

# ANALIZA EXPERIMENTALĂ A DINAMICII PODURILOR DIN BETON ARMAT SUPUSE ACȚIUNILOR DIN TRAFIC

Drăgan Nicușor, Conf. dr. ing., Facultatea de Inginerie din Brăila, Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați  
Potârniche Aurora, Asistent drd. ing., Facultatea de Inginerie din Brăila

This paper proposes an approach of the experimental study of the dynamics of a reinforced concrete bridge made by a number of twenty U beams and beared by eighty identically neoprene supports (four bearings for each concrete beam). The experiments were made in site on Transylvania highway, on the viaduct situated on km 29+602,75 - km 29+801,25 by the specialists from Vibration and Acoustic Laboratory of the Research Institute for Construction Equipment and Technology - ICECON S.A. Bucharest with the help of the Research Center of Machines, Mechanic and Technological Equipments – MECMET from Dunarea de Jos University of Galati. The vibrations of the bridge were caused by passing with different speeds of a forty tons truck over an obstacle mounted on the bridge surface. The experimental data were acquainted on three channels (accelerations on the axis x, y and z) by a four channel data acquisition interface from National Instrument (NI 9233) through the USB port of a PC workstation. The experimental data were processed by a adequate calculus programme developed on ICECON S.A. Bucharest on the basis of LabView® ver. 8.5 from National Instruments.

## 1.INTRODUCERE

Legislație românească prevede ca, înainte de darea în folosință a unui pod sau viaduct situat pe un drum public, să se facă o serie de teste în vederea verificării comportamentului acestuia la solicitări statice și dinamice provenite din traficul auto. Rezultatele acestor teste (date experimentale, date prelucrate, etc.) sunt centralizate într-o bază de date aflată la dispoziția proiectantului, antreprenorului și administratorului căii rutiere în vederea obținerii feed-back-ului la operațiunile de proiectare, punere în operă și exploatare. Deasemenea, aceste date sunt utilizate și pentru monitorizarea “stării de sănătate” a structurii în vederea prevenirii defecțiunilor și a programării acțiunilor de mentenanță.

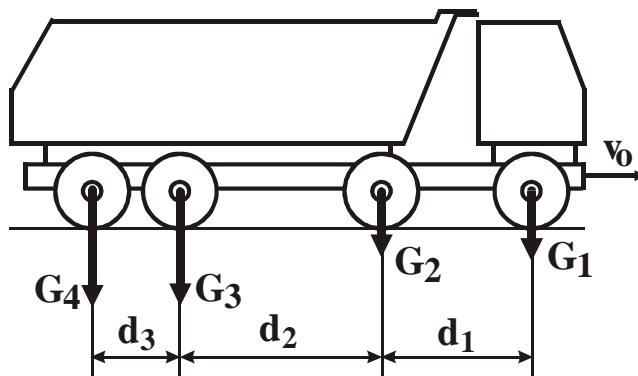


Fig. 1 Modelul simplificat al camionului cu masa de 41 de tone utilizat pentru testele dinamice

## 2.MODELAREA DINAMICĂ A INTERACȚIUNII DINTRE ROATA CAMIONULUI ȘI SUPRAFAȚA DE RULARE

În figura 1 este prezentat modelul simplificat al camionului utilizat pentru efectuarea testelor în regim dinamic. Caracteristicile dimensionale și masice sunt precizate în tabelul 1.

Tabel 1. Caracteristicile dimensionale și masice ale camionului utilizat la testările în regim dinamic

Osia i	Greutate $G_i$ [kN]	Distanța interaxe $d_i$ [m]		
		$d_1$	$d_2$	$d_3$
1	73	2,0	2,5	1,5
2	72			
3	129			
4	129			

Metoda de abordare teoretică a răspunsului dinamic a viaductului la acțiuni dinamice se bazează pe evaluarea percuțiilor individuale dintre roțile celor patru osii ale camionului și obstacole de înălțime  $h$  și forme trapezoidale (înălțimea și formele sunt standardizate). Figura 2 prezintă modelul simplificat de calcul a impactului dintre o roată a camionului și obstacolul de înălțime  $h$  în punctul **B**, după direcția normală  $\mathbf{Bn}$  (percuția  $P_n$ ) și direcția tangențială (percuția  $P_t$ ).

