

Primljen / Received: 7.2.2012.

Ispravljen / Corrected: 13.1.2013.

Prihvaćen / Accepted: 21.3.2013.

Dostupno online / Available online: 10.5.2013.

Dinamička analiza Dolmabahce zidanog tornja sa satom

Autori:



Dr.sc. **Asena Soyluk**
Sveučilište Gazi u Ankari, Turska
Odjel za arhitekturu
asenad@gazi.edu.tr



Mr.sc. **Zeynep Yeşim İlerisoy**
Sveučilište Gazi u Ankari, Turska
Odjel za arhitekturu
zyharmankaya@gazi.edu.tr

Stručni rad

Asena Soyluk, Zeynep Yeşim İlerisoy

Dinamička analiza Dolmabahce zidanog tornja sa satom

Nedavni potresi u svijetu pokazali su kako je većina zidanih tornjeva sa satom podložna konstrukcijskim oštećenjima i urušavanju. Kako bi se istražilo ponašanje konstrukcije povijesnog zidanog tornja sa satom Dolmabahce u Istanbulu, izrađen je model tornja. Početno je analizirano djelovanje vlastite težine nakon čega je provedena dinamička analiza koja je uzela u obzir utjecaj dubljih slojeva tla uz temelje tornja te potresna gibanja zabilježena kod mekih i čvrstih uvjeta tla prilikom potresa u Kocaeli u Turskoj 1999. godine.

Ključne riječi:

zidani toranj, dinamička analiza, utjecaj potresa, interakcija tla i građevine, potres

Professional paper

Asena Soyluk, Zeynep Yeşim İlerisoy

Dynamic analysis of Dolmabahce masonry clock tower

Recent earthquakes around the world have shown that most masonry clock towers are susceptible to structural damage and collapse. An appropriate tower model was erected in order to investigate structural behaviour of a historic masonry watch tower at the Dolmabahce Palace in Istanbul. The initial analysis of self-weight was followed by dynamic analysis, which took into account the influence of deeper soil layers next to tower foundations, and seismic motions registered for soft and stiff soil conditions during the 1999 earthquake in Kocaeli, Turkey.

Key words:

masonry tower, soft soil, stiff soil, dynamic analysis, earthquake response

Fachbericht

Asena Soyluk, Zeynep Yeşim İlerisoy

Dynamisches Verhalten des Dolmabahce Uhrturms aus Mauerwerk

Aktuelle Erdbeben in der Welt haben mehrheitlich gezeigt, dass Uhrtürme aus Mauerwerk möglichen Bauschäden und Einbrüchen ausgesetzt sind. Um das Verhalten der Konstruktion des historischen Uhrturms aus Mauerwerk im Dolmabahce-Palast in Istanbul zu erforschen, ist ein Model des Turmes erstellt worden. Zunächst ist die Einwirkung des Eigengewichts analysiert worden und anschließend ist eine dynamische Analyse durchgeführt worden, in der Einflüsse der tieferen Bodenschichten um die Fundamente des Turmes berücksichtigt worden sind. Dafür sind seismische Aufzeichnungen des Erdbebens in Kocaeli in der Türkei im Jahre 1999 für weiche und steife Bodentypen eingesetzt worden.

Schlüsselwörter:

Mauerwerksturm, weicher Boden, steifer Boden, dynamische Analyse, Erdbebenantwort

1. Uvod

Tornjevi sa satom, važne prepoznatljive točke u svakodnevnom životu, monumentalne su građevine koje povezuju prošlost i sadašnjost povijesnim vrijednostima. Tornjevi su postali simboli gradova jer osim što nose obilježja tradicionalne arhitekture, često su kulturno nasljeđe ljudske povijesti. Kako bi se ti simboli prenijeli na nove naraštaje, vrlo je važno sačuvati ih od oštećenja i urušavanja. Otkad se naglo urušio Gradski toranj u Paviji [1, 2, 3], konzervacija povijesnih zidanih tornjeva postala je važna preokupacija u svijetu. Provedene su neke studije o tornjevima koje se bave analitičkim i eksperimentalnim analizama, a to su "Torrazzo" u Cremoni [4], Gradski toranj u Vicenzi [5], zvonik sv. Stjepana u Veneciji [6] i "Torre Sineo" u Albi [7]. Međutim te studije nisu uključivale promjene u dinamičkom ponašanju tornjeva koje ovise o interakciji tla i konstrukcije pri različitim gibanjima tla kod istog potresa.

U Turskoj, još od vremena Otomanskog Carstva, postoje brojni tornjevi izgrađeni od prirodnog kamena. Ove veličanstvene građevine pripadaju različitim stilovima, poput baroka ili orijentalnog stila, a razlikuju se oblicima: cilindrični, četverokutni, poligonalni, isprepletenih prizmi ili se sužavaju u visinu [8]. Međutim, poznato je da povijesne zidane građevine slabo opstaju u potresima. Turska, koja ima mnogo povijesnih građevina, smještena je na jednom od seizmički najaktivnijih područja na svijetu, a česti su potresi vrlo velikih magnituda. Prema karti potresnih zona napravljenoj prema podacima o geološkoj strukturi, tektonici ploča, povijesnoj seizmici i učestalosti potresa, Turska obuhvaća 5 seizmičkih zona (Određnice za gradnju na područjima prirodnih nepogoda, [9]). U prvoj seizmičkoj zoni u Turskoj postoje 62 tornja sa satovima [10]. Većina tih zidanih tornjeva pretrpi ozbiljna oštećenja ili se uruše prilikom seizmičkih aktivnosti. Nedavno su se urušili toranj sa satom u Koaceliu i toranj sa satom u Bakirköy psihijatrijskoj bolnici u Istanbulu [8].

Dinamičko ponašanje zidanih tornjeva ovisi o intenzitetu podrhtavanja tla, frekvenciji potresnog vala i vrsti podložnog tla. Prošli potresi pokazali su kako su zgrade sličnog tipa, ali na različitim tipovima tla zadobile različita oštećenja čak i kada je potres iste magnitude, a širenje potresnih valova razlikuje se ovisno o svojstvima tla kojim se šire. Potresi u Ceyhanu (27.6.1998, M=6,2), Gölcük (17.8.1999, M=7,8) i Bingölu (1.5.2003, M=6,4) u Turskoj otkrili su da je najveća šteta nastala na livadama koje imaju svojstva mekog tla čak i kada su udaljene od glavnog rasjeda [11]. To pokazuje jasnu povezanost utjecaja potresa s lokalnim svojstvima tla.

