

OPERACIONALNA MODALNA ANALIZA NATHODNIKA MALONJI

OPERATIONAL MODAL ANALYSIS OF OVERPASS MALONJI

Ivana Štimac Grandić*, Tomislav Franković*, Paulo Šćulac*, Toni Komadina*

Sažetak

U radu su prikazani rezultati terenskog dinamičkog ispitivanja pješačkog nathodnika Malonji korištenjem operacionalne modalne analize za određivanje modalnih parametara konstrukcije. Izmjereni modalni parametri uspoređeni su s modalnim parametrima izračunatim na numeričkom modelu nathodnika. Pokazano je da ovom vrstom dinamičkog ispitivanja i obrade podataka moguće dobiti dobro poklapanje između izmjerenih i izračunatih vlastitih frekvencija dok bi za točnije određivanje vlastitih oblika na temelju izmjerenih ubrzanja trebalo uvesti poboljšanja geometrijskog modela u ModalVIEWu boljim rasporedom ili povećanjem broja mjerenih stupnjeva slobode te korištenjem akcelerometara veće osjetljivosti.

Ključne riječi: pješački nathodnik, dinamičko ispitivanje, OMA, ModalVIEW

Abstract

This paper presents the results of an on-site dynamic testing of the pedestrian overpass Malonji using operational modal analysis for obtaining structural modal parameters. The measured modal parameters were compared to the modal parameters calculated on the numerical model of the overpass. It is shown that this type of dynamic testing and data processing can provide a very good match between measured and calculated frequencies. A more accurate determination of modal shapes derived from measured acceleration requires: (i) improvement in the ModalVIEW geometry model, (ii) using a greater number or different positions of accelerometers, (iii) accelerometers with better measuring accuracy.

Key words: pedestrian overpass, dynamic testing, OMA, ModalVIEW

* Građevinski fakultet u Rijeci
E-mail: istimac.tomislav.frankovic.paulo.sculac@gradri.uniri.hr;
toni.komadina@student.uniri.hr

1. Uvod

U radu su prikazani rezultati dinamičkog ispitivanja nathodnika Malonji. Dinamički odziv konstrukcije mjereno je sa šest akcelerometara. Analiza odziva mosta izvršena je u programu ModalVIEW koristeći metodu operacionalne modalne analize (OMA metoda). OMA metoda se može definirati kao postupak modalnog ispitivanja koji omogućuje eksperimentalno određivanje modalnih parametara (vlastitih frekvencija, prigušenja i vlastitih oblika) mjerenjem isključivo dinamičkog odgovora konstrukcije (nije potrebno poznavati parametre pobude). Prednost OMA metode pred, primjerice, metodom eksperimentalne modalne analize (EMA) kod koje je potrebno znati parametre pobude, je u tome što se za provedbu mogu koristiti ambijentalne vibracije (vjetar, promet i sl.), što podrazumijeva jednostavnije i jeftinije provođenje ispitivanja te neometano korištenje konstrukcije tijekom ispitivanja [1,2].

U radu je pokazano da su na terenskom ispitivanju uspješno korišteni hardver i softver za provedbu dinamičkih ispitivanja koje posjeduje Laboratorij za konstrukcije Građevinskog fakulteta u Rijeci. Na konstrukciji su izmjereni vlastiti oblici vibriranja te pripadne vlastite frekvencije i prigušenja. Dinamički parametri dobiveni terenskim mjerenjima primjenom OMA metode uspoređeni su sa dinamičkim parametrima dobivenim na numeričkom modelu nathodnika Malonji.

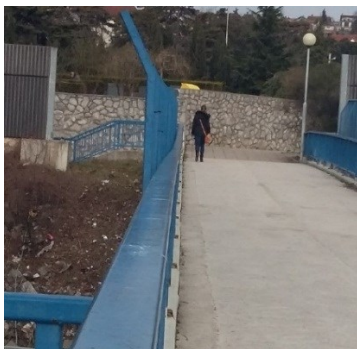
2. Opis konstrukcije nathodnika Malonji

Pješački nathodnik Malonji (Slika 1) premošćuje riječku obilaznicu na km 6+452,00. Udaljen je 640 metara od čvora Dirače u smjeru Zagreba. Nathodnik je izveden kao armiranobetonska okvirna konstrukcija s potporama u obliku trokuta (V stupovi).

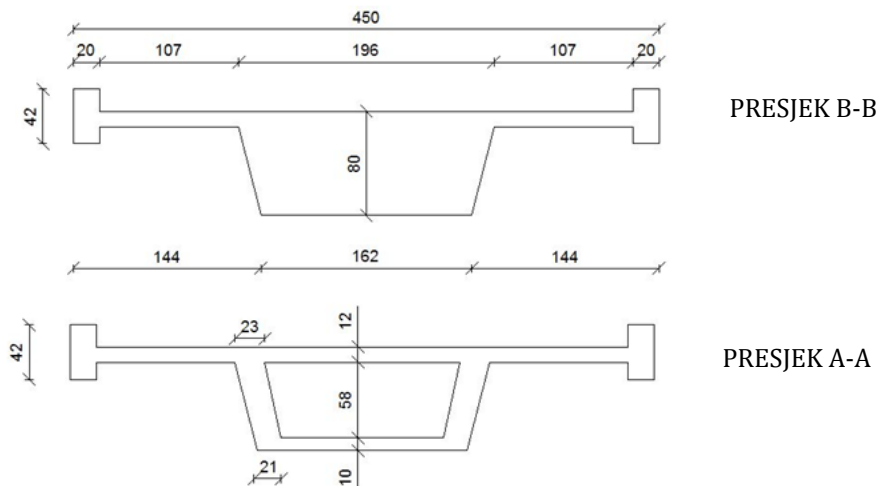


Slika 1. Pogled na most Malonji [3]

