

NELINEARNA ANALIZA STABILNOSTI OKVIRNIH NOSAČA

Stanko Ćorić¹

Rezime U ovom radu ukratko je prikazan sadržaj istraživanja koji će biti sastavni deo doktorske disertacije. Predmet istraživanja predložene disertacije je numerička simulacija problema stabilnosti okvirnih nosača u elastičnoj i neelastičnoj oblasti. Postojeći način proračuna konstrukcija, na osnovu aktuelnih propisa, ne uzima u obzir mogućnosti savremenih kompjutera koji su dostupni građevinskim inženjerima. Zato se u ovom radu analizira mogućnost nelinearne analize okvirnih nosača u celini. Numerička analiza će biti obavljena korišćenjem kombinacije komercijalnog softvera i sopstvenog programa.

Ključne reči Stabilnost konstrukcija, dužina izvijanja, nelinearna analiza

Summary The research related to work on my doctoral thesis is presented in this paper. The basic subject of proposed PhD research is related to the numerical simulation of elastic and non-elastic stability analysis of frame structures. The existing structural codes neither observe the structural stability of frame structures in general and nor take into account the contemporary potential available for structural engineers. So, the global nonlinear stability analysis of the frame structures is suggested. This numerical analysis will be performed using the suitable combination of commercial software and the corresponding home-made programming.

Key words Stability of structures, effective length, nonlinear analysis

¹ mr Stanko Ćorić, asistent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

1. PREDMET I CILJ ISRAŽIVANJA

Predmet istraživanja buduće doktorske disertacije je analiza stabilnosti okvirnih nosača u elastičnoj i neelastičnoj oblasti, tačnije odgovarajuća numerička simulacija pomenutih problema. Takođe, biće razmatrani i slučajevi ekscentričnih i polukrutih veza u pomenutim problemima. Navedena analiza će biti obavljena klasičnim statičkim, ali takođe i dinamičkim pristupom.

Poznato je da se klasičan proračun stabilnosti, odnosno dužine izvijanja pritisnutih štapova okvirnih nosača bazira na korišćenju empirijskih izraza. U ovom radu će se istraživati nove metode proračuna koje treba da omoguće tačniju analizu ovog problema.

Kao što je dobro poznato, pri proračunu pritisnutih elemenata konstrukcije mora se voditi računa i o fenomenu stabilnosti. Naime, iako u pritisnutim štapovima nisu prekoračeni dozvoljeni naponi, usled pojave njihove nestabilnosti može doći do kolapsa čitave konstrukcije. Rizik od pojave gubitka stabilnosti kod savremenih građevinskih konstrukcija je sve veći, pošto se teži izgradnji sve smelijih i vitkijih objekata, posebno kada su u pitanju čelične konstrukcije. Betonske konstrukcije takođe mogu biti osetljive na problem stabilnosti, tako da je u svakom slučaju neophodno obaviti pouzdanu analizu stabilnosti pri proračunu ovakvih nosača.

Aktuelni domaći i evropski propisi (Evrokodovi) ne analiziraju stabilnost okvirnih nosača u celini, a takođe ne uzimaju ni u obzir mogućnosti savremenih kompjutera koji su dostupni građevinskim inženjerima. Naime, akteulni propisi se baziraju na konceptu analize stabilnosti pojedinih štapova okvira, kao i proračuna dužine izvijanja pritisnutog štapa koji se posmatra izdvojeno od čitave konstrukcije. To praktično znači da se razmatra stub koji je „izdvojen“ iz okvirnog nosača, a koji je elastično uklješten, odnosno oslonjen, samo na stubove i grede koji su u njegovoj neposrednoj okolini. Jedino se u najnovijoj verziji evropskih propisa za čelične konstrukcije (EC 3) spomogne mogućnost analize konstrukcije u celini, ali se ne daje način i postupak kako taj proračun treba da se obavi. U toku istraživanja ovog problema urađeni su mnogi primeri da bi se videlo kolika se greška čini korišćenjem približnih rešenja iz propisa. Zaključeno je da posmatranje izolovanog pritisnutog elementa, kao što je prikazano u propisima, dovodi do značajnih grešaka, koje često nisu na strani sigurnosti, u odnosu na tačno rešenje. To tačno rešenje moguće je dobiti primenom globalne analize

stabilnosti i određivanjem kritičnog opterećenja okvirnog nosača u celini. Na osnovu tako određenog opterećenja, zatim treba sprovesti proračun dužina izvijanja pojedinačnih stubova okvira.