Lutes [12] je pokazao kako nepouzdanost čvrstoće tla može prouzročiti znatne nepouzdanosti frekvencijskog odgovora konstrukcije i ponekad može izmijeniti očekivane vrijednosti frekvencijskih karakteristika. Nužno je razumjeti dinamičko ponašanje zidanih tornjeva kako bi se poboljšala održivost i kako bi se te povijesne monumentalne građevine sačuvale ili ojačale. U početnoj fazi ove studije istraživalo se ponašanje tornja pod vlastitom težinom metodom konačnih elemenata. Nakon toga, kako bi se odredio utjecaj potresnog gibanja tla zabilježenog pri različitim uvjetima tla na seizmičko ponašanje zidanih tornjeva, pažnja se usmjerava na procjenu seizmičkog ponašanja tornja uzimajući u obzir uvjete podložnog tla. U tu svrhu korišteni su podaci gibanja tla zabilježeni na mjestima različitim uvjeta tla i smještenima na istoj udaljenosti od tornja. Rezultati dobiveni za različite tipove tla međusobno su uspoređivani prema pretpostavci elastične baze.

Izvor za klasifikaciju terena definiran je u "Određnicama za gradnju na područjima prirodnih nepogoda", [9]. Opisano je kako naslage tla pojačavaju razinu podrhtavanja tla u odnosu na podrhtavanje stijena. Količina pojačanja gibanja tla ovisi o svojstvima tla na širenje valova koja se mogu procijeniti mjerenjem brzine posmičnih valova. Klasifikacija terena prema turskim seizmičkim propisima definirana je prema brzini posmičnih valova (tablica 1.). U ovoj studiji korišteni su tipovi čvrstog i mekog tla koji odgovaraju klasi Z1 i Z4.

Tablica 1. Turski seizmički propisi klasifikacije tla i terena [8]

Grupa tla	Opći opis	Brzina posmičnih valova [m/s]	Klasa područja	Grupa tla i debljina gornjeg sloja
(A)	1. čvrsta stijena 2. vrlo gust pijesak, šljunak 3. tvrda glina, praškasta glina	>1000 >700 >700	Z1	Grupa (A), h ≤ 15 m Grupa (B), h ≤ 15 m
(B)	1. mekana stijena 2. gust pijesak, šljunak 3. vrlo čvrsta glina, praškasta glina	700-1000 400-700 300-700	Z2	Grupa (B), h > 15 m Grupa (C), h < 15 m
(C)	1. jako trošna mekana stijena 2. srednje gust pijesak i šljunak 3. čvrsta glina, praškasta glina	400-700 200-400 200-300	Z3	Grupa (C), h = 15-50 m Grupa (D), h ≤ 10 m
(D)	1. plitki aluvijalni nanosi 2. lagani pijesak 3. mekana glina, praškasta glina	<200 <200 <200	Z4	Grupa (C), h > 50 m Grupa (D), h > 10 m

Tablica 2. Mehaničke karakteristike materijala

Materijal	Konačni element	E [GPa]	γ [kN/m ³]	Poissonov koeficijent ν
Vapnenac	volumni	8.5	21.9	0.20
Mramor	volumni	10.0	27	0.26

2. Metoda proračuna

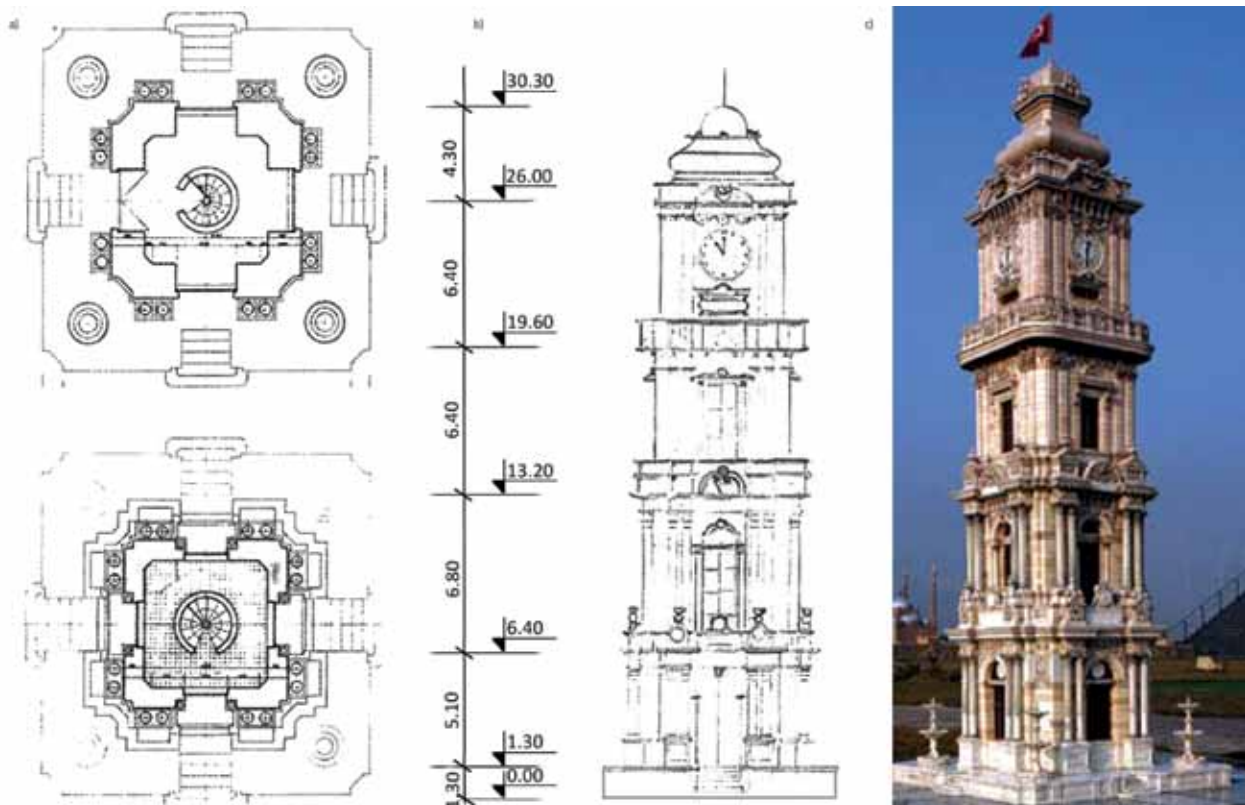
Ponašanja zidanih građevina obično su vrlo složena. Prema tome, potrebna su brojna pojednostavljenja pri modeliranju takvih konstrukcija. Jedan od najboljih načina proračuna konstrukcija povijesnih zidanih građevina jest metoda konačnih elemenata [13]. Za točnu definiciju ponašanja konstrukcijskih sustava i deformacija, te unutarnjih sila uslijed raznih opterećenja i vanjskih utjecaja, osnovni principi izrade modela konačnih elemenata mogu se klasificirati kako slijedi, prema [14]:

