

Proračun ponašanja u potresu armiranobetonskih postojećih i nadograđenih zgrada

Shala Alush¹, doc.dr.sc. Jelena Bleiziffer ²

¹Alb-Architect d.o.o Prishtina, alushshala@albarchitect.com

²Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, jbleiziffer@grad.hr

Sažetak

U radu je prikazan proračun postojeće zgrade s dvoetažnom nadgradnjom. Proveden je potresni proračun triju modela i analizirana uključenost starog betona u nosivost. Za potrebe proračuna korišteni su rezultati ispitivanja betona postojeće konstrukcije te geomehanička ispitivanja temeljnog tla. Primjer prikazan u radu služi kao polazište za definiranje programa istraživanja kojim bi se razradila metodologija za analizu u slučaju nadogradnje, osobito kroz istraživanja zajedničkog djelovanja stare i nove konstrukcije.

Ključne riječi: nadgradnja, nosivost, numerički model, stari beton, potres

Analysis of existing reinforced concrete buildings and buildings with additional floors under seismic load

Abstract

The paper presents the analysis of an existing building with an addition of two floors. Seismic analysis was carried out on three different models. Results obtained by concrete compressive strength testing and geotechnical testing were included in the calculations. The discussion presented in this paper serves as a starting point for defining a research programme aimed at developing methodology on how to approach such works, with an emphasis on the study of interaction between new and old structures.

Key words: additions to buildings, load-carrying capacity, numerical model, old concrete, earthquake

1 Uvod

Modalni i potresni proračun često su odlučujući za određivanje nosivosti postojeće zgrade. Modalnim proračunom određuju se dinamički parametri zgrade kao što su period, frekvencija i drugi potrebni za daljnju analizu i konačni projekt. Nakon definiranja dinamičkih parametara određuje se potresni odziv, odnosno odgovarajuće unutarnje sile [1]. Dodatno pitanje kod postojećih konstrukcija odnosi se na trajnost konstrukcije u cjelini te njenih pojedinačnih elemenata, pa će duljina i uvjeti njihove prethodne uporabe (uključivo izlaganje klimatskim utjecajima) imati utjecaja na iznalaženje primjerenog projektnog rješenja sanacije odnosno nadogradnje. Veza između elemenata u konstrukciji nije samo statički proces. To je i vremenski proces u kojem se odnos mijenja u funkciji vremena [2], a sudjelovanja starih elemenata u otpornosti i stabilnosti građevine uvelike ovisi o upotrebljenim koeficijentima sigurnosti.

Djelovanje potresa je često dominantno za dimenzioniranje [3]. U ovom radu prikazan je proveden numerički proračun jednog objekta, pri čemu su upotrijebljeni rezultati ispitivanja uzetih uzoraka betona te geotehničkih ispitivanja temeljnog tla. Pri proračunu uzeto je u obzir seizmičko djelovanje kao horizontalni spektar 1 prema EC8 [4], opterećenje zgrade s dodatnim katovima i ostala statička vanjska opterećenja prema EC1 i EC2. Kao podloga upotrijebljen je arhitektonski projekt nadogradnje i rezultati ispitivanja provedeni na licu mjesta. Analize modela rađene su računalnim programom temeljenim na modelu konačnih elemenata uzimajući u obzir i konstrukcijsko-inženjersku praksu. U zaključku su uspoređeni rezultati nekoliko modela za promatranim građevinama te komentirane smjernice daljnjih istraživanja.