Navedenu globalnu analizu konstrukcije potrebno je obaviti uz pomoć adekvatnog kompjuterskog programa. Ali, sa druge strane, ta analiza koja se obavlja korišćenjem odgovarajućih komercijalnih programa na bazi metode konačnih elemenata u pojedinim slučajevima ne daje dovoljno tačne rezultate. Za inženjera projektanta krajnje je uobičajna procedura da napravi numerički model čitave konstrukcije sa modeliranjem svih potrebnih detalja, kako za statički tako i za dinamički proračun. Zbog svega toga, trebalo bi očekivati od inženjera da može da obavi analizu i proveriti stabilnosti pritisnutih elemenata istovremeno sa ostalom analizom konstrukcije.

U nekim slučajevima, analiza stabilnosti koja odgovara aktuelnim domaćim ili međunarodnim propisima je sastavni deo komercijalnih kompjuterskih programa. To znači da se analiza obavlja za slučaj izolovanog pritisnutog elementa, striktno poštujući formule koje su predložene u propisima sa svim svojim nedostacima i greškama koje se javljaju.

U slučaju takzvanih programa opšte namene (koji nisu pre svega orijentisani za građevinske inženjere) ovakav tip analize nije zastupljen. Znači ovi programi, koji su bazirani na metodi konačnih elemenata, kao na primer ANSYS, MSC Nastran, ADINA, itd. pri analizi stabilnosti konstrukciju mogu proračunavati u celini, pri tome korestići geometrijski nelinearnu teoriju. Treba napomenuti da ovi opšte orijentisani složeni programi mogu da se koriste za rešavanje skoro bilo kojeg inženjerskog problema. Tako može da se analizira ne samo bifurkaciona stabilnost i određuje kritična sila sistema, nego i da se proračunava ponašanje konstrukcije u slučaju velikih deformacija itd. Može se istaći da korišćenje ovakvih složenih kompjuterskih programa zahteva posebno znanje i obučenost, i zbog toga oni nisu dovoljno praktični za korišćenje u svakodnevnom radu inženjera projektanta.

Pojedini komercijalni programi koji se koriste za sveobuhvatnu analizu i projektovanje konstrukcija, kao npr. STAAD, DIANA ili SOFISTIK, imaju mogućnost analize izvijanja koja je bazirana na analizi celog nosača i korišćenju geometrijske matrice krutosti kao dela matrice krutosti elemenata. U primeni kod linijskih konačnih elemente, interpolacione funkcije su korišćene u obliku polinoma, zato što su dobijene kao rešenja diferencijalnih jednačina savijanja grede prema

linearnoj teoriji. U tom slučaju, linearna analiza izvijanja se svodi na dobro poznat generalisani problem sopstvenih vrednosti. U tom slučaju, u želji da se dobiju prihvatljivo tačna rešenja za kritično opterećenje čitave konstrukcije, kao i odgovarajući oblici izvijanja, potrebno je usvojiti dovoljan broj konačnih elemenata za svaki posmatrani stub ili gredu. Možda to ne predstavlja veliki problem s' obzirom na moćne računare koji su nam danas dostupni, ali svakako se uvek postavlja pitanje da li je usvojen broj elemenata dovoljan i kolika se greška čini pri takvom proračunu.