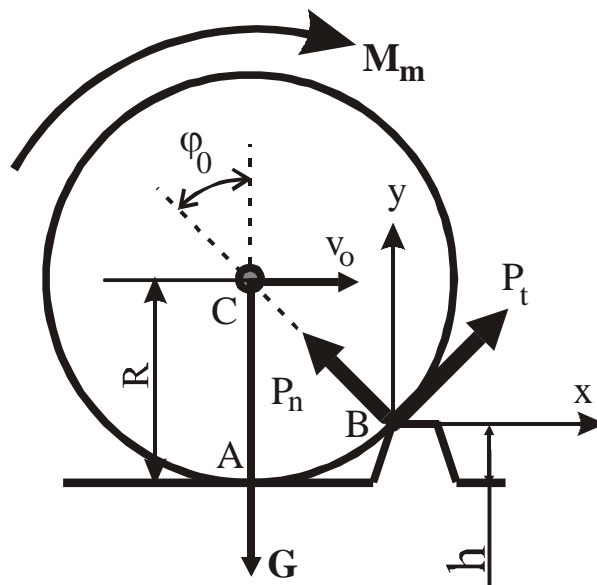


Fig. 2 Calculus sketch of the impact between the wheel and the obstacle of  $h$  height

Percuțiile după direcțiile tangențială și normală pot fi calculate cu relațiile

$$P_t = \frac{mv_0}{3}(1 - \cos \varphi_0) = \frac{Gv_0}{3g}(1 - \cos \varphi_0) \quad (1)$$

$$P_n = mv_0 \sin \varphi_0 = \frac{G}{g}v_0 \sin \varphi_0 \quad , \quad (2)$$

unde:  $v_0$  este viteza la momentul impactului cu obstacolul

$G$  - greutatea repartizată pe osie

$m$  - masa repartizată pe osie

$g$  - accelerația gravitațională

Unghiul de impact  $\varphi_0$  poate fi calculat cu relația:

$$\varphi_0 = \arccos\left(1 - \frac{h}{R}\right) \quad (3)$$

Luînd în considerare un timp de impact  $\Delta t$ , forțele de percuție în punctul **B** după direcțiile normală **B<sub>n</sub>** (forță normală) și tangențială **B<sub>t</sub>** sunt:

$$F_n = \frac{P_n}{\Delta t} = \frac{mv_0}{\Delta t} \sin \varphi_0 \quad (4)$$

$$F_t = \frac{P_t}{\Delta t} = \frac{mv_0}{3\Delta t} (1 - \cos \varphi_0) \quad (5)$$

Deoarece modelele de calcul ale podului, precum și modul de poziționare ale traductoarelor au în vedere un sistem de axe cartezian **Cxyz** cu axele orizontale și verticală, se determină forțele de percuție în punctul de impact **B** după cum urmează:

► forța de percuție orizontală (în direcția **B<sub>x</sub>**)

$$F_x = -F_n \sin \varphi_0 + F_t \cos \varphi_0 = -\frac{mv_0}{\Delta t} \sin^2 \varphi_0 + \frac{mv_0}{3\Delta t} (1 - \cos \varphi_0) \cos \varphi_0 \quad (6)$$

► forța de percuție verticală (în direcția **B<sub>y</sub>**)

$$F_y = F_n \cos \varphi_0 + F_t \sin \varphi_0 = \frac{mv_0}{\Delta t} \sin \varphi_0 \cos \varphi_0 + \frac{mv_0}{3\Delta t} (1 - \cos \varphi_0) \sin \varphi_0 \quad (7)$$