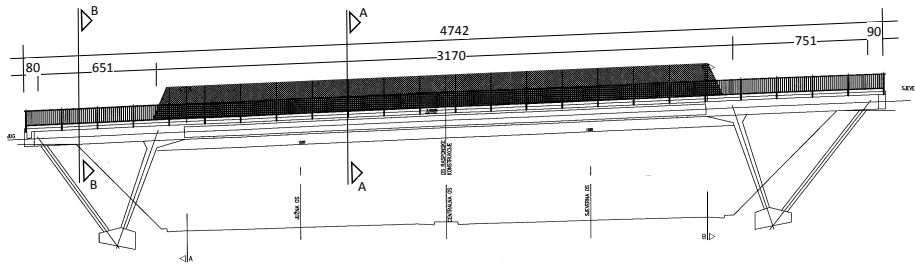
Ukupna dužina mosta iznosi 47,42 m, a ukupna širina 4,50 m. Korisna širina mosta iznosi 4,10 m. Cijelom dužinom pomosta (rasponske konstrukcije iznad stupova) izvedena je čelična ograda visine 1,0 m, a u dužini srednjeg polja izvedena je i zaštitna čelična ograda visine 2,0 m. Na hodnoj površini iznad armiranobetonske konstrukcije pomosta nema dodatnih slojeva (Slika 2). V stupovi su izvedeni tako da su krajnji stupovi, koji su ukopani u nasip, konstantnog punog poprečnog presjeka, dok su unutarnji, vidljivi stupovi promjenjivog punog poprečnog presjeka (Slike 1 i 4). Poprečni presjek rasponske konstrukcije nad stupovima (pomosta) je promjenjiv. U području između V stupova poprečni presjek je puni a u srednjem polju je šuplji (Slika 3). Vanjske dimenzije presjeka jednake su cijelom dužinom pomosta.



Slika 2. Pogled na hodnu površinu nathodnika Malonji [4]



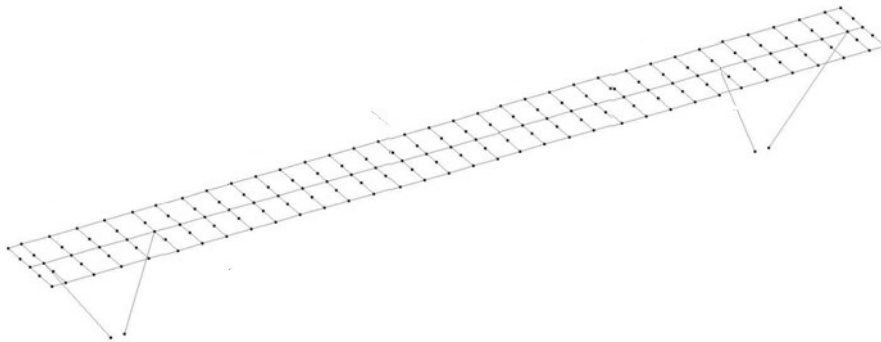
Slika 3. Poprečni presjeci pomosta (gore: puni presjek, dolje: šuplji presjek) [4]



Slika 4. Uzdužni presjek nathodnika [3]

3. Numerički model

Prije ispitivanja konstrukcije potrebno je izraditi numerički model na kojem će se proračunati dinamički parametri koji će se kasnije utvrditi terenskim ispitivanjima. Prednost prethodnog numeričkog proračuna je u tome da se na temelju numerički određenih oblika titranja mogu bolje predvidjeti stupnjevi slobode koji će se mjeriti, čime je olakšana izrada geometrijskog modela koji je podloga za provedbu mjerenja. Iz terenskih mjerenja uporabom OMA metode mogu se odrediti osnovni vlastiti oblici vibriranja i njima pridružene vlastite frekvencije te koeficijenti prigušenja konstrukcije mosta. Proračunom na numeričkom modelu nije moguće dobiti prigušenja, pa će se izračunati vlastiti oblici vibriranja i pripadne vlastite frekvencije konstrukcije mosta.