- najjednostavniji model najčešće daje optimalne rezultate; kompleksni modeli koji nadilaze svrhu i područje analize su nepotrebni
- pri određivanju veličine elemenata u modelu u obzir treba uzeti sve konstrukcijske utjecaje koji su potrebni za analizu
- model stvoren jednostavnim odvajanjem pojedinog dijela cjelokupnog modela nije dovoljan da predvidi ponašanje tog dijela ili elementa. Kako bi se dobilo detaljno ponašanje potrebno je primijeniti modele koji precizno definiraju rubne uvjete i spojeve [15].

Prema navedenim smjernicama, u ovoj studiji analiziran je Dolmabahce toranj sa satom u Istanbulu. Toranj je smješten izvan palače Dolmabahce u Istanbulu, kraj džamije Dolmabahce ispred vrata Riznice na trgu duž europskog dijela Bospora. Toranj je izgradio ugledni turski arhitekt armenskog porijekla Sarkis Balyan između 1890. i 1895. u otomanskom neobaroknom stilu [16].

2.1. Strukturalne karakteristike tornja i modeliranje nadtemeljne konstrukcije

Na mramorni plato veličine 12x12 m ugrađen je kvadratni četverokatni toranj. Dimenzije katova su: 8,50x8,50 m na bazi, 7,40x7,40 m na prvom i drugom katu i 6,00x5,00 m na trećem katu (slika 1.a) [17]. Visina od baze do vrha je 30,40 m [17]. Nosivi sustav tornja, zidan od vapnenca, sastoji se od čvrstih zidova iznutra i stupova na fasadama prva dva kata. Toranj Dolmabahce je elastično oslonjen na temelje preko 496 elemenata opruge, a u računalnom programu SAP 2000 izrađen je model sa 5845 čvorova i 3862 volumna konačna

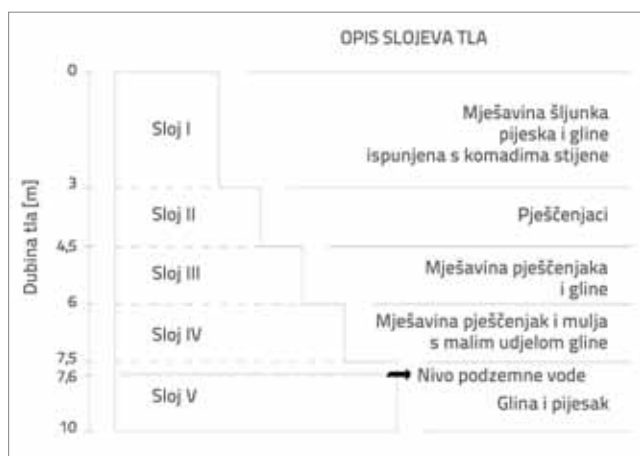


Slika 1. Toranj sa satom u Dolmabahceu: a) tlocrt; b) pogled; c) današnje stanje

elementa. Mehanička svojstva građevnih materijala izuzetno su važna i moraju biti za strukturnu analizu povijesnih građevina točno definirana. Za ovu studiju nema dovoljno podataka o svojstvima materijala analiziranog tornja sa satom. Zbog toga su svojstva vapnenca i mramora uzeta iz sličnih studija [18, 19, 20] (tablica 2.). U modelima se pretpostavlja linearno elastično ponašanje materijala, a degradacija krutosti se zanemaruje.

2.2. Svojstva podložnog tla i modeliranje

Kako bi se prikupili relevantni podaci o profilu tla Dolmabahce tornja izvršeno je sondažno bušenje. Otkriveno je kako postoji sloj umjetno nasutog tla koji se sastoji od ostataka starijih konstrukcija i vapnenačkih blokova između matične stijene i postojećeg tla. Slika 2. prikazuje profil tla na temeljima konstrukcije prema dnevniku sondiranja [21].



Slika 2. Rezultati sondiranja lokacije oko tornja Dolmabahce [10]

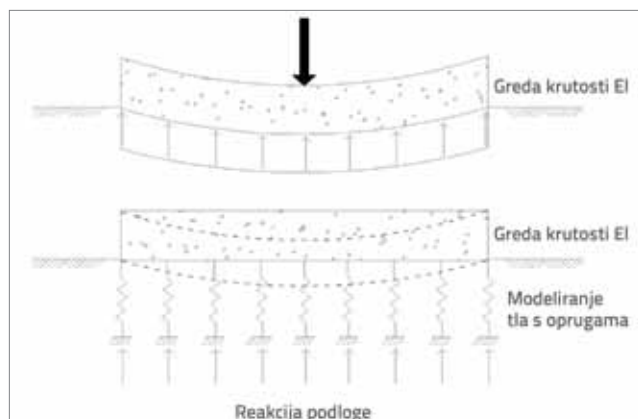
Na vrhu profila je nasuto tlo debljine oko 5 m. Tlo se sastoji od agregata pijeska, šljunka i gline s komadima stijene. Ispod su slojevi pješčenjaka i gline do dubine od 10 m. Razina podzemne vode nalazi se na dubini oko 7,6 m. Tlo Dolmabahce tornja ubraja se u Z3 razred (tablica 1.), a koeficijent reakcije podloge na mjestu temelja iznosi $113,5 \text{ [kN/m}^3\text{]}$, [21].