După efectuarea unor calcule simplificatoare, expresiile forțelor de percuție în **B** devin:

$$F_x = \frac{mv_0}{3\Delta t} (\cos \varphi_0 + \cos 2\varphi_0 - 2) \quad (8)$$

$$F_y = \frac{mv_0}{3\Delta t} (\sin \varphi_0 + \sin 2\varphi_0) \quad (9)$$

Dacă se ia în considerare expresia unghiului de impact (3)  $\varphi_0$ , expresiile forțelor de percuție devin:

$$F_x = \frac{mv_0}{3\Delta t} \frac{h}{R} \left(2 \frac{h}{R} - 5\right) \quad (10)$$

$$F_y = \frac{mv_0}{3\Delta t} \frac{h}{R} \left(3 - 2 \frac{h}{R}\right) \sqrt{2 \frac{R}{h} - 1} \quad (11)$$

Dacă se ia în considerare diametrul roții camionului  $D = 1200\text{mm}$ , prin utilizarea relațiilor de calcul (10) și (11), se pot calcula valorile forțelor de percuție în funcție de înălțimea obstacolului, viteza de impact și timpul de impact. În tabelul 2 sunt trecute valorile forțelor de percuție orizontală și verticală la impactul dintre prima axă a camionului ( $m \equiv m_l = 7440\text{kg}$ ) și un obstacol cu înălțimea standardizată  $h = 40\text{mm}$ , pentru diferite viteze de impact  $v_0$ , în ipoteza unei viteze constante de deplasare, fără tracțiune pe roată ( $M_m = 0$ ) și o perioadă a impactului  $\Delta t = 0,01\text{s}$ .

Tabel 2. Forțele de percuție pentru  $\Delta t = 0,01\text{s}$  (impact cu osia frontală)

Viteza de impact $v_0$ [km/h]	Forțele de percuție [kN]	
	$F_x$	$F_y$
10	-804,622	2552,329
20	-1609,244	5104,658
30	-2413,867	7656,986
50	-4023,111	12761,644

### 3.DETERMINĂRI EXPERIMENTALE. METODĂ ȘI ECHIPAMENT

Testele dinamice au fost efectuate in situ pe șantierul autostrăzii A3 Transilvania, la viaductul situat la km 29+602,75 ↔ 29+801,25 (la Săvădisla, între Târgu Mureș și Cluj) de o echipă a laboratorului de acustică și vibrații a Institutului de cercetări pentru echipamente și tehnologii în construcții ICECON S.A. București; solicitările dinamice au fost generate de trecerea unui camion cu patru osii și masa de 41 de tone peste un obstacol cu înălțimea standardizată de 4 cm (conf. STAS 12504-86), fixat cu ancore chimice pe suprafața viaductului (figura 3); vitezele de trecere peste obstacol au fost 10km/h, 20km/h, 30km/h și 50 km/h, iar testele au fost efectuate în două situații diferite de acționare a osiei motoare (nr. 2): cu și fără tracțiune. Testele dinamice in situ au fost finalizate prin înregistrarea semnalelor de accelerație provenite de la structura viaductului la trecerea camionului peste obstacolul fixat la jumătatea arcului central (între pilele P2 și P3). Achiziția semnalelor s-a făcut pe trei canale (acelerații pe axele x, y, și z) prin intermediul unei plăci de achiziție cu patru canale National Instruments (NI 9233) cuplate la portul USB al unui PC workstation portabil. Datele experimentale au fost stocate, condiționate, prelucrate/analizate și vizualizate prin intermediul unui program dezvoltat în mediul de programare LabView® ver. 8.5 (National Instruments). Semnalele de accelerație au fost înregistrate în format binar în fișiere specifice și apoi analizate în domeniul timp și în frecvență (analiză FFT).



**Fig. 3** Truck running over the obstacle

Pentru achiziționarea semnalelor de accelerație după cele trei axe ale viaductului a fost utilizat un accelerometru triaxial Bruel&Kjaer type 003 4506 B seria 10145, fixat în planul vertical transversal de simetrie (planul xCz al triedrului central), între arcele P2 și P3; axele accelerometrului au fost orientate după cum urmează:

- axa x: paralelă cu axul longitudinal al viaductului;
- axa y: axa transversal-longitudinală a viaductului;
- axa z: paralelă cu axa verticală a viaductului.

