

HRVATSKI I EUROPSKI PRISTUP POTRESNOJ OTPORNOSTI NEPOKRETNIH KULTURNIH DOBARA - ODGOVOR AUTORA (3)

Prof. dr. sc. **Dražen Aničić**, dipl. ing. grad.

Autor se zahvaljuje J. Dvorniku, D. Lazareviću i Z. Despotu (u daljnjem tekstu DLD) na interesu [1] koji su pokazali za njegov članak [2] kao i na njihovim komentarima. Ujedno podržava uredništvo, koje je nakon duljeg vremena ponovno otvorilo rubriku "Reagiranja", u kojoj se razjašnjavaju eventualno sporna pitanja iz objavljenih stručnih ili znanstvenih članaka. Na 37 "spornih" redaka iz poglavlja *Modeliranje i proračun* autorova članka [2] DLD odgovaraju širim obrazloženjima, pa će i autor pokušati odgovoriti približno istom količinom argumenata.

DLD smatraju da je kritika rada Lazarevića i Despota (u daljnjem tekstu LD) [3] "neutemeljena" te da su primjedbe autora "promašene", posebno u odnosu na metodu konačnih elemenata (MKE). Autoru je metoda konačnih elemenata dovoljno poznata, pa mu cilj nije bio obezvrijediti ju kao metodu, što bi zaista bilo "promašeno". Autor je u sklopu razmatranja modeliranja i proračuna zidanih (kamenih) konstrukcija htio ukazati na opasnosti njene *neprijemljive primjene*, što je po njegovu mišljenju očito učinjeno u radu LD [3]. Pošto mu je poznato da su na isti način načinjeni i projekti obnove još nekih kamenih zgrada u Dubrovniku, želio je upozoriti na načinjene propuste kako se pogreške pri sanaciji nepokretnih kulturnih dobara ne bi ponavljale.

Koja je, uostalom, svrha modeliranja i proračuna nosive konstrukcije? Prema ENV 1991:1994, t. 7.1, [4] "proračune treba provesti prikladnim računskim modelima, uključujući mjerodavne varijable. Modeli trebaju biti prikladni za predviđanje ponašanja konstrukcije i razmatranih graničnih stanja". A u radu [3], primjenom MKE za djelovanje potresnih i gravitacijskih sila, proračunana su odvojeno naprezanja u kamenu i u mortu, te su dobivene vrijednosti uspoređene s dopuštenim vrijednostima naprezanja tih materijala. Takvim se načinom ne mogu predvidjeti ni ponašanje zidane konstrukcije ni njena granična stanja. Autor smatra da je ovakav pristup pogrešan, te stoga i piše o "opasnosti" takvog računskog modeliranja (zidane) zgrade. Time, naravno, ne želi diskreditirati samu MKE.

Svakome tko je bar jednom vidio način na koji dolazi do sloma tlačno opterećenog zidanog zida mora postati jasno da se za izračunavanje granične nosivosti zida ne mogu jednostavno rabiti granične vrijednosti čvrstoća komponentnih gradiva (morta i zidnog elementa, u ovom slučaju kamena), što je kod armiranog betona

uobičajeno. I dok se kod armiranog betona, upravo radi povezanosti dvaju gradiva sve do sloma, granična nosivost tlačno opterećenog presjeka proračunava po izrazu $N_u = A_c f_c + A_s f_s$, gdje su s "A" označene ploštine betona odnosno čelika, a s "f" računске vrijednosti granica popuštanja tih gradiva, kod zida to nije moguće. Granična se nosivost zida kao kompozitnog materijala nikada ne proračunava iz graničnih vrijednosti morta i zidnog elementa, već se određuje isključivo pokusom. Sve formule za proračun granične nosivosti zida dane u ENV 1996-1-1 [5] i drugdje nastale su obradom više stotina eksperimentalnih podataka. Stoga formula za tlačnu čvrstoću zida ima oblik $f_z = K \cdot f_b^\alpha \cdot f_m^\beta$ gdje je f_b tlačna čvrstoća zidnog elementa, a f_m tlačna čvrstoća morta, dok u K, α i β konstante proizašle iz rezultata pokusa. Formula vrijedi samo u granicama provedenih pokusa i ne može se ekstrapolirati. Kako bi DLD objasnili činjenicu da se npr. za tlačnu čvrstoću kamena od 81 MPa i tlačnu čvrstoću morta od 7,3 MPa pokusom dobiva tlačna čvrstoća zida od samo 6,0 MPa? Što bi predstavljala usporedba naprezanja koje uzrokuje opterećenje potresnim silama i dopuštenog naprezanja kamena ili morta u takvom slučaju i što bi to značilo za ocjenu nosivosti zida?