2 Opis građevine

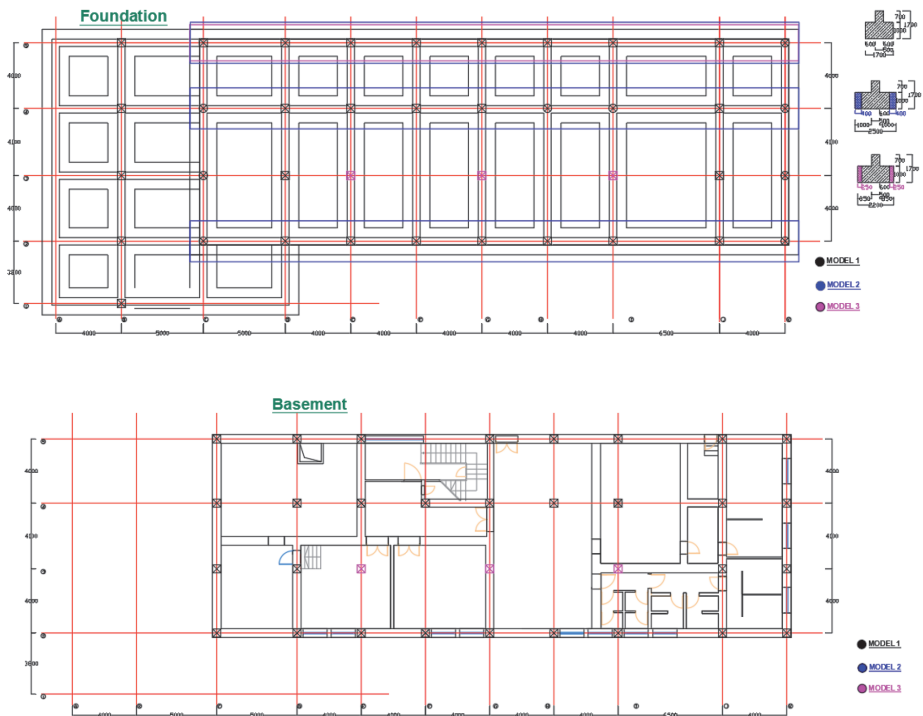
Građevina je dio Ministarstva rada i socijalne skrbi (MRSS) u Prištini, izgrađena 1960-ih godina. Postojeća zgrada ima podrum, prizemlje i dva kata, a sada se ukazala potreba za MRSS da se zbog nedostatka uredskog prostora izvede nadogradnja 2017. godine. Izrađen je Projekt za renoviranje koji u skladu sa zahtjevima Ministarstva uključuje dva dodatna kata. Dimenzije postojeće građevine su $L \times B \times H = 45,00 \times 16,00 \times 13,50$ m. Elementi imaju konstantnu visinu $h = 3,3$ m od poda do stropa; osi su na različitoj udaljenosti od $l_x = 4,0$ m do $l_x = 6,5$ m, dok je u drugom smjeru udaljenost između osi $l_y = 3,80$ m do $l_y = 4,10$ m. Nosiva konstrukcija uključuje AB nosive zidove u podrumu $t = 50$ cm razreda čvrstoće betona C25/30, unutarnje zidne nosače od opeke $D = 50$ cm, AB stupove 50×50 cm razreda čvrstoće betona C35/45 s kružnom spiralnom armaturom te grede dimenzija $b \times h = 50 \times 50$ cm od betona C30/37 oslonjene na stupove. Temelji su izvedeni kao temeljna traka od nearmiranog betona C25/30 u uzdužnom i poprečnom smjeru građevine u obliku obrnutog slova "T", dimenzija $B \times H \times b \times h = 170 \times 160 \times 50 \times 100$ cm. Armatura koja je korištena u građevini je glatka armatura S240/360. Međukat-

na konstrukcija je „Avramenko“ sustav dimenzija $b_1 \times b_2 \times h = 12 \times 15 \times 50 \text{ cm}$ s pločom $d = 5 \text{ cm}$. Razmak rebara je $l_x = 50 \text{ cm}$. Izvedena je od betona razreda čvrstoće C30/37, i oslanja se na grede i uzdužne zidove zgrade.

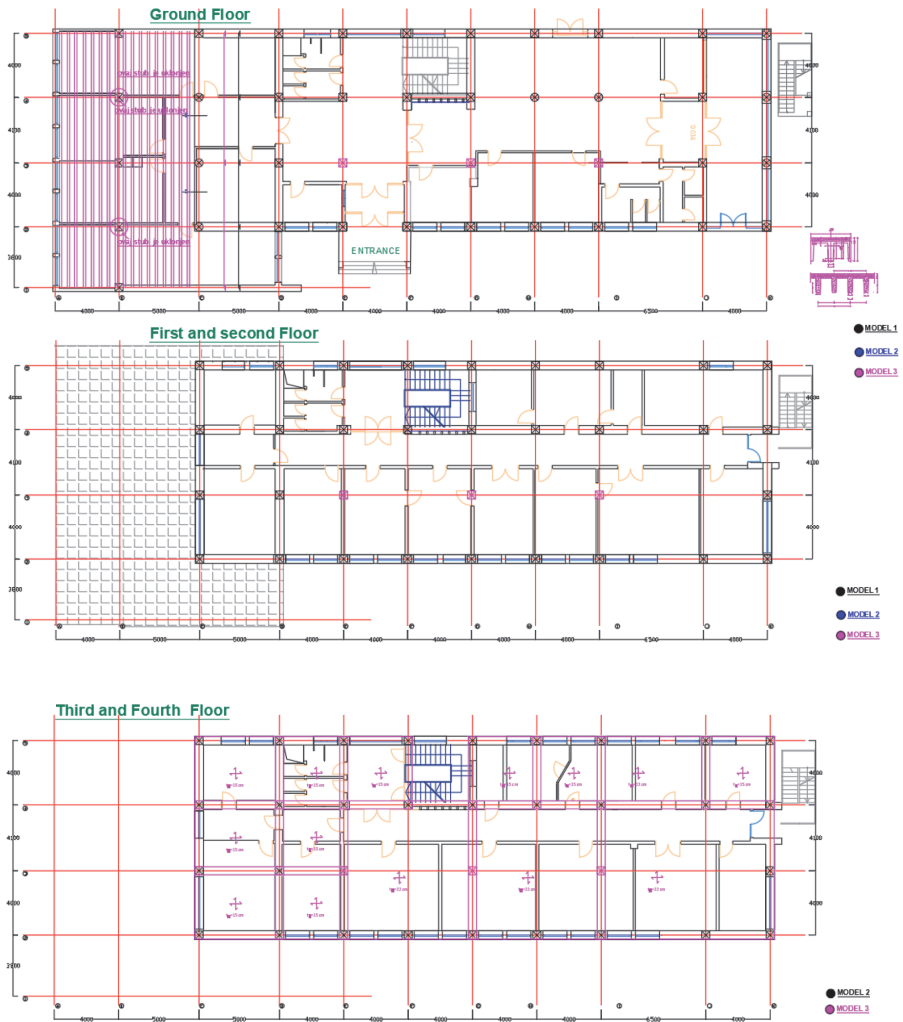
Na slici 1. prikazana je postojeća zgrada. Na slici 2. prikazani su preklopljeni tlocrti različitih analiziranih modela, po pojedinim etažama.