În figura 4 și figura 5 sunt prezentate (ca un exemplu de utilizare a metodei instrumentale virtuale de analiză și vizualizare a semnalelor de accelerație), panoul utilizatorului analizorului în două situații:

1) impactul dintre roțile axei nr. 2 (motoare) ale camionului și pragul standardizat ( $h = 40mm$ ), **cu tracțiunea cuplată**, la viteza constantă  $v_0 = 30km/h$ ;

2) impactul dintre roțile axei nr. 2 ale camionului și pragul standardizat ( $h = 40mm$ ), **cu tracțiunea decuplată**, la viteza constantă  $v_0 = 30km/h$ .

În partea stângă a panoului instrumentului virtual pot fi vizualizate variația accelerațiilor după cele trei axe în timp iar în partea dreaptă sunt prezentate analizele spectrale ale accelerațiilor semnale.

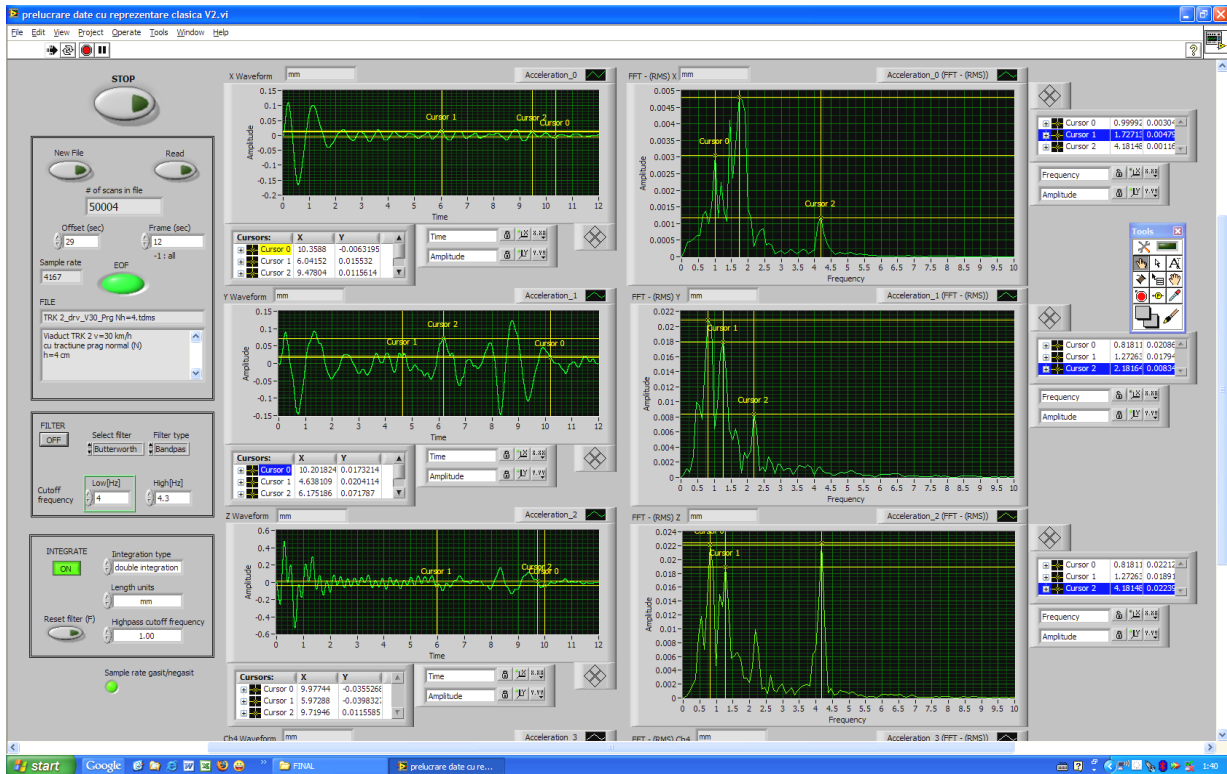


Fig. 4 Panoul analizorului de accelerație (în timp, în frecvență) -  $v_0 = 30\text{km/h}$ , cu tracțiune

