

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОДРЕЂИВАЊЕ СОПСТВЕНИХ ФРЕКВЕНЦИЈА МОДЕЛА ОД ПЛЕКСИГЛАСА

Ђерђ Варју¹
Александар Прокић²

УДК: 624.072.2 : 001.891.5

DOI:10.14415/konferencijaGFS 2016.020

Резиме: У раду је приказан поступак за експериментално одређивање сопствених фреквенција модела израђеног од плексигласа, који има сразмерно исту геометрију као и нумерички пример узет у радовима многих аутора за анализу језгра високих зграда. Ово испитивање нуди могућност експерименталне анализе сопствених попречно-торзионих вибрација језгра високих зграда у саставу са попречним гредама и међуспратним плочама. Резултати су упоређени са резултатима добијеним помоћу МКЕ и показују значајно слагање.

Кључне речи: експериментални модел, ударни тест, анализа спрегнутих вибрација, сопствене фреквенције, језгро високих зграда

1. УВОД

Поузданост и применљивост нових метода за динамичку анализу танкозидних носача обично се проберава упоређивањем са другим већ познатим методама које су доступне у литератури и/или са резултатима МКЕ. Нажалост, у већини случајева недостаје упоређивање са експерименталним резултатима, нарочито кад је у питању танкозидни носач отвореног попречног пресека. Један начин за проверу поузданости метода прорачуна је примена те методе на експерименталном моделу. За упоређивање служе резултати прорачуна, који се могу добити и експерименталним путем. Ове карактеристике су најчешће првих неколико најнижих сопствених фреквенција модела.

Један од начина за одређивање сопствених фреквенција модела је снимање амплитудо-фазних карактеристика вибрација у стању резонанције. Аутори Falco и Gasparetto [1], Klausbruckner и Priputniewicz [2] танкозидни експериментални модел тестирали су тако што су га побуђивали хармонијском побудом. Wu, Qian, Fang и Yan [3] испитивали су експерименталне моделе од плексигласа на вибростолу (shaking-table).

¹ мр Ђерђ Варју, дипл.инж. грађ., Универзитет у Новом Саду, Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, Суботица, Србија, тел: 024 554 300, e-mail: varjuy@gf.uns.ac.rs.

² др Александар Прокић, дипл.инж. грађ., Универзитет у Новом Саду, Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, Суботица, Србија, тел: 024 554 300, e-mail: aprokic@eunet.rs.

Други начин је мерење динамичког одзива модела, који се побуђује ударом. Ambrosini у радовима [4] и [5], у циљу доказивања валидности своје методе прорачуна, танкозидне носаче од алуминијума је испитивао ударним тестом. Резултате својих прорачуна је упоредио са резултатима експеримента као и резултатима добијеним МКЕ.

У овом раду приказан је поступак за експериментално одређивање сопствених фреквенција плексиглас модела ударним тестом. Геометрија модела је приближно сразмеран нумеричком примеру који је коришћен у радовима Smith и Taranath [6], Heidebrecht и Smith [7] и Liauw и Luk [8] за анализу језгра високих зграда. С обзиром да су плексиглас плоче произведене само са одређеном дебелином, није било могуће постићи потпуну геометријску сличност модела са нумеричким примером. Резлтати динамичког испитивања упоређени су са резултатима добијеним апликацијом SAP 2000.

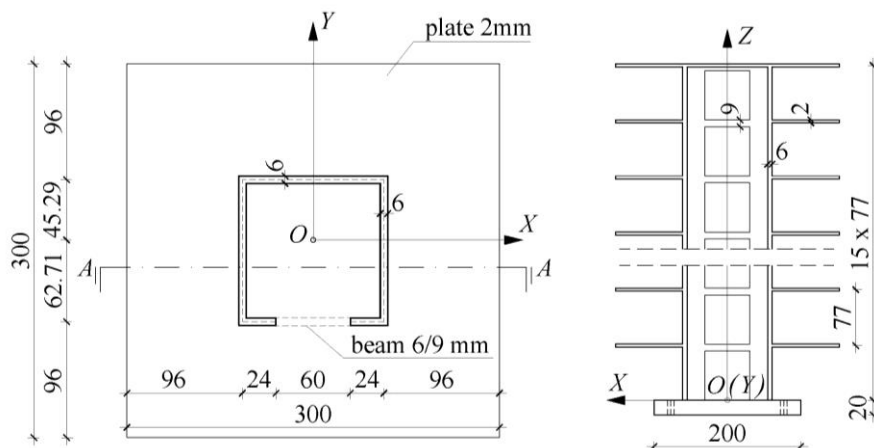
2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ МОДЕЛ

Експериментални модел је састављен од плексиглас (PLEXIGLAS XT) плоча дебљине 2мм, 6мм и 10мм и лепљен је специјалним лепком ACRIFIX®109. При грађењу модела коришћен је дрвени калуп. Детаљ израде модела и калуп је приказан на слици 1.