Za tlačnu čvrstoću zida, koja je najčešće mjerodavna za određivanje nosivosti zida pri djelovanju potresnih sila, za sada u svijetu ni ne postoji formula koja bi povezivala tlačna svojstva sastavnih gradiva (morta i zidnog elementa) i zida. Niti jedan svjetski tehnički propis koji obrađuje proračun zidanih konstrukcija ne predviđa odvojeno dokazivanje nosivosti morta i zidnog elementa, pa ni ENV 1996-1-1. Uvijek se promatra zid kao cjelina. Što, dakle, znači usporediti proračunana tlačna naprezanja u kamenu i u mortu s tlačnim čvrstoćama tih gradiva?

Autor je ispravno shvatio da su u radu [3] elementi morta i elementi zida razdvojeni u dva podmodela (slike 8 i 9 u radu [3]), ali i da su oni monolitno povezani, te je ispravno zaključio da je "zanemarena veza prionljivosti" tj. popustljivost između dvaju gradiva, dakle da ona nije posebno modelirana, a ne da uopće ne postoji, kako su to u njegovu radu "pročitali" DLD. A kako su popuštanje veze između dvaju sastavnih gradiva i volumenska deformabilnost zida bitni za njegovo ponašanje pri opterećenju, autor je zaključio da je model po MKE neprikladan. Stoga je i napisao da "rezultati proračuna dobive-

ni takvim postupkom nemaju nikakvog utemeljenja na fizikalnim svojstvima i ponašanju zida u potresu". Zato i objašnjenje DLD u [1] da je volumenska deformabilnost u elementima tipa *plate-shell* uzeta u obzir u konstitutivnim jednadžbama sastavnih materijala (tj. kamena i morta) ima fizikalno utemeljenje za model koji su DL usvojili u radu [3], ali to ne potvrđuje da je takav računski model dobar za zide.

Autoru je, nadalje, poznato da svi danas tržišno dostupni računalni programi koji uključuju MKE imaju mogućnosti proračuna po nelinearnoj teoriji, pa mu to DLD nisu trebali pripočiti te ga upućivati na "temeljnu literaturu". No primjena tih opcija programa kod zidanih konstrukcija zahtijevala bi uključivanje konstitutivnog modela zida koji DL nisu u radu [3] primijenili. Oni, dapače, nisu primijenili ni odvojene nelinearne konstitutivne modele za kamen odnosno mort, već su "zastali" na linearnom proračunu. Ovo autor ne smatra nedostatkom rada [3] te je suglasan s DLD da proračun unutarnjih sila s pomoću linearno elastičnih modela i dalje ostaje uobičajenim postupkom. Ipak, usporedba graničnih vrijednosti unutarnjih sila (ili naprezanja po MKE) s graničnim vrijednostima nosivosti zida bila bi na tragu suvremenih zahtjeva.