Pri izradi osnovnog modela podloge za primjenu interakcije konstrukcije i tla u ovoj analizi primjenjuje se Winklerova teorija. To je približna vrijednost reakcije tla na raspoređeno opterećenje koja uzima u obzir glavne čimbenike koji pridonose otpornosti tla, primjerice čvrstoća tla. Pretpostavlja se da tlo pruža otpor opterećenju kao diskretni neovisni elementi, zanemarujući posmik između slojeva tla [22]. Slika 3. prikazuje Winklerovu aproksimaciju.

Karakteristike ovisnosti sile i pomaka kod interakcije *tlo - konstrukcija* mogu se opisati kao:

- sila kojom nadtemeljna konstrukcija djeluje na temeljnu konstrukciju $q(x,y,z,t)$, a definira se lokacijom i vremenom ovisno o tome je li sila u prirodi statička ili dinamička (u 2D statičkom opterećenju: $q(x,y)$)

- reakcija tla na pritisak tereta nadtemeljne konstrukcije $p(x,y,z,t)$ (u 2D statičkom opterećenju: $p(x,y)$)
- slijeganje potpornog tla kako bi se proizvela potrebna reakcija $w(x,y,z,t)$.



Slika 3. Winklerova aproksimacija otpornosti tla za ploču na razini tla [22]

Kod tradicionalnog pristupa rješavanju problema interakcije tlo - konstrukcija, reakcija se podloge $p(x,y,z,t)$ smatra vanjskom silom čiji iznos mora biti pretpostavljen ili nekako matematički postavljen na početku analize. Također, kod tradicionalnog pristupa, reakcija podloge se smatra neovisnom i diskretnom reakcijom. Zbog toga $p(x,y)$ ima važnu ulogu kao ulazni parametar u pojednostavljenim analizama koje se primjenjuju u praksi. Vrlo je korisno definirati novi parametar krutosti podloge, $k(x,y)$, koji se naziva koeficijent reakcije podloge, a definira se kao:

$$k(x,y) = \frac{p(x,y)}{w(x,y)} \quad (1)$$

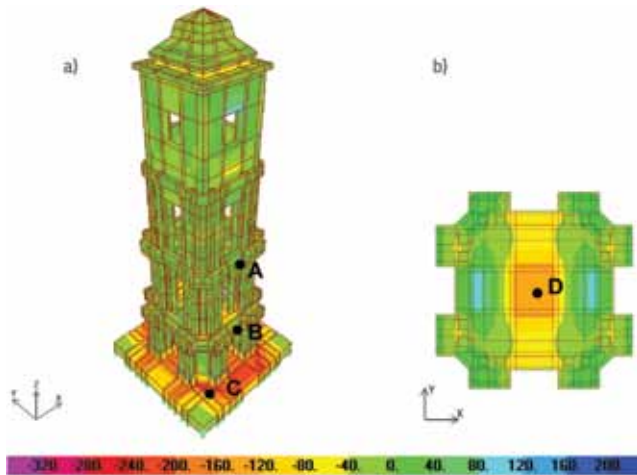
Winklerova hipoteza je jednoparametarski model podloge jer je potreban samo jedan ulazni parametar: k , za definiciju ponašanja podloge. Karakteristike ovisnosti sile i pomaka u tlu su idealizirane upotrebom elemenata opruga u Winklerovoj metodi [23].

Ovom studijom pokušava se odrediti učinkovitost primjene jednoparametarskog modela podloge na povijesne zidane konstrukcije. Dok su translacijski U_x i U_y i rotacijski R_z stupnjevi slobode čvorova temelja fiksni, vertikalni translacijski stupanj slobode U_z je kod modeliranja interakcije tlo-konstrukcija pridržan oprugama zadanim u čvorovima [24]. Na temelju geotehničkih istraživanja, za potrebe numeričkog proračuna pretpostavlja se kako temeljeno tlo ima modul od $113,5 \text{ [kN/m}^3\text{]}$.

3. Dinamičko ponašanje tornja Dolmabahce

Ponašanje zidanih konstrukcija razlikuje se od ponašanja armiranobetonskih konstrukcija. Povijesne zidane građevine imaju nisku duktilnost i zbog njihovih krutih i krutih komponenti često su teško oštećene tijekom potresa. Glavni

razlog oštećenja je nedostatak duktilnosti što onemogućuje konstrukciju da pretrpi pomake i iskrivljenja uzrokovane jakim potresima [25]. Kako bi se bolje razumjelo pravo ponašanje tornja, model se najprije analizira pod opterećenjem vlastitom težinom, a zatim pod potresnim opterećenjem.



Slika 4. Konture naprezanja pod težinom konstrukcije: a) toranj sa satom; b) ploča prvog kata

Na slici 4.a prikazana su naprezanja pod vlastitom težinom konstrukcije. Tlačna naprezanja uglavnom se pojavljuju na mramornom platou, a najveća vrijednost je 0,325 MPa. Vlačna naprezanja također se javljaju kod ovog tipa vitkih tornjeva zbog njihove visine. Vlačna naprezanja mogu se vidjeti na udubljenjima, izbočenjima i pločama (slika 4.b). Najveća vrijednost vlačnih naprezanja od 0,194 MPa vidljiva je na ploči prvoga kata.

Oblici slobodnih vibracija konstrukcijskog sustava važni su za interpretaciju njihovog ponašanja kod potresnog gibanja. Stoga se smatra da rezultati modalne analize mogu razjasniti dinamičko ponašanje tornja (slika 5).