Слика 1. Детаљи калупа

Модел на доњем делу у циљу темељења залепљен је за две међусобно залепљене плексиглас плоче дебљине 10мм, које су причвршћене за челичну плочу дебљине 5мм са 4 завртња М8. Челична плоча је везана са непокретну подлогу са 4 завртња М8. Геометријски подаци модела приказани су на слици 2.



Слика 2. Основа и попречни пресек експерименталног модела

Постоји сличност између нумеричког примера и плексиглас модела по димензији елемената према табели 1.

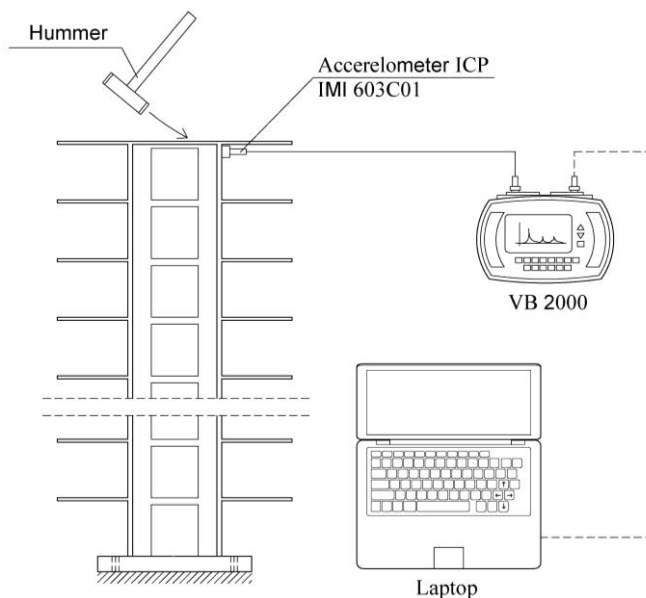
Табела 1. Геометријски подаци елемената примера и плексиглас модела

Геометријске карактеристике елемената	П	одел	азмера
	ример [mm]	[mm]	
Висина греде	457	9	1:50.778
Дужина греде	3048	60	1:50.800
Дебљина плоче	100	2	1:50.000
Ширина плоче	15240	300	1:50.800
Спратна висина	3810	77	1:49.481
Дебљина зида језгра	305	6	1:50.833

Међусобни однос димензије модела оправдава да језгро буде третирано као танкозидни носач отвореног попречног пресека, који је на дну укљештен у темељну плочу, док је на врху слободан. Језгро је на нивоу спратова повезано са међуспратним плочама и попречним гредама, које делују као попречна укрућења.

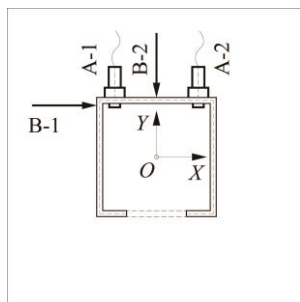
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА АНАЛИЗА

За мерење динамичког одзива модела коришћена су два претварача типа IMI ICP® Accelerometer-a, модел 603C01. Снимљени сигнал је добијен, а потом обрађен помоћу VB2000™ FFT анализатора динамичког сигнала, произвођача Comtest Instruments са Новог Зеланда. Анализатор поседује фабрички уграђену функцију Vump Test [9], једноставну методу за анализу сопствене фреквенције машине и конструкције. Побуђивање експерименталног модела вршено је чекићем масе 200г. Мерни ланац приказан је на слици 3.