Slika 5. Numerički model - prikaz štapnog prostornog modela

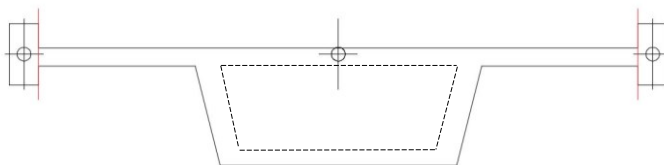
Numerički model izrađen je u programskom paketu STAAD.Pro. Most je modeliran na pojednostavljeni način kao trodimenzionalni štapni model (Slika 5). Model je izrađen od ukupno 246 štapnih elemenata: 4 štapna elementa kojima se modeliraju V stupovi, 102 uzdužnih i 140 poprečnih

štapnih elemenata kojima se modelira pomost. Spoj stupova s temeljem modeliran je kao upeta veza. U modelu su zadana sljedeća svojstva materijala: modul elastičnosti $E=3,3 \cdot 10^7$ kN/m², Poissonov koeficijent $\mu=0,2$ i obujamska težina betona $\gamma=25$ kN/m³.

3.1. Modeliranje geometrije

Potpore konstrukcije, izvedene kao V stupovi, modelirane su s po jednim štapom za svaki stup. Vanjski su stupovi modelirani kao pravokutni poprečni presjek širine 120 cm i visine 30 cm. Dužina vanjskog stupa sa sjeverne strane mosta iznosi 6,77 m, a s južne strane 7,17 m. Unutarnji stupovi V potpora promjenjivog su poprečnog presjeka. Dimenzija presjeka od 140 x 53 cm na spoju elementa s konstrukcijom mosta se prema spoju s temeljem linearno smanjuje do dimenzije 140 x 30 cm. Unutarnji stup na sjevernoj strani mosta dužine je 5,78 m, dok je njegova dužina na južnoj strani mosta 5,89 m. Konačne štapne elemente kojima se modeliraju unutarnji stupovi u programskom paketu STAAD.Pro moguće je definirati geometrijski kao trapezne elemente sa stvarnim dimenzijama na temelju kojih program izračunava geometrijske karakteristike i pridružuje ih pojedinom štapnom elementu [3,4].

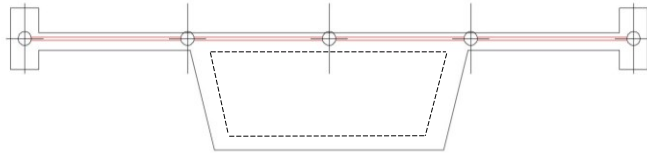
Pomost je u uzdužnom smjeru modeliran konačnim štapnim elementima smještenima u tri uzdužne linije u kojima su koncentrirane mase. Središnja linija smještena je u osi poprečnog presjeka konstrukcije, a štapovi u toj liniji imaju geometrijske karakteristike središnje šupljeg ili punog presjeka i konzola. Druge dvije linije smještene su u osi krajnjih betonskih elemenata (vijenaca), a štapovi u tim linijama imaju geometrijske karakteristike vijenca (Slika 6). Geometrijske karakteristike štapnih konačnih elemenata mogu se naći u [3,4].



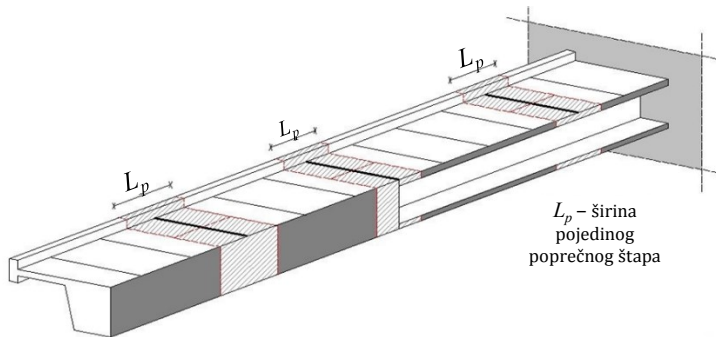
Slika 6. Položaj linija uzdužnih štapnih elemenata pomosta

U poprečnom smjeru pomost se modelira na način da se osim čvorova u osi mosta i u rubnim uzdužnim elementima dodaju čvorovi na mjestima gdje konzola izlazi iz glavnog presjeka, bez obzira radi li se o punom ili šupljem poprečnom presjeku. Spajanjem dobivenih točaka dobivaju se četiri poprečna štapna elementa (Slika 7). Širina pojedinog štapnog konačnog elementa L_p određena je kao polovica udaljenosti između susjednih štapnih

elementa (Slika 8). Geometrijske karakteristike poprečnih štapnih konačnih elemenata mogu se naći u [3,4].



Slika 7. Raspodjela poprečnih štapnih elemenata pomosta



Slika 8. Shema za određivanje geometrijskih karakteristika poprečnih štapnih elemenata [4]

3.2. Modeliranje opterećenja

Za dinamički proračun konstrukcije kojim se izračunavaju vlastite frekvencije i vlastiti oblici vibriranja potrebno je zadati opterećenje od vlastite težine i dodatno stalno opterećenje.

Opterećenja u modelu su definirana na način da u svakome čvoru djeluje opterećenje od vlastite težine koje je jednako u sva tri pozitivna smjera [3,4]. Opterećenja od vlastite težine na štapnim elementima kojima se modeliraju V potpore određena su naredbom „Selfweight“ (program sam računa vlastitu težinu kada se elementu zadaju njegove geometrijske i materijalne karakteristike). Ista naredba nije se mogla primijeniti na model pomosta pa su sile u čvorovima konačnih elemenata od vlastite težine izračunate da se za svaki čvor odredi volumen koji „pripada“ tom čvoru i pomnoži s obujamskom težinom betona. U rubnim čvorovima, uz vlastitu težinu, dodana je i težina zaštitne ograde (uz $g = 0,5 \text{ kN/m}$).