Slika 1. Zgrada Ministarstva rada i socijalne skrbi (MRSS)



Slika 2. Tlocrti zgrada za modele 1, 2 i 3: temelji, podrum, prizemlje, prvi kat, drugi kat te treći i četvrti kat



Slika 2. Tlocrta zgrada za modele 1, 2 i 3: temelji, podrum, prizemlje, prvi kat, drugi kat te treći i četvrti kat

Model predložene varijante nadogradnje koju je investitor odobrio i dostavio gradskom tijelu za građevinsku dozvolu prikazan je na slici 3.



Slika 3. Projektirana građevina

3 Numerički proračun

Razmatrana su tri modela te uspoređeni dobiveni rezultati. Ispitivanjima su određene sljedeće karakteristike postojećih materijala koji se upotrebljavaju u modelima: temelji i zidovi podruma MB 30 = C25/30; stupovi MB 45 = C35/45; međukatni elementi tj. rebrasta ploča je MB 35 = C30/37, armatura je S-240/360, a geomehaničkim ispitivanjima određene su sljedeće karakteristike tla: $q_a = 154,52 \text{ kN/m}^2$, $k_c = 15$, $C = 15 \text{ kN/m}^2$, $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, $\phi = 21^\circ$, $K = 20000 \text{ kN/m}^3$.

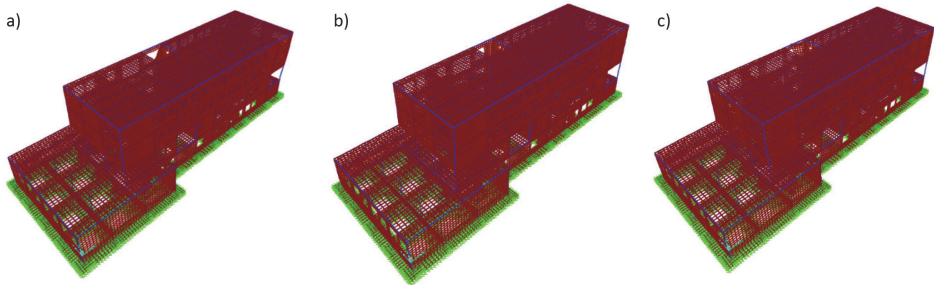
3.1 Model 1

Model 1 je postojeća građevina s karakteristikama materijala prema provedenim ispitivanjima, a napravljen je u računalnom programu SAP 2000. Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 1.

Tablica 1. Rezultati za model 1

Modalni oblik	Frekvencija [Hz]	Period [s]	Prigušenje [%]	Krutost tla [kN/m^3]
Translacija Y-Y	2,38	0,42	5,0	20000
Translacija X-X	2,64	0,38	5,0	20000
Torzija	3,01	0,33	5,0	20000

Pri proračunu upotrebljeni su konačni elementi dimenzija minimalno 0,4 x 0,4 m. Opterećenja su uzeta u skladu s Eurokodom EC1, gdje je za pod uzeto $g = 3,0 \text{ kN/m}^2$, što uključuje pregradne zidove od knaufa kao lakog materijala, na krovu je $g = 4,5 \text{ kN/m}^2$, korisno opterećenje je $q = 3,0 \text{ kN/m}^2$ na etažama i $1,5 \text{ kN/m}^2$ za ravne krovove, snijeg je $s = 1,25 \text{ kN/m}^2$. Potresno opterećenje je uzeto prema EC8.