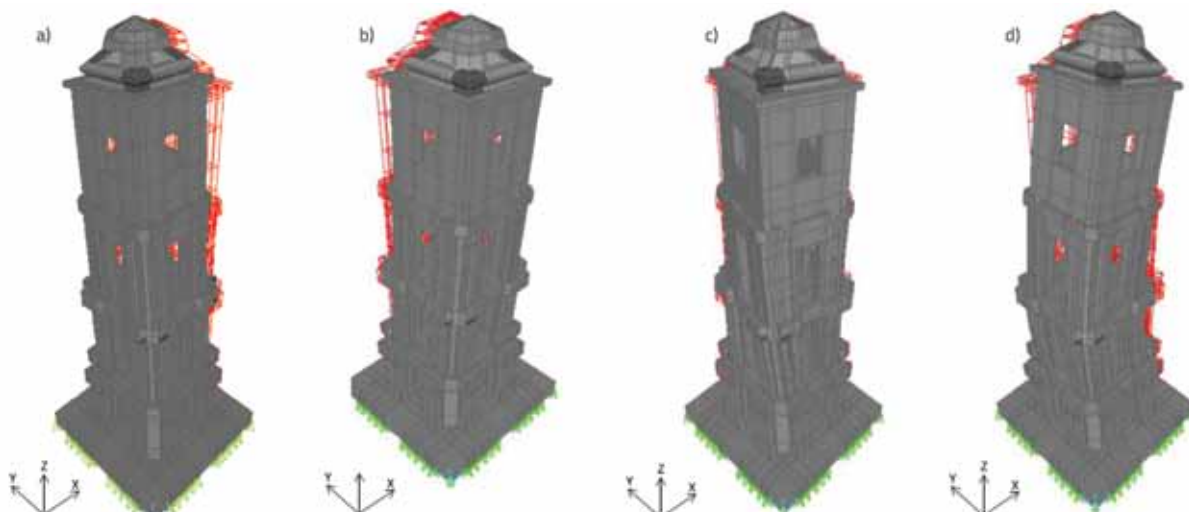
Kao što se vidi prvi oblik je translacijski u x smjeru, drugi oblik je translacijski u y smjeru, treći oblik je torzijski, a četvrti odgovara savijanju. Periodi za prva tri oblika titranja su 0,75 sekundi, 0,75 sekundi, 0,19 sekundi, odnosno 0,15 sekundi.

Ako se uzmu u obzir naprezanja od vlastite težine i modalni oblici tornja, može se zaključiti kako toranj nije ugrožen s obzirom na globalnu stabilnost. Kako bi se spoznalo pravo ponašanje tornja pri određenim potresima, primjenjuje se analiza odziva u vremenu. Tom se analizom ne koristi često kao konvencionalnim metodama poput metode spektralnog odgovora zbog manjka podataka o stvarnim gibanjima tla i njihovoj dostupnosti. Međutim, analiza odziva u vremenu je u usporedbi s ostalim metodama najrealnija [26].

Na osnovi ove metode promatra se odgovor konstrukcije pri djelovanju zabilježenog potresa. Važan korak u primjeni metode odziva u vremenu je odabir reprezentativnog potresa. U ovoj studiji, provedene su linearne analize odziva u vremenu korištenjem podataka pravih gibanja tla zabilježenih na mjernim stanicama s različitim uvjetima tla. U ovom radu, za potresno gibanje tla, koriste se podaci potresa u Koaceliu, 17. kolovoza 1999., magnitude 7,51. Obilježja mjernih stanica s kojih su uzimani podaci nalaze se u tablici 3., a na slici 6. prikazani su zapisi potresnog ubrzanja za dva tipa tla.

Dok su zapisi s mjerne stanice Bursa (BR) snimljeni na čvrstom tlu (stijeni), zapisi s mjerne stanice Fatih su snimljeni na vrlo mekom tlu tijekom potresa u Koaceliu [27]. Treba napomenuti da su u analizu uključene i vertikalne komponente oba zabilježena potresa. Kao što je prikazano na slici 6., najviše ubrzanje na mekom tlu je kod 25 sekundi, a na čvrstom tlu kod 50 sekundi. Potresni valovi šire se brže na čvrstom od onih na mekom tlu. Također, može se primijetiti da meko tlo povećava potresna ubrzanja triput više od čvrstog tla.

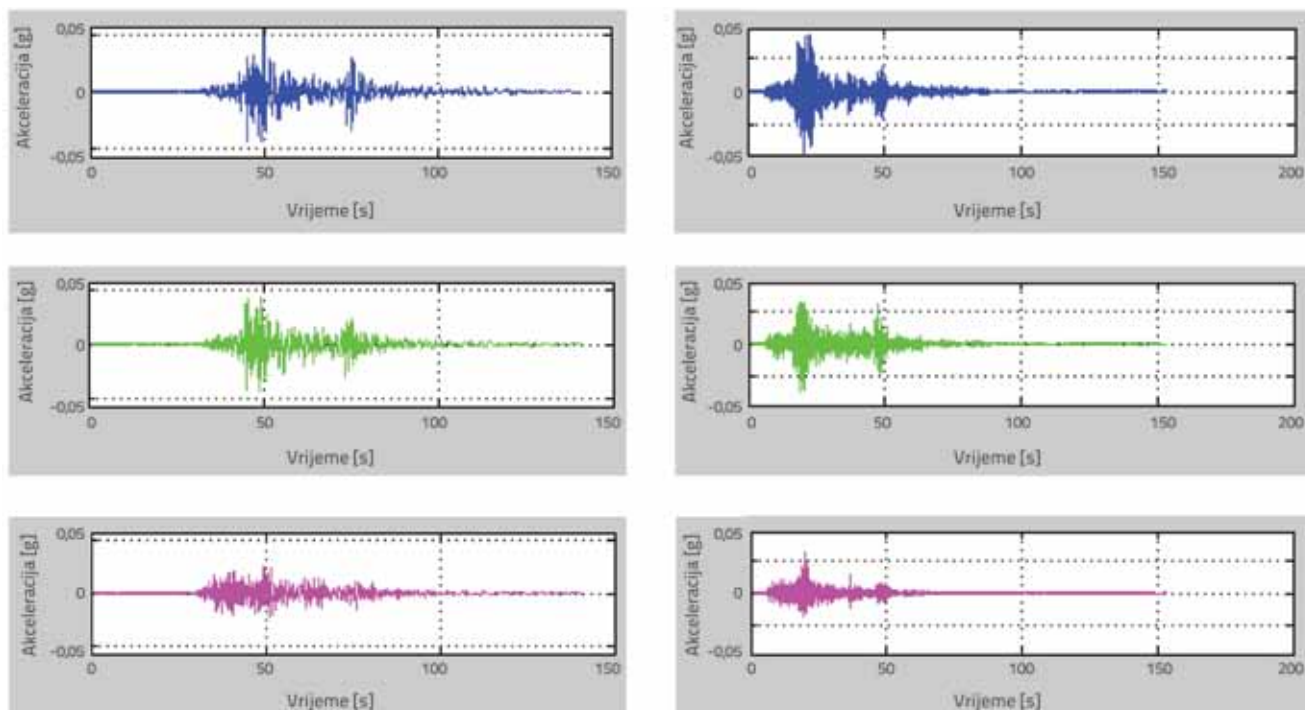
Kako bi se usporedili relativni pomaci tornja, promatraju se specifične točke na visinama od 0 m, 7,15 m, 13,95 m, 20,35 m, 27,30 m i 30,40 m od mramorne ploče (slika 7.). Usporedba pomaka tornja ovisno o uvjetima tla prikazana je na slici 8.