Sa druge strane, interpolacione funkcije se mogu dobiti kao rešenja diferencijalne jednačine savijanja po teoriji drugog reda. Takva rešenja se dobijaju kao trigonometrijske ili hiperboličke funkcije zavisne od aksijalne sile u posmatranom elementu. Kritično opterećenje se nalazi kao koren transcendentne jednačine koja predstavlja uslov da je determinanta odgovarajuće globalne matrice krutosti celog sistema jednaka nuli. Prednost ovakvog pristupa je u tome što je samo jedan konačni element dovoljan za modeliranje svakog stuba ili grede, tako da je ukupan broj elemenata 5-10 puta manji nego kod klasičnog pristupa baziranog na metodi konačnih elemenata i geometrijske matrice krutosti (kod prostornih problema ova razlika može biti i značajnija). Poteškoće kod ovakvog pristupa mogu se javiti pri numeričkom rešavanju problema. Naime, umesto problema sopstvenih vrednosti za koji postoje dobro poznate i utemeljene metode rešavanja (kao npr. Lanczos-ov postupak), u ovom slučaju se problem izvijanja svodi na rešenje transcendentne jednačine koja je u funkciji od normalnih sila u elementima.

Tako će važan aspekt istraživanja pri radu na ovoj doktorskoj disertaciji biti posvećen nalaženju pogodnih numeričkih metoda koje dovode do rešenja pomenutih transcendentnih jednačina stabilnosti. Te metode će prvo biti testirane na jednostavnijim ravanskim problemima, a posle i na složenijim prostornim problemima. Kada bude formulisan adekvatan algoritam, planira se mogućnost da se analiziraju i slučajevi sa ekscentričnim i polukrutim vezama. Takođe je značajno na bazi svega ovoga analizirati i neelastično ponašanje, i to probleme stabilnosti u elasto plastičnom ili čak plastičnom domenu.

Sve ovo do sada pomenuto predstavlja statički pristup problemima bifurkacione stabilnosti. Kao što je dobro poznato, postoji takođe i dinamički pristup analizi koji isto tako može da se razmatra u okviru ovog istraživanja. U ovom slučaju kritična

opterećenja će biti dobijena iz uslova najmanje, t.j. nulte sopstvene frekvencije sistema.

2. REALIZACIJA ISRAŽIVANJA

Numerička analiza ovih problema biće obavljena korišćenjem pogodne kombinacije komercijalnih programa i odgovarajućeg sopstvenog programa. Naime, između više mogućih softvera (ANSYS, ABAQUS, ...) odlučeno je da se u radu koristi program DIANA, zato što Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu ima licencu za njegovo korišćenje. Bitno je naglasiti da ovaj program ima mogućnost da u svoj programski kod integriše potprograme napisane od strane korisnika (napisane u Fortranu ili C++). Čini se da je ovakav pristup najracionalniji zato što treba iskoristiti mogućnosti aktelnih programa za obimnu numeričku analizu, a posebno za faze pre- i postprocesiranja. Dopisani potprogrami za program DIANA će biti pre svega korišćeni za formulaciju odgovarajućih matrica krutosti prema teoriji drugog reda. Naime, ideja je da se koriste trigonometrijske i hiperboličke funkcije kao tačna rešenja odgovarajućih diferencijalnih jednačina savijanja pritisnutih i zategnutih štapova u formulaciji matrica krutosti.

3. ZNAČAJ ISRAŽIVANJA

Analiza stabilnosti okvirnih nosača, kako kod čeličnih tako i kod betonskih konstrukcija, predstavlja značajan aspekt u praksi građevinskih inženjera pri projektovanju konstrukcija. Glavni cilj ovog naučnog istraživanja je da formulišu pogodne metode i načini proračuna koji bi dali efikasnija i pouzdanija rešenja za analizu stabilnosti i određivanje dužina izvijanja štapova okvirnih nosača, koje su značajan parametar u postupcima dimenzionisanja posebno čeličnih nosača.

LITERATURA

- [1] Ćorić, S. (2006) Prilog određivanju dužina izvijanja stubova okvirnih nosača. Beograd, magistarski rad
- [2] Sekulović, M. (1991) Matrična analiza konstrukcija. Beograd, Građevinska knjiga
- [3] Timoshenko, S., Gere, J. (1961) Theory of Elastic Stability. McGraw-Hill Kogakusha Ltd.
- [4] Baznat, Z., Cedolin, L. (2003) Stability of Structures. Dover Publication
- [5] Allen, H.G., Bulson, P.S. (1980) Background to Buckling. McGraw-Hill