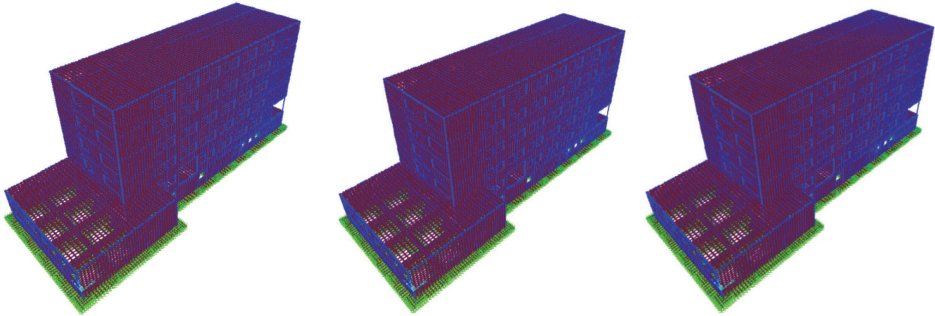
Slika 4. a) Translacija Y-Y postojeće zgrade; b) Translacija X-X postojeće zgrade; c) Torzija postojeće zgrade

3.2 Model 2

Model 2 uključuje izgradnju dva nova kata na staroj zgradi, a konstrukcija je izvedena betonom C30/37 za sve nosive elemente. Nosivi zidovi se nastavljaju kontinuirano, ali se koriste blokovi s manje otvora (30 %) i debljine $d = 25 \text{ cm}$. Stupovi se nastavljaju jednakih dimenzija $b \times h = 50 \times 50 \text{ cm}$, grede su $b / h = 50 / 50 \text{ cm}$, ploče s rebrima $b_1 / h_1 = 15 / 50 \text{ cm}$. Opterećenja su prema EC1, a potres prema EC8 te karakteristike tla prema geomehaničkom elaboratu. Rezultati na ovom modelu prikazani su u tablici 2.

Tablica 2. Rezultati za model 2

Modalni oblik	Frekvencija [Hz]	Period [s]	Prigušenje [%]	Krutost tla [kN/m^3]
Translacija Y-Y	1,47	0,68	5,0	20000
Translacija X-X	1,61	0,62	5,0	20000
Torzija	1,79	0,56	5,0	20000



Slika 5. a) Translacija Y-Y nadograđenih zgrada, b) Translacija X-X nadograđenih zgrada, c) Torzija nadograđenih zgrada

3.3 Model 3

Model 3 ima povećanu korisnu ploštinu građevine, ali s intervencijom u statičkom sustavu, gdje su na nadograđenim katovima predviđena tri stupa koji prenose dio opterećenja. Stupovi su $b/h = 50/50$ cm, te su predviđene ploče $t_1 = 15$ cm na manjim i $t_2 = 22$ cm na većim rasponima. Također su nastavljeni postojeći stupovi. Kao i za prethodne modele, proračun je proveden pomoću programa SAP2000 uz ista opterećenja. Rezultati su prikazani u tablici 3.

Tablica 3. Rezultati za model 3

Modalni oblik	Frekvencija [Hz]	Period [s]	Prigušenje [%]	Krutost tla [kN/m^3]
Translacija Y-Y	1,61	0,62	5,0	20000
Translacija X-X	1,71	0,585	5,0	20000
Torzija	1,81	0,55	5,0	20000

U tablici 4. prikazana je usporedba frekvencija i perioda za tri modela. Karakteristike tla su jednake za sve modele.

Tablica 4. Usporedba frekvencija i period za tri modela

Modalni oblik	Model 1		Model 2		Model 3	
	Frekvencija [Hz]	Period [s]	Frekvencija [Hz]	Period [s]	Frekvencija [Hz]	Period [s]
Translacija Y-Y	2,38	0,42	1,47	0,68	1,61	0,62
Translacija X-X	2,64	0,38	1,61	0,62	1,71	0,585
Torzija	3,01	0,33	1,79	0,56	1,81	0,55

Iz ovih rezultata proizlazi da se radi o građevini s velikom krutošću gdje, čak i uz promjene uslijed krovne nadgradnje, imamo visoku krutost koja ne prelazi period $T = 1,0$ s.