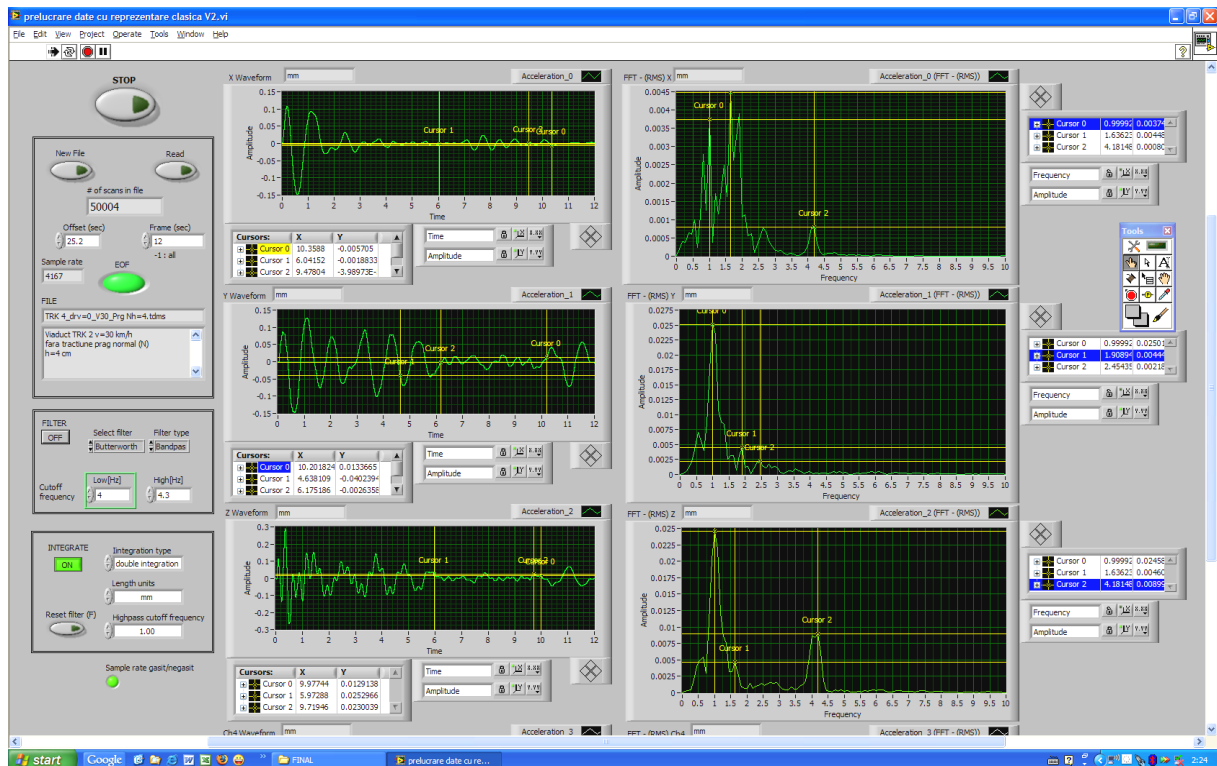


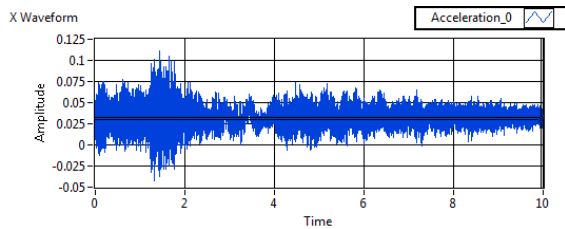
Fig. 5 Panoul analizorului de accelerație (în timp, în frecvență) -  $v_0 = 30\text{km/h}$ , fără tracțiune