3.3. Rezultati numeričke analize

Na numeričkom modelu opterećenom vlastitom težinom i stalnim dodatnim opterećenjem proveden je dinamički proračun u svrhu

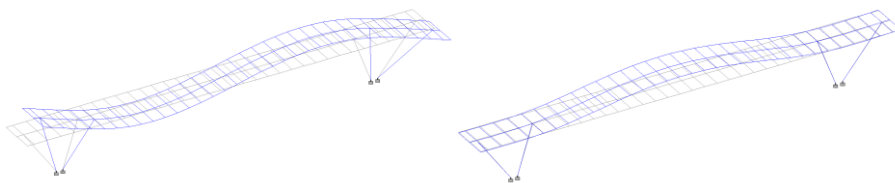
utvrđivanja podatka o vlastitim oblicima vibriranja i pripadajućim frekvencijama.

Izračunate vlastite frekvencije za prvih 15 vlastitih oblika vibriranja prikazane su u Tablici 1.

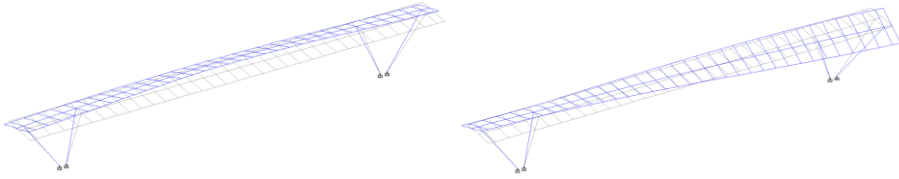
Tablica 1. Izračunate vlastite frekvencije konstrukcije

Broj izračunatog vlastitog oblika	Izračunata vlastita frekvencija [Hz]
1	2,251
2	2,587
3	3,66
4	4,921
5	6,091
6	7,434
7	8,552
8	12,746
9	13,522
10	15,118
11	15,943
12	16,862
13	17,975
14	17,990
15	18,32

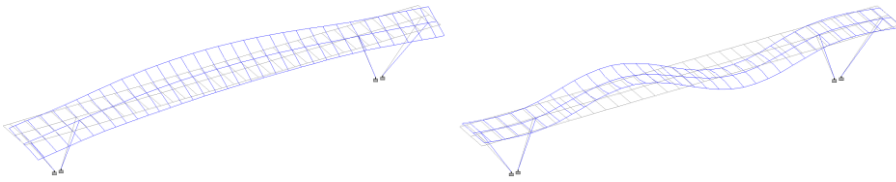
Na Slikama 9 do 16 prikazani su izračunati vlastiti oblici vibriranja.



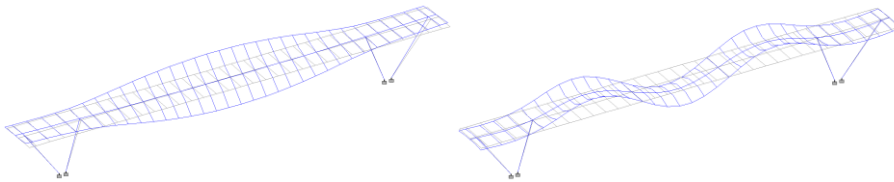
Slika 9. Prikaz prvog i drugog izračunatog vlastitog oblika vibriranja ($f_1=2,251$ Hz; $f_2=2,587$ Hz)



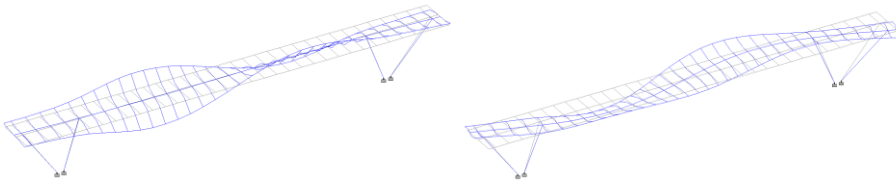
Slika 10. Prikaz trećeg i četvrtog izračunatog vlastitog oblika vibriranja ($f_3=3,66$ Hz; $f_4=4,921$ Hz)



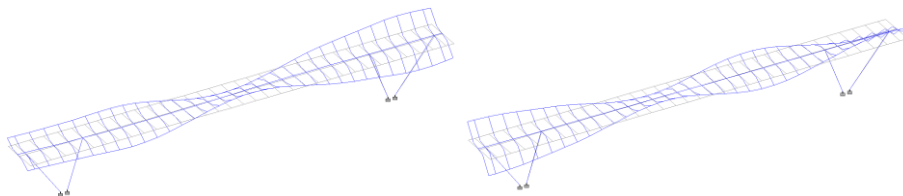
Slika 11. Prikaz petog i šestog izračunatog vlastitog oblika vibriranja ($f_5=6,091$ Hz; $f_6=7,434$ Hz)