4 Proračun na potres i udio starog betona u nosivosti zgrade

Proračun zgrade na potres proveden je u skladu s regulativom: The European Union Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC odnosno normom EN 1998-1:2004. Mjerodavno potresno opterećenje uzeto je prema geomehaničkom izvještaju kao $a_g / g = 0,20$ [5]. Uzeto je: faktor $q = 2,75$, tlo kategorije C, prigušenje 5 %. Tretman modela temelji se na rezultatima dobivenim na terenu. Kod izračunavanja modela tla koeficijenti se dobivaju iz geomehaničkih obrada i $K = 20000$ kN/m³, a dobivani rezultati prikazani su u tablici 5. Utjecaji na konstrukciju su takvi da ih postojeća konstrukcija prihvaća bez većih promjena.

Proračuni su napravljeni sa SAP2000 programskim paketom, a vrijednosti za dimenzioniranje betonskog elementa su iz najnepovoljnijih kombinacija za dimenzionirane elemente. Sudjelovanje stare konstrukcije prikazano je u tablici 5. Planovi armature iz prvobitnog projekta nisu bili na raspolaganju. Prema EC8-1: 2004, konstrukcija je kategorizirana sa srednjom M duktilnošću zbog prisutnosti potpornih zidova. Projektirana nosivost konstrukcijskih elemenata u odnosu na stvarne statičke i seizmičke utjecaje postoji i ispunjava projektirane uvjete. S obzirom da je sudjelovanje statičkih i dinamičkih utjecaja na modalni račun u smjeru X-X je udio statičkog opterećenja 96,8 %, a dinamičkoga 53,60 %, u smjeru Y-Y je udio statičkog opterećenja 96,9 %, a dinamičkoga 54,70 %. Proračun sudjelovanja starog betona u nosivosti konstrukcije zgrade u odnosu na dodatno ugrađenom betonu uzet je na osnovi ukupnog upotrebljenog volumena.

Tablica 5. Usporedba sudjelovanja dijelova konstrukcije u nosivosti

Aktivnost	Model 1	Model 2	Model 3
Udio starog betona u nosivosti	67 %	45 %	45 %
Uporaba betona	45 %	72 %	80 %
Udio zidova od opeke u nosivosti	33 %	20 %	15 %
Udio novougrađenog betona	0 %	35 %	40 %

5 Zaključak

Iz provedene analize zaključujemo da kod svih promatranih modela imamo veliku krutost građevine koja može uspješno izdržati potresne utjecaje koji se predviđaju na području na kojem se nalazi zgrada. U slučaju drugog modela potrebna je intervencija samo u širini temelja zbog povećanja opterećenja. Najugroženiji elementi koji se nalaze na granici nosivosti su srednji stupovi koji su opterećeni otprilike trećinom ukupnog opterećenja zgrade. Također je u tom slučaju udio koji preuzima stari dio najveći.

U trećem modelu imamo veću intervenciju u statički sustav i konstrukciju građevine. Pri tome se smanjuje sudjelovanje stare konstrukcije te je potrebna manja intervencija na temeljima. Zahtijevaju se veća ulaganja, ali se s obzirom na osiguranje otpornosti i stabilnosti, ta ulaganja mogu opravdati u smislu povećane sigurnosti za korisnike.

Problematika nadogradnje postojećih zgrada, a što nužno uključuje i proračun postojeće zgrade, vrlo je izražena na Kosovu. U radu je prikazan samo jedan od primjera različitih modela pristupa rješavanju nadogradnje, a koji služi kao polazište za definiranje programa istraživanja kojim bi se razradila metodologija za proračun u slučaju nadogradnje, osobito kroz istraživanja zajedničkog djelovanja stare i nove konstrukcije.

LITERATURA

- [1] Chopra, A.: Dynamics of structures-Theory and Applications to Earthquake Engineering, University of California at Beekelley, Fourth Edition,2011
- [2] Radić, J.: Trajnost konstrukcija 1, Sveučilište u Zagrebu, 2010.
- [3] Meskouris, K., Hinzen, G-Klaus, Bautenweg, Ch., Mistler, M.: Bauwerke und Erdbeben, 2 auflage, Wiesbaden2007
- [4] Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC]- EN 1998-1 :2004 EN 1998-1 :2004 (E)
- [5] Elezaj, Z.: Seismotectonic Settings of Kosova, University of Prishtina, J. Int. Environmental Application & Science, Vol. 4 (2): 167-176 (2009)
- [6] Shala, A., Bleiziffer, J.: Reconstruction of floor slabs made of reinforced concrete (ribbed system “Avramenko”) over 50 years old, IV.ECOCEE, Istanbul, 2019