#### 4.REZULTATE EXPERIMENTALE

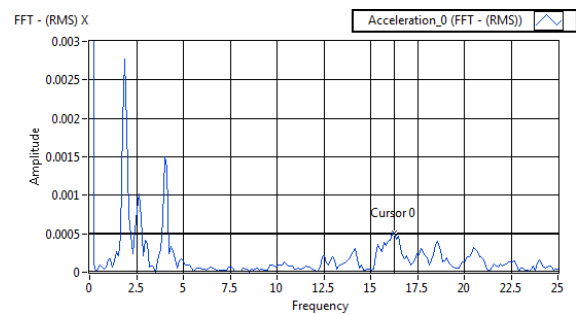
Determinările experimentale au fost efectuate în septembrie 2009 la viaductul situat la km 29+602,75↔29+801,25 al autostrăzii A3 Transilvania. Au fost efectuate un set de teste pentru a determina răspunsul structurii viaductului la solicitările dinamice din trafic (șocuri, vibrații). Solicitățile au fost generate prin trecerea unui camion cu masa totală de 41 de tone peste praguri fixate chimic pe suprafața viaductului; în total au fost efectuate 16 seturi de măsurători diferențiate prin următorii parametri:

- viteza de deplasare a camionului:  $10\text{km/h}$ ,  $20\text{km/h}$ ,  $50\text{km/h}$ ,  $50\text{km/h}$ ;
- cuplarea tracțiunii pe axa motoare (nr. 2): cu tracțiune, fără tracțiune;
- înălțimea pragului:  $h = 4\text{mm}$  (standardizată),  $h = 8\text{mm}$  (nestandardizată).

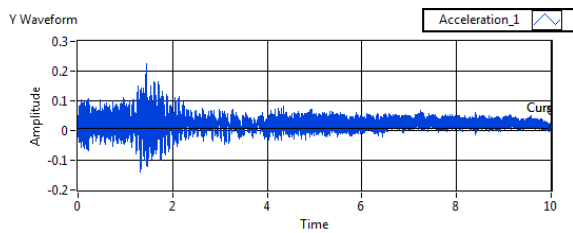
În figurile 6 și 7 sunt prezentate analiza în timp și în frecvență a accelerației longitudinale pentru un semnal cu durata de 10 secunde în următoarele condiții de măsurare:  $v_0 = 10\text{km/h}$ ,  $h = 4\text{mm}$  și tracțiunea cuplată.



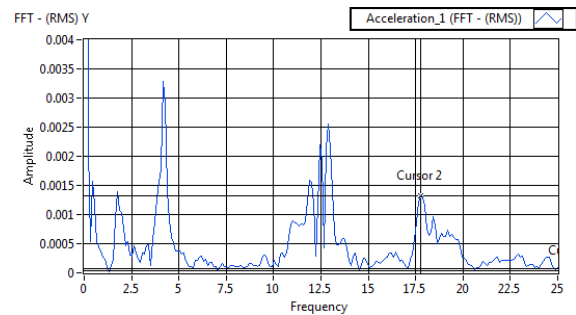
**Fig. 6** Reprezentarea în timp a accelerației longitudinale ( $v_0 = 10\text{km/h}$  cu tracțiune)



**Fig. 7** Reprezentarea în frecvență a accelerației longitudinale ( $v_0 = 10\text{km/h}$  cu tracțiune)



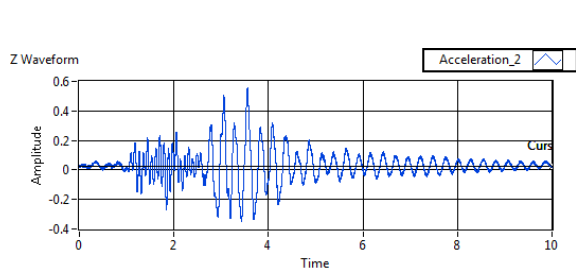
**Fig. 8** Reprezentarea în timp a accelerației laterale ( $v_0 = 10\text{km/h}$  cu tracțiune)