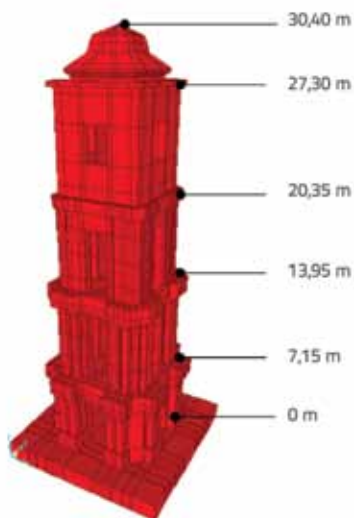
Slika 5. Dinamičko ponašanje tornja Dolmabahce: a) prvi oblik; b) drugi oblik; c) treći oblik; d) četvrti oblik

Tablica 3. Zabilježene najveće brzine ubrzanja tla [28]

Mjerna stanica	Udaljenost od rasjeda [km]	Klasa tla	Najveće ubrzanje [g]		
			S-J	I-Z	Vertikalno
Bursa	67	čvrsto tlo	0.05	0.05	0.03
Fatih	65	mekano tlo	0.18	0.16	0.13



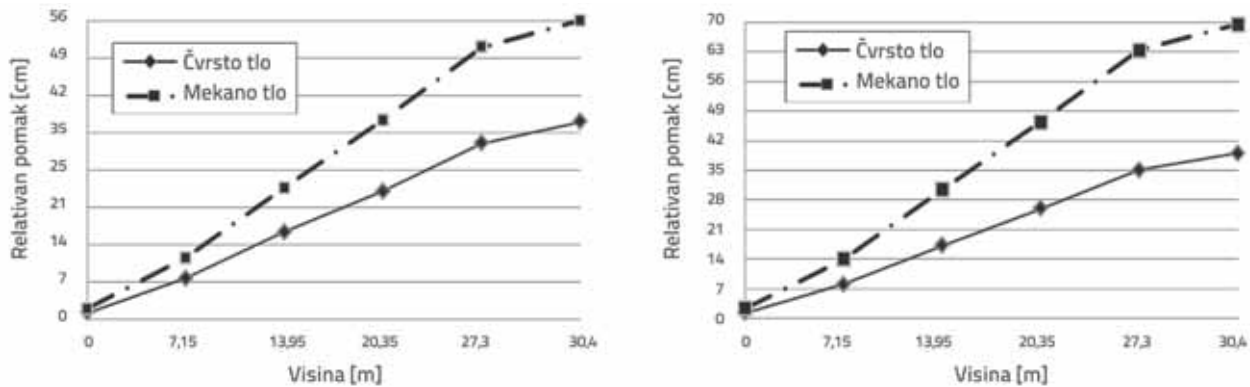
Slika 6. Zapis potresa: Potres u Kocaeliu, Bursa (čvrsto tlo), lijevo; Potres u Kocaeliu, Fatih (mekano tlo), desno [27, 29]



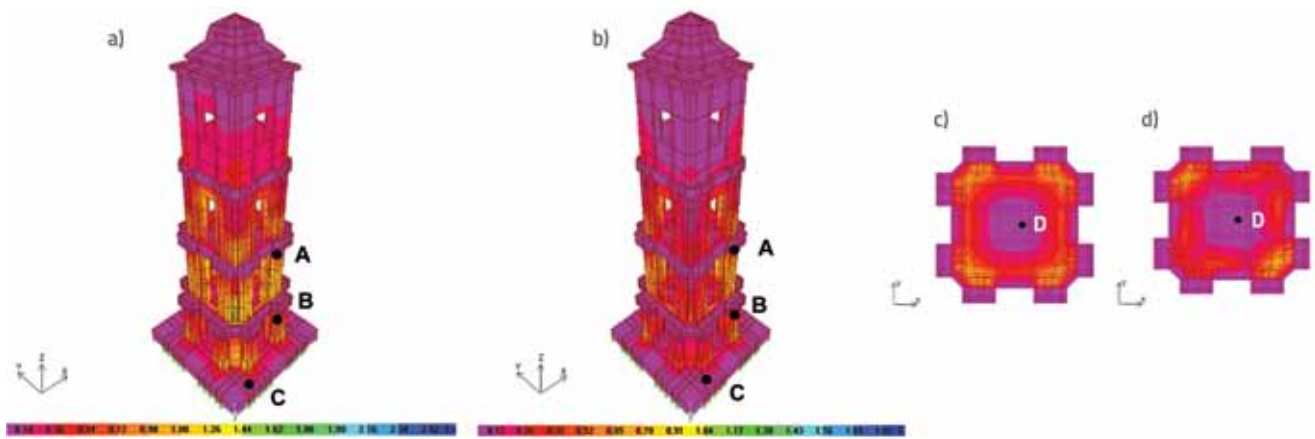
Slika 7. Specifične točke na modelu tornja