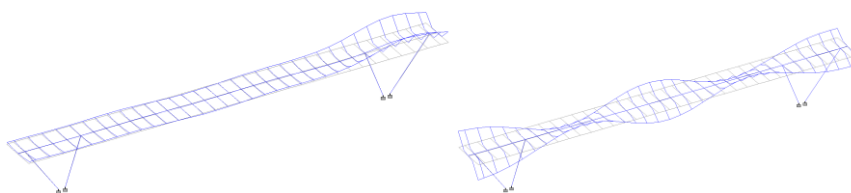
Slika 12. Prikaz sedmog i osmog izračunatog vlastitog oblika vibriranja ($f_7=8,552$ Hz; $f_8=12,746$ Hz)



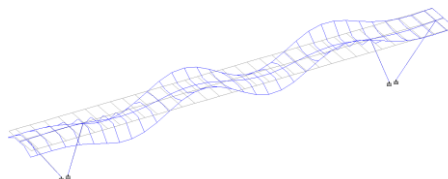
Slika 13. Prikaz devetog i desetog izračunatog vlastitog oblika vibriranja ($f_9=13,522$ Hz; $f_{10}=15,118$ Hz)



Slika 14. Prikaz jedanaestog i dvanaestog izračunatog vlastitog oblika vibriranja ($f_{11}=15,943$ Hz; $f_{12}=16,862$ Hz)



Slika 15. Prikaz trinaestog i četrnaestog izračunatog vlastitog oblika vibriranja ($f_{13}=17,975$ Hz; $f_{14}=17,990$ Hz)



Slika 16. Prikaz petnaestog izračunatog vlastitog oblika vibriranja ($f_{15}=18,32$ Hz)

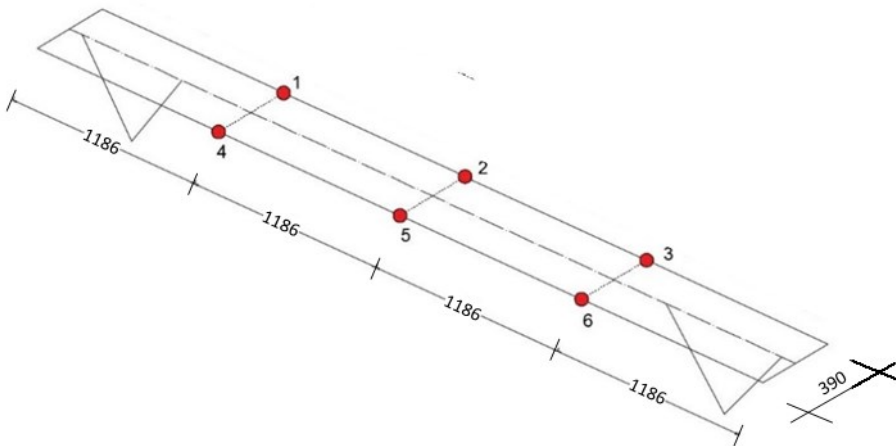
4. Dinamičko ispitivanje nathodnika Malonji

Dana 4. rujna 2017. godine provedeno je dinamičko ispitivanje konstrukcije nathodnika Malonji (Slika 17).

Oprema za ispitivanje sastojala se od prijenosnog računala na kojeg je putem uređaja za kondicioniranje signala bilo spojeno šest jednoosnih akcelerometara osjetljivosti 100 mV/g, a koji se napajao iz prijenosne baterije.



Slika 17. Postavljanje opreme za ispitivanje [3]



Slika 18. Pozicije akcelometara na mostu (u cm)

Akcelometri su bili postavljeni u četvrtinama duljine mosta, jednako udaljeni od osi mosta na lijevom i desnom rubu (Slika 18), pričvršćeni za konstrukciju cijanoakrilatnim fleksibilnim ljepilom (Slika 19). Nakon što su svi mjerni instrumenti postavljeni i kalibrirani, povezani su na računalni program ModalVIEW u kojem su ulazni signali obrađivani u realnom vremenu. Jednoosnim akcelometrima su mjerena ubrzanja u vertikalnom smjeru (vertikalni stupnjevi slobode).



Slika 19. Pričvršćenje akcelerometra na konstrukciju

4.1. Opis rada u programu ModalVIEW

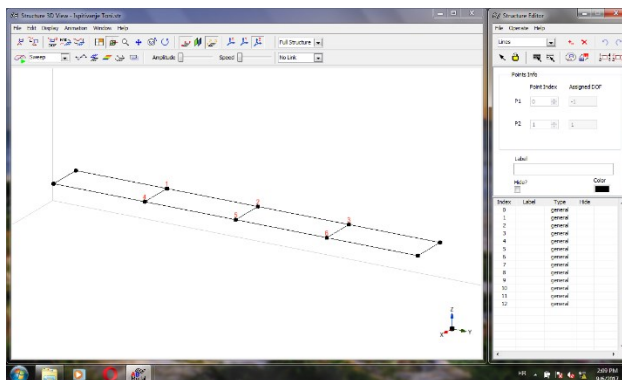
Program ModalVIEW [5] nudi dvije metode prikupljanja i obrade signala iz kojih je moguće odrediti modalne parametre konstrukcije. To su: eksperimentalna modalna analiza (EMA) i operacionalna modalna analiza (OMA). OMA metoda može se definirati kao postupak modalnog ispitivanja koji omogućuje eksperimentalno određivanje modalnih parametara (vlastitih frekvencija, prigušenja i vlastitih oblika) mjerenjem isključivo dinamičkog odgovora konstrukcije pri čemu nije potrebno poznavati parametre pobude, ili ih prikupljati mjerenjem. Stoga je ova metoda bila odabrana za prikupljanje i obradu signala kod provedenog terenskog ispitivanja konstrukcije, koja je pobuđena trčanjem pješaka preko mosta.

