded with continuous load , but it often happens that they are transferring large concentrated forces. These are the spots of high stress concentration which caused sometimes negative consequences in the design, if not considered. By the analysis of the girders through the software package ANSYS and its modeling using the finite element method (FEM) , we get a more detailed view of influence of concentrated loads on a concrete girder. The nonlinear behavior of the structure must be taken into consideration when stresses in any part of the structure exceeded the limit of proportionality (material nonlinearity) or when the deformation of the girder reach that value to their size has a significant effect on the change of the stress-strain state of the*

*structure (geometric nonlinearity). The problem to be analyzed in this paper, a comparative analysis of the stress state, deformation and other results for the three reinforced concrete beams static system simple beam. The emphasis is on the difference in the response of the structure due to the linear and nonlinear analysis and modeling method of reinforcement.*

**Keywords:** RC beam, nonlinear analysis, stress state, cracks, deformations