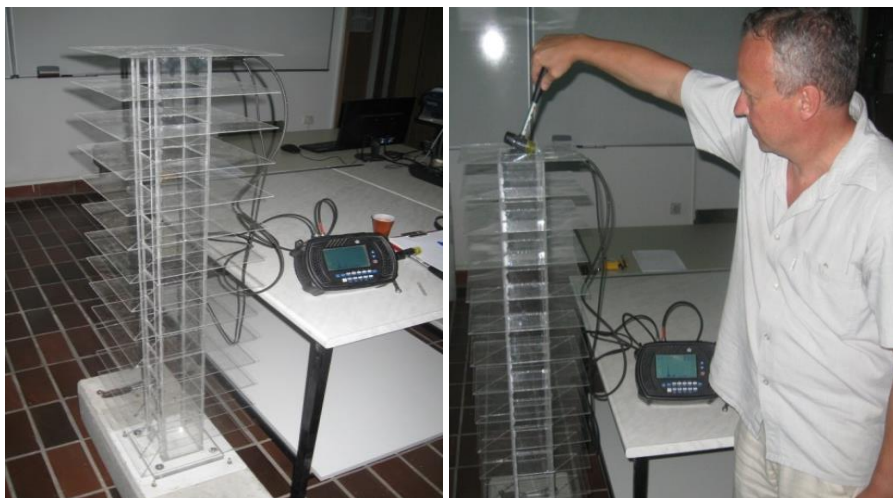
Слика 3. Мерни ланац за одређивање сопствених фреквенција модела

Приликом мерења узете су четири снимка у временском домену, које анализатор брзом Fourier-овом трансформацијом одмах претвара у фреквентни спектар. Применом методе осредњивања, тзв. "peak hold averaging", добија се резултујући фреквентни спектар, који инструмент складишти у меморију. Након пребацивања снимљених података из инструмента у рачунар, даље се ови анализирају софтвером ASCENT 2007+ [10], развијеним за обраду и анализе вибрационих снимака. За положај претварача биране су тачке A-1 и A-2 на горњем крају експерименталног модела (види слике 4. и 5.). Претварачи у овој позицији су побуђени при три најнижа тона модела а сачувана је и симетричност модела. Претварачи су за модел причвршћени вијцима M5. Један претварач (A-1) је довољан за идентификацију сопствених фреквенција. Други је коришћен само за верификацију. Места и правци ударања чекићем су такође приказани на слици 4.



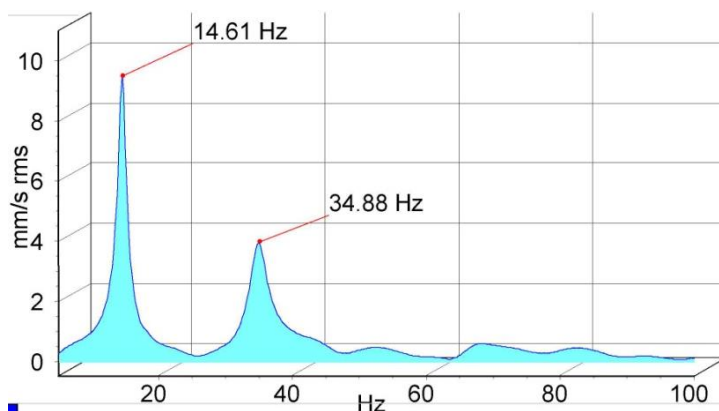
Слика 4. Позиција претварача и правац побуђивања на моделу

В-1 служи за побуђивање спрегнутих вибрација у правцу осе X и око вертикалне осе. В-2 побуђује вибрације у правцу Y осе. Експериментални модел и његово побуђивање је приказан на слици 5.



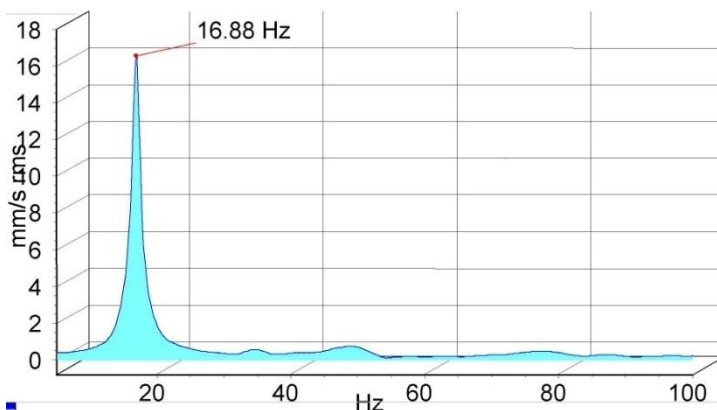
Слика 5. Експериментални модел и његово побуђивање чекићем

Сопствене фреквенције модела одговарају местима врхова на фреквентним спектрима. Дати врхови и припадајуће фреквенције се лако одређују помоћу софтвера ASCENT 2007+. Приказ снимљених спектра са експерименталних модела дати су на слици 6 и на слици 7. На овим спектрима назначени су врхови и припадајуће фреквенције.