Prvi korak u korištenju ModalVIEW platforme je generiranje geometrije konstrukcije u za to predviđenom izborniku. U izborniku je moguće zadati proizvoljan broj točaka („points“) kojima se definiraju položajne koordinate, a koje predstavljaju točke na konstrukciji. Za svaku točku je potrebno definirati snima li se u njoj signal ili ne. Svakoj točki je potrebno definirati stupnjeve slobode, ovisno o njenom položaju na konstrukciji i mogućim pomacima. Točke na mjestima oslonaca u kojima je spriječen pomak u nekom smjeru definiraju se kao nepomične u tom smjeru. Točke se međusobno povezuju linijama da se dobije željeni oblik konstrukcije.

Idući korak je definiranje postavki vezanih za mjerenja: povezivanje ModalVIEWa s uređajem za prikupljanje i kondicioniranje podataka na koji su povezani akcelerometri, definiranje postavki uređaja za prikupljanje i kondicioniranje podataka, odabir kanala na koji su spojeni akcelerometri, definiranje karakteristika akcelerometara, razlučivosti signala i sl.

Nakon podešenih parametara mjerenja, potrebno je definirati parametre i način snimanja signala (vremenski zapis, FRF-EMA, FRF-OMA ili FFT spektar). Tek nakon provedenih svih prethodnih koraka moguće je

započeti ispitivanje, tj. prikupljanje i obradu signala prikupljenih tijekom dinamičkog ispitivanja.

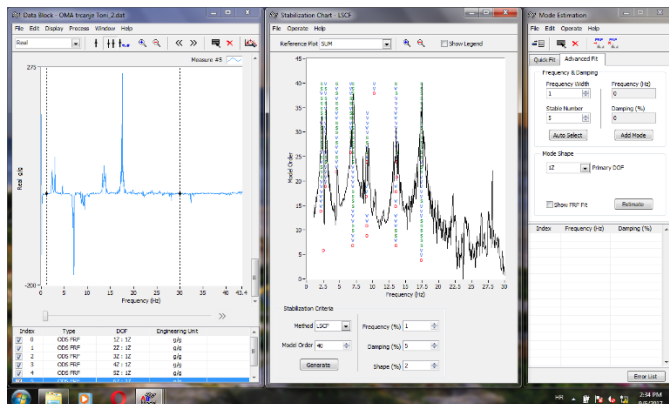


Slika 20. Model konstrukcije u programu ModalVIEW [3]

Za potrebe terenskog ispitivanja mosta Malonji, na kojem su ispitivači prvi puta koristili OMA metodu, u programu ModalVIEW izrađen je vrlo jednostavan geometrijski model koji se sastoji od 10 točaka povezanih linijama na način da tvore konstrukciju pomosta (Slika 20). Točke u kojima se prikuplja signal (položaji akcelerometara) označene su brojevima 1 do 6. Ostale točke predstavljaju mjesta završetka pomosta i definirane su kao nepomične (mjesta oslanjanja pomosta na krajnje stupove V stupova).

Detaljni postupak izrade modela, definiranja potrebnih parametara za prikupljanje i obradu prikupljenih signala može se naći u [3].

ModalVIEW rezultate mjerenja odziva konstrukcije sa svih spojenih mjernih instrumenata spaja i pretvara u jedan, jedinstveni, homogeni rezultat odziva konstrukcije. U izborniku je moguće odabrati više opcija prikaza rezultata. U ovom ispitivanju bilo je potrebno odrediti vlastite oblike vibriranja i njihove pripadne frekvencije i prigušenja pa je korištena opcija „Mode estimation“. Za izdvajanje vršnih vrijednosti dobivenog prikaza signala korištena je opcija „Advanced Fit“ (Slika 21). „Advanced Fit“ metoda koristi stabilizacijske dijagrame iz kojih, pomoću više metoda (LSCF i SSI algoritmi), izolira stabilne vršne vrijednosti te iz njih konstruira vlastite oblike konstrukcije. Program izračunava i prigušenje za svaki vlastiti oblik vibriranja.



Slika 21. Prikaz frekvencijske dekompozicije i stabilizacijskih dijagrama [3]

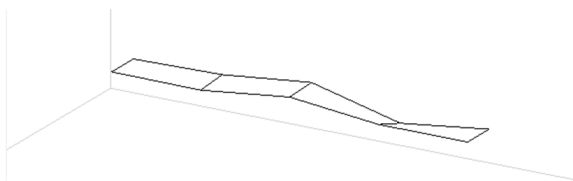
4.2. Rezultati ispitivanja - OMA metoda

Uporabom programa Modalview i primjenom OMA metode za obradu snimljenih signala sa šest akcelerometara izmjerene su vlastite frekvencije konstrukcije mosta i određena pripadna prigušenja (Tablica 2).