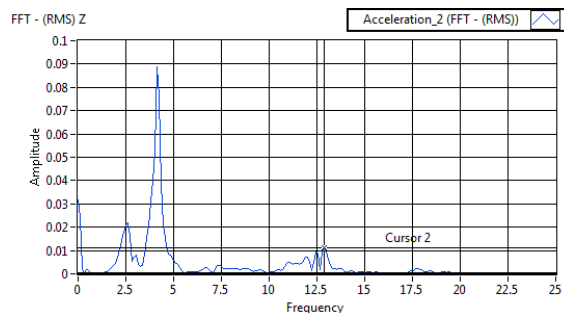
**Fig. 9** Reprezentarea în frecvență a accelerației laterale ( $v_0 = 10\text{km/h}$  cu tracțiune)

Figurile 8 și 9 prezintă înregistrarea în timp a semnalului de accelerație după direcția laterală precum și analiza în frecvență a acestui semnal (condiții de măsurare:  $v_0 = 10\text{km/h}$ ,  $h = 4\text{mm}$  și tracțiunea cuplată, durată de 10 secunde). În figurile 10 și 11 sunt prezentate analiza în timp și în frecvență a semnalului de accelerație după direcția verticală, în aceleași condiții de producere a solicitărilor dinamice și de măsurare.

În tabelul 3 sunt prezentate valorile spectrale semnificative ale accelerațiilor după cele trei direcții, în condițiile de măsurare specificate în paragraful anterior. Valorile individuale au fost determinate de programul instrumentului virtual și pot fi "citite" și în diagramele din figurile 7, 9 și 11.



**Fig. 10** Reprezentarea în timp a accelerației verticale ( $v_0 = 10\text{km/h}$  cu tracțiune)



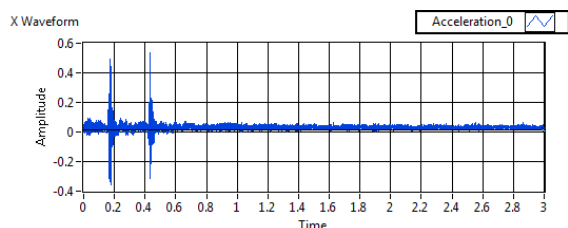
**Fig. 11** Reprezentarea în frecvență a accelerației verticale ( $v_0 = 10\text{km/h}$  cu tracțiune)

Tabel 3. Amplitudinile spectrale ale viaductului ( $10\text{km/h}$ ,  $h = 4\text{mm}$ , cu tracțiunea cuplată)

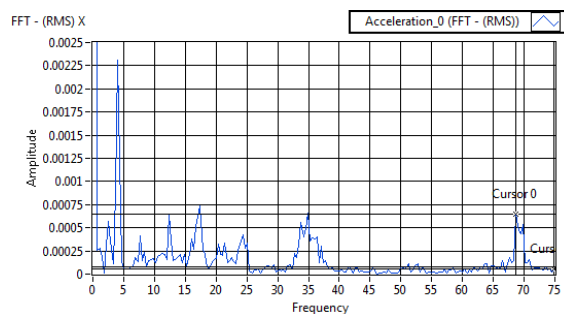
Direcție	Frecvență [Hz]	Amplitudinea accelerației [ $\text{m/s}^2$ ]
Longitudinală X	1,85439710	0,00277870
	2,61797238	0,00101257
	4,03604075	0,00150578
	16,14416301	0,00050625
	16,25324519	0,00050838
Laterală Y	0,43632873	0,00157861
	1,74531492	0,00139880
	4,14512294	0,00328516
	11,88995789	0,00158535
	12,43536881	0,00220311
	12,87169754	0,00256224
Verticală Y	17,78039575	0,00132513
	2,61797238	0,02182016
	4,14512294	0,08893210
	11,99904008	0,00697046
	12,43536881	0,00946318
	12,87169754	0,01104032

## 5.CONCLUZII

În funcție de parametrii determinați din analiza timp și frecvență a semnalelor de accelerație, se pot determina caracteristicile globale modale de amortizare ale sistemului viaduct-sistem de aparate de reazem: decrementul logaritmic modal  $\Delta$  și fracțiunea din amortizarea critică  $\zeta$ .