Слика 6. Фреквентни спектар снимљен са модела при побуђивању В-1

На фреквентном спектру на слици 6. врхови показују најниже сопствене фреквенције при спрегнутим вибрацијама модела. Најнижа сопствена фреквенција модела при вибрацији у правцу осе Y приказана је на слици 7.



Слика 7. Фреквентни спектар снимљен са модела при побуђивању В-2

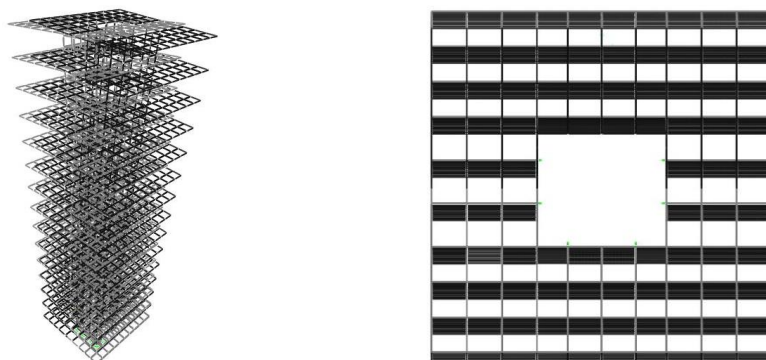
4. АНАЛИЗА СА МКЕ

При анализи експерименталног модела са апликацијом SAP2000 језгро је моделирано са 540 комада "Four-node Quadrilateral Shell" елемената. Међуспратне плоче су моделиране са истим елементима, 90 комада по плочи. Свака попречна греда моделирана је са 2 комада "Frame Elements of Rectangular shape" елемената. Чворови језгра су потпуно укљештени на нивоу темељне плоче. Чворови дуж спољне ивице плоча су без ослањања. Вертикално померање плоче и језгра је компатибилна на месту споја. Маса претварача који износи 85г додаје се у облику "Joint Mass" у чворовима, где су причвршћени. Модуло еластичности плекциглас плоча одређен је експериментално у лабораторији за грађевинске материјале Грађевинског факултета у Суботици и износи $E=3000 \cdot 10^3 \text{N/mm}^2$. Остале физичке карактеристике које су потребне за анализу преузете су са вебсајта произвођача "Evonik" [11] а то су: модуло клизања $G=1095 \cdot 10^3 \text{N/mm}^2$ и густина $\rho=1.190 \cdot 10^6 \text{kg/mm}^3$.

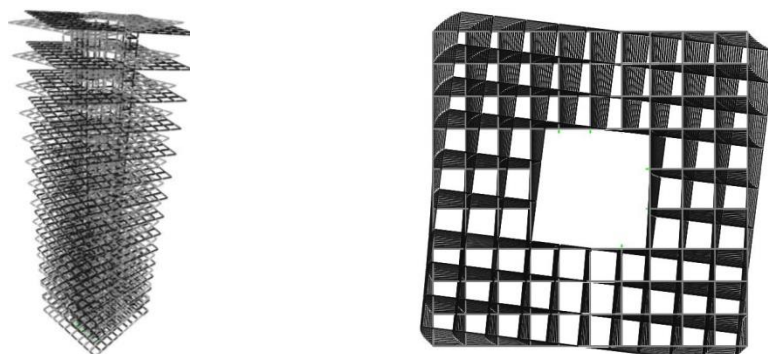
Прва три најнижа тона модела која су добијена апликацијом SAP 2000 приказана су на сликама 8., 9. и 10.



Слика 8. Први тон модела



Слика 9. Други тон модела



Слика 10. Трећи тон модела

Први и трећи тон одговарају попречно-торзионој вибрацији модела ($X-\Phi$) у правцу X осе и око вертикалне осе. Модел по другом тону осцилира само попречно (Y), у правцу осе симетрије Y .