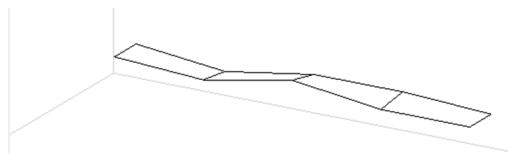
Tablica 2. Izmjerene vlastite frekvencije konstrukcije i prigušenja

Izmjereni vlastiti oblik	Izmjerena vlastita frekvencija [Hz]	Izmjereno prigušenje [%]
1	2,666	2,742
2	7,173	0,967
3	12,81	1,454
4	17,22	0,730

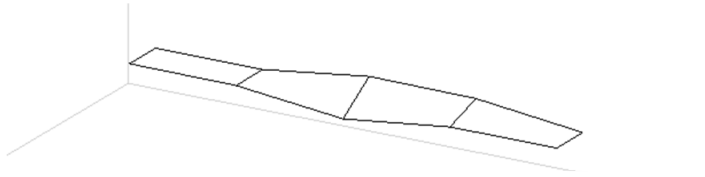
Na Slikama 22 – 25 prikazani su izmjereni vlastiti oblici vibriranja.



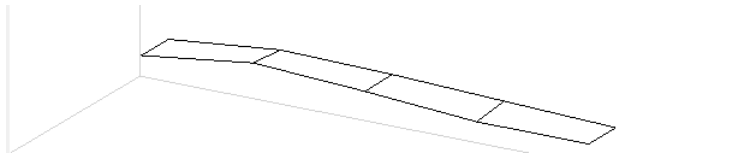
Slika 22. Prikaz prvog izmjenenog vlastitog oblika vibriranja



Slika 23. Prikaz drugog izmjenenog vlastitog oblika vibriranja



Slika 24. Prikaz trećeg izmjenenog vlastitog oblika vibriranja



Slika 25. Prikaz četvrtog izmjenenog vlastitog oblika vibriranja

5. Usporedba rezultata

U Tablici 3 dana je usporedba izračunatih i izmjerenih vlastitih frekvencija mosta Malonji.

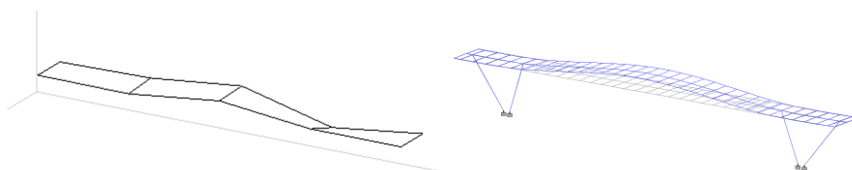
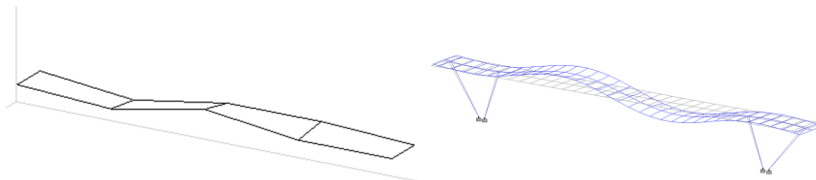
Usporedbom vlastitih frekvencija može se zaključiti sljedeće:

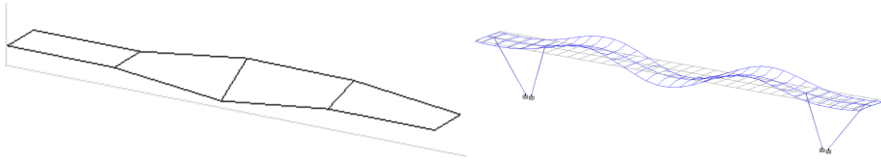
- prvi izmjereni vlastiti oblik frekvencijom je najbliži drugom izračunatom vlastitom obliku vibriranja (odstupanje 3 %)
- drugi izmjereni vlastiti oblik frekvencijom je najbliži šestom izračunatom vlastitom obliku vibriranja (odstupanje 3,5 %)
- treći izmjereni vlastiti oblik frekvencijom je najbliži osmom izračunatom vlastitom obliku vibriranja (odstupanje 3 %)
- četvrti izmjereni vlastiti oblik frekvencijom je najbliži izračunatom dvanaestom vlastitom obliku vibriranja (odstupanje 2,1 %) iako je vrlo blizu i trinaestom i četrnaestom izračunatom vlastitom obliku vibriranja (odstupanje 4,2 % i 4,3 %).