Kao što se vidi na slici 8.a, relativni pomaci povećavaju se s visinom, a to vrijedi kod oba tipa tla. Numeričke vrijednosti relativnih pomaka (U_x) određene na kritičnim točkama u smjeru x su 2 cm, 11,6 cm, 24,7 cm, 37,4 cm, 50,8 cm i 56 cm,

odnosno 1,3 cm, 7,7 cm, 16,4 cm, 24 cm, 33 cm i 37 cm za zapise kod oba tipa tla. Isto tako, relativni pomaci u smjeru U_y drastično rastu kod zapisa na mekom tlu (slika 8.b). Ako se uspoređuju relativni pomaci vrha tornja, za zapis na stanici Fatih pomaci rastu 51 % u smjeru U_x i 78 % u smjeru U_y . Nakon što se definiše deformirani oblik tornja pod utjecajem potresnih gibanja tla zabilježenih na različitim tipovima tla, određuju se unutarnje sile i naprezanja, što je vrlo važno s obzirom na popravak i ojačavanje povijesnih građevina. Poznato je da će unutarnje sile rasti kad se uz vlastitu težinu građevine ubroji i djelovanje potresnih sila. Dok su na slici 3. prikazana naprezanja tornja pod vlastitom težinom konstrukcije, na slici 9. prikazana su naprezanja uslijed potresnih gibanja tla zabilježenih na različitim tipovima tla. Na ovim slikama odabrane su četiri točke; A, B, C i D kako bi se promatrale vrijednosti naprezanja dobivene analizom. Dok je točka A, na visini 13,95 m od baze, smještena na otvoru prozora na drugom katu, točka B, na visini 7,15 m od baze, smještena je na otvoru prozora na prvom katu. Točka C je na spoju mramorne baze i nadtemeljne konstrukcije. Nadalje, točka D je smještena na visini 7,15 m, u sredini prvoga kata. Naprezanja u točkama A, B, C i D pod potresnim opterećenjem u usporedbi s naprezanjima od vlastite težine, rastu 23, 5, 2



Slika 8. Relativni pomaci tornja: a) u smjeru Ux; b) u smjeru Uy



Slika 9. Konture naprezanja tornja: a) na mekom tlu; b) na čvrstom tlu; naprezanja na ploči prvog kata; c) kod mekog tla; d) kod čvrstog tla.

Tablica 4. Vrijednosti naprezanja Dolmabahce tornja kod zabilježbi potresa u Kocaeliu

Promatrani uvjeti	Naprezanje u točki A [MPa]	Naprezanje u točki B [MPa]	Naprezanje u točki C [MPa]	Naprezanje u točki D [MPa]
Stalno opterećenje	0.006	0.050	0.155	0.001
Mekano tlo	0.266	0.505	0.627	0.047
Čvrsto tlo	0.166	0.256	0.286	0.028

i 14 puta za zapise s mjerne stanice Bursa, odnosno 38, 10, 4 i 23 puta za zapise s mjerne stanice Fatih (tablica 4.). Ako se distribucija naprezanja posebno istražuje pod djelovanjem potresa može se primijetiti koncentracija naprezanja u točkama u blizini spojeva na temelnom platou i oko otvora na zgradi. Na tim mjestima tornja prilikom potresnih gibanja mogla bi se pojaviti oštećenja i pukotine.

Naprezanja volumnih konačnih elemenata na modelu na točkama A, B, C i D kod mekog tla rastu oko 1.6, 1.9, 2.3 i 1.7 puta u usporedbi s vrijednostima naprezanja na čvrstom tlu. Najveća naprezanja javljaju se na krutim spojevima između konstrukcija i mramornog platoa, a smanjuju se s visinom tornja. Ovi rezultati potvrđuju rezultate studije koju su proveli Dogliani i Mottia. U toj studiji je zaključeno da "oštećenja uzrokovana potresom u Friuliu 1976. pokazuju kako su oštećenja na zvoniku raspoređena po visini, iako su oštećenja češće ozbiljnija blizu temelja [30]".

4. Zaključak

Ovom studijom istražuju se utjecaji dvaju zapisa istog potresa, koji su zabilježeni pri različitim tipovima tla, na ponašanje povijesnog zidanog tornja sa satom uzimajući u obzir podložno tlo temelja. Oštećenja na povijesnim građevinama uzrokovana potresima ovise o brojnim parametrima, a jedan od najvažnijih su uvjeti tla na pogođenom području. Kako tlo utječe na seizmičke valove koji se njime šire, tako i seizmički valovi mogu utjecati na čvrstoću i deformacijska svojstva tla. Na temelju istraživanja može se zaključiti sljedeće:

- Naprezanja su uzrokovana vlastitom težinom konstrukcije unutar dopuštenih granica i nisu prijetnja stabilnosti konstrukcije.
- Potresne sile i relativni pomaci na katovima rastu kod potresnih gibanja tla zabilježenih na mekom tlu. Kod potresnih gibanja zabilježenih na mekom tlu relativni pomaci i naprezanja volumnih elemenata rastu do 1.5, odnosno 2 puta.

Ovi rezultati pokazuju važnost promjenjivih karakteristika potresnog gibanja tla ovisno o tipu tla na kojem se konstrukcija nalazi, osobito ako se radi o povijesnim građevinama.

- Iz statičkih i dinamičkih analiza modela pokazalo se da se naprezanja najviše koncentriraju na temeljnoj ploči i oko otvora na tornju. Prema tome, najveće oštećenje od potresa nastat će na tim područjima.

Prema tome, može se zaključiti kako će različiti zapisi istog potresa snimljeni na različitim tipovima tla imati različit utjecaj na povijesne konstrukcije. S druge strane, bez poznavanja karakteristika tla, bilo bi iluzorno definirati te utjecaje. Ovi rezultati jasno dokazuju kako pretpostavka fiksne baze neće biti realna za dinamičku analizu konstrukcijskih sustava.