"Dopuštena naprezanja" su DL u radu [3] zaista odredili "proizvoljno", tj dijeleći čvrstoće morta i kamena dobivene pokusom na građevini s koeficijentom sigurnosti

$\gamma=1,5$ (usporedi tablice 1 i 3 u [3]), vjerojatno slijedeći odredbu čl.15. Pravilnika [6] koja se odnosi na zidane konstrukcije tj. na zide, ali ne i posebno na mort odnosno na kamen. Time su ponovili svoju polaznu pogrešku: uspoređivali su računom dobivena naprezanja dobivena po MKE u mortu i u kamenu s pogrešno određenim "dopuštenim" vrijednostima naprezanja tih gradiva, umjesto da su promatrali zid.

O modeliranju zidane konstrukcije opterećene horizontalnim silama i primjeni "proračuna postupnim guranjem" (engl. push-over analysis) višekratno je raspravljeno u ranijim objavljenim radovima (npr. [7], [8], [9]) pa autor smatra nepotrebnim proširivanje rasprave objašnjavanjem DLD ovog postupka. Ipak, ne radi se o metodi konačnih elemenata!

I na kraju, autor, koji ovu raspravu smatra dovršenom, ali je voljan raspraviti s kolegama njihova eventualna daljnja pitanja u izravnom kontaktu, želi radi izraženih suprotstavljenih stajališta o mogućnostima i potrebi modeliranja i proračuna zidanih konstrukcija citirati nepoznatog pisca (po [10]) :

"Građevno konstrukterstvo je umjetnost uporabe gradiva kojih se svojstva mogu samo procijeniti, radi građenja konstrukcija koje se mogu samo približno proračunati, da bi prenijele sile koje nisu točno poznate - tako da naša odgovornost za javnu sigurnost bude potpuna."

LITERATURA

- [1] Dvornik, J., Lazarević, D., Despot, Z.: *Hrvatski i europski pristup potresnoj otpornosti nepokretnih kulturnih dobara* (2), *Građevinar* 52 (2000), 2, 99-101
- [2] Aničić, D.: *Hrvatski i europski pristup potresnoj otpornosti nepokretnih kulturnih dobara*, *Građevinar* 52 (2000), 1, 1.-7.
- [3] Despot, Z., Lazarević, D.: *Projekt obnove palače Đorđić u Dubrovniku*, *Građevinar* 50 (1998) 12, 709.-717.
- [4] ENV 1991-1:1994, Osnove proračuna i djelovanja na konstrukcije, dio 1: *Osnove proračuna*
- [5] ENV 1996-1-1:1995, Proračun zidanih konstrukcija, dio 1-1: *Opća pravila za zgrade. Pravila za armirano i nearmirano zide*

- [6] Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima, Sl. list SFRJ 31/81
- [7] Aničić, D., Tomažević, M.: *Konstruiranje i proračun zidanih zgrada*, Dio II, *Građevinski kalendar* 1991, SGITJ, Beograd, 1990, str. 9-109, t. 8.2.4
- [8] Tomažević, M., Weiss P.: *Seismic behavior of plane- and reinforced masonry buildings*, *J. of Struct. Eng.*, 120 (1994), 2, pp 323-338, ASCE
- [9] Tomažević, M.: *Recent Advances in Earthquake-resistant Design of Masonry Buildings: European Perspective*, Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico, 1996, Elsevier Science Ltd, Paper 2012, CD-ROM
- [10] Wilson, E.L.: *Three dimensional static and dynamic analysis of structures*, Computers and Structures, Inc., Berkeley, CA, 1996

Napomena Uredništva!

Autor na početku svog odgovora izražava podršku uredništvu "koje je nakon duljeg vremena ponovno otvorilo rubriku "Reagiranja" ...". Uredništvo želi ovom prigodom upozoriti da rubriku "Reagiranja" nije "ponovno otvorilo" nego je ta rubrika **permanently otvorena**, ali se za nju rijetko pojavljuju prilozi, pa stoga može izgledati kao da se samo povremeno otvara. Često se, međutim, pojavljuju utemeljene usmene primjedbe na pojedine članke i druge priloge objavljene u časopisu. U svim takvim slučajevima Uredništvo je ponudilo objavljivanje reagiranja. Nažalost, na takve ponude nije bilo odaziva.