Tablica 3. Usporedba vlastitih frekvencija konstrukcije

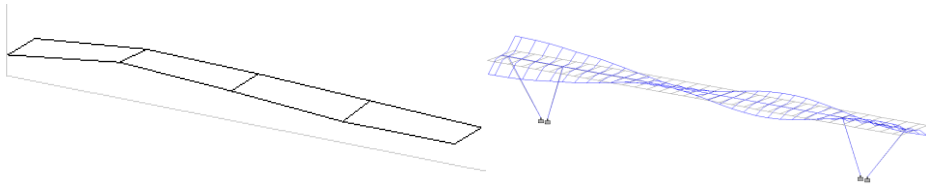
Izračunati vlastiti oblik	Izračunata vlastita frekvencija [Hz]	Izmjereni vlastiti oblik	Izmjerena vlastita frekvencija [Hz]	Razlika izmjerene i izračunate frekvencije [%]
1	2,251	-	-	
2	2,587	1	2,666	3,0
3	3,660	-	-	-
4	4,921	-	-	-
5	6,091	-	-	-
6	7,434	2	7,173	-3,5
7	8,552	-	-	-
8	12,746	3	12,81	0,5
9	13,522	-	-	-
10	15,118	-	-	-
11	15,943	-	-	-
12	16,862	4	17,22	2,1
13	17,975	-	-	-
14	17,990	-	-	-
15	18,320	-	-	-

Poklapanje izmjerenih i izračunatih vrijednosti vlastitih frekvencija konstrukcije mosta Malonji, prikazanih u Tablici 3, svjedoči da izrađen numerički model dobro opisuje stvarno dinamičko ponašanje konstrukcije. Usporedba vlastitih oblika vibriranja može se vidjeti na Slikama 26 – 29.

**Slika 26.** Usporedba prvog izmjenog i drugog izračunatog vlastitog oblika vibriranja**Slika 27.** Usporedba drugog izmjenog i šestog izračunatog vlastitog oblika vibriranja



Slika 28. Usporedba trećeg izmjenenog i osmog izračunatog vlastitog oblika vibriranja



Slika 29. Usporedba četvrtog izmjenenog i dvanaestog izračunatog vlastitog oblika vibriranja

Usporedbom vlastitih oblika vibriranja se može zaključiti sljedeće:

- prvi izmjereni vlastiti oblik djelomično se poklapa s drugim izračunatim vlastitim oblikom vibriranja (u lijevom dijelu poklapanje dobro, u desnom odstupanje),
- drugi izmjereni vlastiti oblik ne poklapa se sa šestim izračunatim vlastitim oblikom vibriranja,
- treći izmjereni vlastiti oblik ne poklapa se s osmim izračunatim vlastitim oblikom vibriranja,
- četvrti izmjereni vlastiti oblik poklapa se s dvanaestim vlastitim oblikom vibriranja.

6. Zaključak

Usporedbom izračunatih i izmjerenih vlastitih frekvencija može se zaključiti da su pri dinamičkom ispitivanju nathodnika Malonji izmjerene vlastite frekvencije drugog, šestog, osmog i dvanaestog vlastitog oblika vibriranja konstrukcije. Odstupanja izmjerenih i izračunanih vlastitih frekvencija su izuzetno mala (od 0,5 % do 3,5 %).

Izmjereni vlastiti oblici vibriranja se samo djelomično poklapaju sa izračunanim oblicima. Razlozi ovakvih odstupanja mogu biti sljedeći:

- mali broj mjernih mjesta (mjerenih stupnjeva slobode)
- prejednostavan geometrijski model u ModalVIEWu (mali broj točaka – stupnjeva slobode, nedostaje geometrija V stupova, točke na kraju pomosta definirane su kao nepomične),

- premala osjetljivost akcelerometara,
- niska razina pobude.

Iz izloženog se može zaključiti da je za ovakvu vrstu konstrukcije potrebno napraviti detaljniji geometrijski model u ModalVIEWu kojim bi se što je moguće bolje obuhvatio geometrijski oblik konstrukcije i rubni uvjeti (postaviti akcelerometre i na osloncima), povećati broj mjerenih stupnjeva slobode (mjerenje i u poprečnom i uzdužnom smjeru), koristiti akcelerometre veće osjetljivosti i po potrebi povećati razinu pobude da bi vlastiti oblici bili što kvalitetnije konstruirani iz izmjerenih podataka na konstrukciji izloženoj dinamičkom djelovanju.

Zahvala. Ovaj rad je dio istraživanja koja se provode u sklopu sveučilišne potpore broj 13.05.1.1.01. U radu se koristila oprema za dinamička ispitivanja nabavljena u okviru projekta Razvoj istraživačke infrastrukture na kampusu Sveučilišta u Rijeci (RC.2.2.06-0001), koji sufinanciraju Europski fond za regionalni razvoj (EFRR) i Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta RH.

Literatura

- [1] Avitabile, P. (2001) *Experimental Modal Analysis: A Simple Non-Mathematical Presentation*. <http://www.sandv.com/downloads/0101avit.pdf> (15.10.2017.)
- [2] Rainieri C., Fabbrocino G. (2014) *Operational Modal Analysis of Civil Engineering Structures*, New York: Springer
- [3] Komadina T. (2017) *Operacionalna modalna analiza nathodnika Malonji* – diplomski rad, Rijeka
- [4] Rakić I. (2017) *Dinamičko ispitivanje mosta Malonji* - diplomski rad. Rijeka
- [5] ABSignal, Getting Started With ModalVIEW. (2012)