Нумеричке вредности сопствених фреквенција који су добијени експериментално и апликацијом SAP2000, као и њихово упоређивање приказани су у табели 2.

Табела 2. Резултати анализе експерименталног модела

Тон вибрације		Bump Test		SAP 2000	Релативна грешка
j	Облик	Побуда	[Hz]	[Hz]	
1.	$X-\Phi$	B-1	14.61	15.22	4.18 %
2.	Y	B-2	16.88	18.00	6.64 %
3.	$X-\Phi$	B-1	34.88	33.14	-4.99 %

Вредности сопствених фреквенција показују значајно слагање између резултата експеримента и прорачуна. Облик тонова се исто слаже. Наведени начин за одређивање сопствених фреквенција је довољно поуздан за ову врсту модела. Иако

је проучавање облика тона ван обима овог рада, комбинација експерименталних теста и анализе помоћу SAP 2000 омогућава идентификацију облика тона.

5. ЗАКЉУЧАК

У оквиру рада даје се приказ поступка за одређивање сопствених фреквенција плексиглас модела експерименталним путем. При томе је описан модел и дају се детаљи о експерименту. Сопствене фреквенције модела су одређени и апликацијом SAP 2000. Резултати експеримента и прорачуна се добро слажу.

На основу наведене анализе могу се закључити следеће:

- Језгра високих зграда се могу довољно тачно моделирати са умањеним плексиглас моделима, када је у питању анализа сопствених фреквенција.
- Приказани поступак нуди могућност доказа поузданости и примељивости нових метода за прорачун сопствених фреквенција танкозидних носача отвореног попречног пресека.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Falco, M., Gasparetto, M.: Flexural-torsional vibrations of thin-walled beams. *Meccanica*, **1973.**, vol. 8, бр. 3, стр. 181-189.
- [2] Klausbruckner, M.J., Pryputniewicz, R.J.: Theoretical and experimental study of coupled vibrations of channel beams. *Journal of Sound and Vibration*, **1995.**, vol. 183, бр. 2, стр. 239-252.
- [3] Wu, M., Qian, J., Fang, X., Yan, W.: Experimental and analytical studies on tall buildings with high level transfer story. *Struct. Design. Tall Spec. Build.*, **2007.**, vol. 16, стр. 301-319.
- [4] Ambrosini, D.: On free vibration of nonsymmetrical thin-walled beams, *Thin-Walled Structures.*, **2009.**, vol. 47, стр. 629-636.
- [5] Ambrosini, D.: Experimental validation of free vibrations from nonsymmetrical thin-walled beams, *Engineering Structures.*, **2010.**, vol. 32, стр. 1324-1332.
- [6] Smith, B.S., Taranath, B.S.: The analysis of tall core-supported structures subject to torsion, *Proc.-Inst. Civ. Eng.*, **1972.**, vol. 53, стр. 173-187.
- [7] Heidebrecht, A.C., Smith, B.S.: Approximate analysis of open-section shear walls subject to torsional loading, *Journal of the structural division.*, **1973.**, vol. 99, стр. 2355-2373.
- [8] Liauw, T.C., Luk, W.K.: Torsion of core walls of nonuniform section, *Journal of the Structural division.*, **1980.**, vol. 106, стр. 1921-1931.
- [9] VB 2000 Instrument reference guide, Commtest Instruments Ltd, Christchurch, Нови Зеланд, **2006.**
- [10] Ascent software reference guide, Commtest Instruments Ltd, Christchurch, Нови Зеланд, **2007.**
- [11] <http://www.plexiglas.net/product/plexiglas/Documents/PLEXIGLAS/211-1-PLEXIGLAS-GS-XT-en.pdf>, преузето 05.03.2016

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE NATURAL FREQUENCIES OF THE PLEXIGLASS MODEL

Summary: *This paper presents a method for the experimental determination of the natural frequencies of models made of plexiglass, which have proportionally the same geometry, as well as numerical examples examined in the papers of a number of authors in order to analyze the core of tall buildings. This test offers the experimental analysis of lateral-torsional vibrations of tall buildings core supported by transverse beams and floor slabs. The results are compared with those obtained by FEM and show significant agreement.*

Keywords: *Experimental model, bump test, coupled vibration analysis, natural frequency, tall buildings core*