**Fig. 12** Reprezentarea în timp a accelerației longitudinale ( $v_0 = 20\text{km/h}$  cu tracțiune)

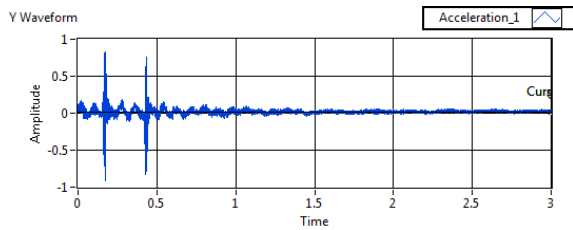


**Fig. 13** Reprezentarea în frecvență a accelerației longitudinale ( $v_0 = 20\text{km/h}$  cu tracțiune)

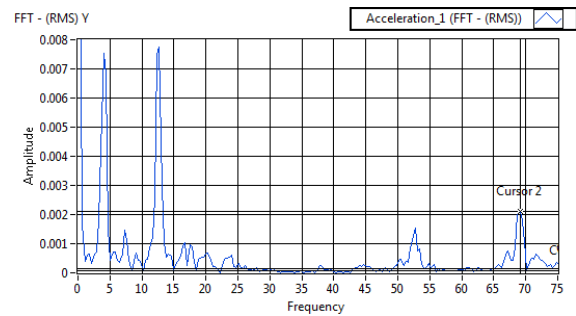
Din analiza valorilor din tabelul 3 se pot concluziona următoarele:

- accelerațiile semnificative ale viaductului se produc după direcția verticală;
- răspunsul în regim dinamic al structurii viaductului este un răspuns modal, frecvențele proprii fiind grupate în jurul valorilor: 0,4Hz, 1,8Hz, 2,6Hz, 4,1Hz, 12Hz, 16Hz.

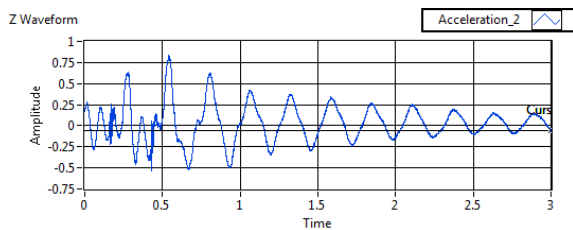
Pentru relevanța valorilor determinate prin analiza spectrală folosind FFT, este foarte important ca lungimea “în timp” a semnalului analizat să fie suficient de mare. În acest sens, figurile 12-17 prezintă semnalele de accelerație după cele trei direcții (reprezentare în timp și analiza în frecvență) pentru o durată de numai 3 secunde.



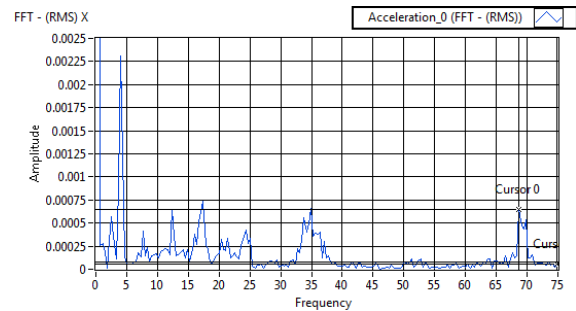
**Fig. 14** Reprezentarea în timp a accelerației laterale ( $v_0 = 20km/h$  cu tracțiune)



**Fig. 15** Reprezentarea în frecvență a accelerației laterale ( $v_0 = 20km/h$  cu tracțiune)



**Fig. 16** Reprezentarea în timp a accelerației verticale ( $v_0 = 20km/h$  cu tracțiune)



**Fig. 17** Reprezentarea în frecvență a accelerației verticale ( $v_0 = 20km/h$  cu tracțiune)

## 6.BIBLIOGRAFIE

[1] <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/207574>