LITERATURA

- [1] Binda, L., Gatti, G., Mangano, G., Poggi, C., Sacchi Landriani, G.: The collapse of the Civic Tower of Pavia: a survey of the materials and structure. *Masonry International*; 6(1): 11-20, 1992.
- [2] Binda, L., Anzani, A., Mirabella Roberti, G.: The failure of ancient towers; problems for their safety assessment. *Proceedings of the 4th International Conference on Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture, China*, 179-186, 1995.
- [3] Calvi, G.M., Priestley, M.J.N.: Post collapse analyses of a medieval masonry tower. *5th North American Masonry Conference, University of Illinois at Urbana Champaign, USA*, 3-6, 1990.
- [4] Binda, L., Tongini Folli, R., Mirabella R.G.: Survey and investigations for the diagnosis of damage in masonry structures: the "Torrazzo" of Cremona. *Proceedings of the 12th International brick/block Masonry Conference, Spain*, 237-257, 2000.
- [5] Valluzzi, M.R., Da Porto, F., Modena, C.: Structural investigation and strengthening of the Civic Tower in Vicenza. *Proceedings of Structural Faults Repairs, United Kingdom*, 10-22, 2003.
- [6] Lionello, A., Cavaggioni, I., Modena, C., Casarin, F., Rossi, P.P., Rossi, C.: Experimental and numerical analysis of the structural behavior of St Stefano's bell tower in Venice. *Proceedings of the 4th International seminar on structural analysis of Historical constructions, Italy*. 533-542, 2004.
- [7] Carpinteri, A., Invernizzi, S., Lacidogna, G.: In situ damage assessment and nonlinear modelling of a historical masonry tower. *Engineering Structures*, vol. 27, 387-395, 2005.
- [8] Cansever, M.: *Türkiye'nin Kültür Mirası: 100 Saat Kulesi*. İstanbul. NTV Press, 2009.
- [9] *Specification for Structures to be Built in Disaster Areas*, Ministry of Public Works and Settlement Government of Republic of Turkey, 2007.
- [10] Soyuk, A., Harmankaya, Z.Y.: *Deprem Bölgelerine Göre Saat Kuleleri, Safranbolu Saat Kulesi Ve Zaman Ölçerler Sempozyumu*, Safranbolu, 2010.
- [11] Korkmaz, H.: The Relationship Between Ground Conditions And Earthquake Effect In Antakya, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 4 (2), 49-66, 2006.
- [12] Lutes L.D, Shahram S., Shuang J.: "Response Variability of SSI system with uncertain structural and soil properties" *Engineering Structures*, Vol 22, pg 605-620, 2000.
- [13] Ozmen, C., Er Akan, A., Unay, A.I.: Analysis of a historic masonry building, *GRADEVINAR* 63 (2011) 5, 449-458.
- [14] Toker, S., Unay A. I.: Mathematical Modeling and Finite Element Analysis Of Masonry Arch Bridges *Gazi University Journal of Science* 17(2). 129-139, 2004.
- [15] Cook, R. D.: *Concept and Applications of Finite Element Method as Used in the Analysis of Displacement, Strain and Stress*, John Wiley and Sons Inc, New York, 1974.
- [16] Gezgör, V.: *Dolmabahçe Saat Kulesi*, *Milli Saraylar Dergisi*, vol I. 124-128, 1997.
- [17] Italia Ice, (2010) *Dolmabahçe Saray Saat Kulesinin Konservasyonu: İnceleme Projesinden Şantiye Okuluna*, İtalyan Ticaret Merkezi, İstanbul.
- [18] Artar, M.: *Structural identification of the Sehzade Mehmet Mosque through static and dynamic analyses*, MSc. Thesis, Boğazici University, İstanbul, 2006.
- [19] Kaya, S.M., Aydınoglu, M.N., Erdik, M., Yüzüğüllü, Ö.: *Determination of Dynamic Characteristics of Suleymaniye Mosque by Analytical and Experimental Methods*, *Compatible Materials for the Protection of European Cultural Heritage Pact*, İstanbul, 56-68, 1998.
- [20] Erguvanli, K., Ahunbay, Z.: *Mimar Sinan İstanbul'daki Eserlerinde Kullandığı Taşların Mühendislik Jeolojisi ve Mimarlık Özellikleri*, *Mühendislik Jeolojisi Bülteni*, İstanbul, 11-12, 1989.
- [21] Cili, F., Sesigur, H., Celik, O.C.: "Survey-Restitution-Restoration Project of Dolmabahçe Mosque in Beyoglu District, in the City of İstanbul; Technical Report" *İstanbul Technical University Working Capital Managements, Project No Mi-2006-10*, İstanbul, 2005. (In Turkish).
- [22] Bezgin, Ö.: "An Insight Into The Theoretical Background Of: Soil Structure Interaction Analysis Of Deep Foundations" *İstanbul*, (<http://www.ymprefab.com.tr/download/>), 2010.
- [23] Dornick, D. J.: "Earthquake Resistant Design for Engineers and Architects", 2nd Ed, John Wiley and Sons, New York, 1992.
- [24] Sap2000, *Integrated Structural Analysis and Design Software*, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California.
- [25] Gavrilovic, P., Kelly, S.J., Sendova, V.: *Seismic Protection of Byzantine Churches*, *Apt Bulletin*, Vol.34, 63-69, 2003.
- [26] Mehta, D., Gandhi, N. J.: *Time Response Study of Tall Chimneys, Under the Effect of Soil Structure Interaction And Long Period Earthquake Impulse*, *The 14th World Conference On Earthquake Engineering* (http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/14_S10-045.pdf), 2008.
- [27] İlerisoy, Z.Y., Soyuk, A.: *Impact of shallow earthquakes on the Sehzade Mehmet Mosque*, *GRADEVINAR* 64 (2012) 9, 735-740.
- [28] NISEE, *Pacific Earthquake Engineering Research Center*, University of California, CA (<http://nisee.berkeley.edu/turkey/Fturkch1.pdf>), 2011.
- [29] *Peer Ground Motion Database*, *Pacific Earthquake Engineering Research Center*, University of California, CA (http://peer.berkeley.edu/peer_ground_motion_database/spectras/1/unscaled_searches/1537/edit), 2011.
- [30] Doglioni, F., Moretti, A., Petrini, V.: (eds), *Le Chiese e il Terremoto* (in Italian), Lint Press, Trieste, 1994..