

DIAGNOZA SISTEMELOR DE REZEMARE PE BAZA DE NEOPREN, UTILIZATE LA VIADUCTE, CU AJUTORUL TEHNICII VIBRATIILOR NELINIARE

DIAGNOSIS OF THE DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS BY NEOPRENE USED ON VIADUCTS, BASED ON NONLINEAR VIBRATION TECHNIQUE

Ș.I.dr.ing. Adrian LEOPA

Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați
Facultatea de Inginerie din Brăila, Romania

Rezumat: Podurile reprezintă structuri vitale menite să asigure legăturile cailor rutiere și feroviare peste obstacole naturale sau artificiale. Din acest considerent, aceste structuri trebuie protejate atât împotriva acțiunilor provenite din activități seismice, cât și împotriva solicitărilor provenite din traficul rutier și feroviar. Pentru a preveni distrugerea parțială sau totală a podurilor și viaductelor supuse solicitărilor sus amintite, este necesar ca în structura acestora să fie înglobate sisteme menite să diminueze sau să elimine total efectele nedorite induse de perturbații. Un exemplu de astfel de sisteme, care sunt utilizate în cadrul podurilor și viaductelor, în vederea izolării și disipării energiei introduse în structura și reprezintă elementele din cauciuc laminat.

Cuvinte cheie: viaduct, dinamic, vibrație, siguranță

Abstract: Bridges are vital structures designed to provide road and rail links over natural or artificial obstacles. For this reason, these structures must be protected both against actions coming from seismic activity, as well as against the loadings arising from road and rail traffic. In order to prevent partial or total destruction of bridges and viaducts under the above mentioned loadings, it is necessary to embed certain systems in their structure, designed to reduce or eliminate all undesirable effects induced by perturbations. An example of such systems, which are used in bridges and viaducts in the isolation and energy dissipation introduced in the structure, may be the elements of molding rubber.

Keyword: viaduct, dynamic, vibration, safety

1. INTRODUCERE

Podurile și viaductele reprezintă construcții ingineresti, menite să asigure trecerea unei căi de comunicație terestră peste un obstacol. Având în vedere caracterul vital al podurilor, este necesară identificarea unor soluții viabile, în vederea protejării acestor obiective împotriva hazardului natural, prin acțiuni seismice și antropice, prin solicitări provenite din traficul rutier. Proiectarea seismică a podurilor este impusă de două cerințe fundamentale:

- prevenirea pierderilor de viați omenești, asigurată printr-o proiectare judicioasă, astfel încât sub efectul solicitărilor seismice de proiectare structura să nu se prăbușească local sau global;
- degradarea sau distrugerea structurii ce conduce la imposibilitatea asigurării traficului terestru, și implicit la pierderi economice însemnate.

Conform normei seismice europene EN 1998-2, 2003, proiectarea seismică a podurilor trebuie să respecte două deziderate:

- prima cerință impune ca efectul unei acțiuni seismice de proiectare asupra unui pod să nu provoace colapsul acestuia. Astfel, trebuie asigurată o stare limită ultimă (SLU), conform căreia podul trebuie să-și mențină integritatea și să demonstreze o capacitate portantă reziduală chiar și în pofida unor degradări parțiale.
- cea de-a doua cerință corespunde stării limită de serviciu (SLS) și impune limitarea degradărilor structurii unui pod sub efectul unei sollicitări seismice caracterizată printr-o probabilitate mai mare de apariție decât cea de proiectare.

Referitor la problemele seismice, din punctul de vedere al unei abordări energetice, se observă că din energia cutremurului filtrată de structură, fig. 1 o parte este de fapt disipată, iar cealaltă parte transformată în sollicitări ale elementelor structurale, și anume: (i) transmiterea energiei în structura este funcție de relația dintre frecvența semnalului perturbator și caracteristicile dinamice ale structurii, practic de masă și de rigiditate (pulsăția proprie a sistemului), (ii) capacitatea structurală de reducere a sollicitării seismice transmise elementelor de rezistență, se bazează pe capacitatea de disipare a energiei absorbită.

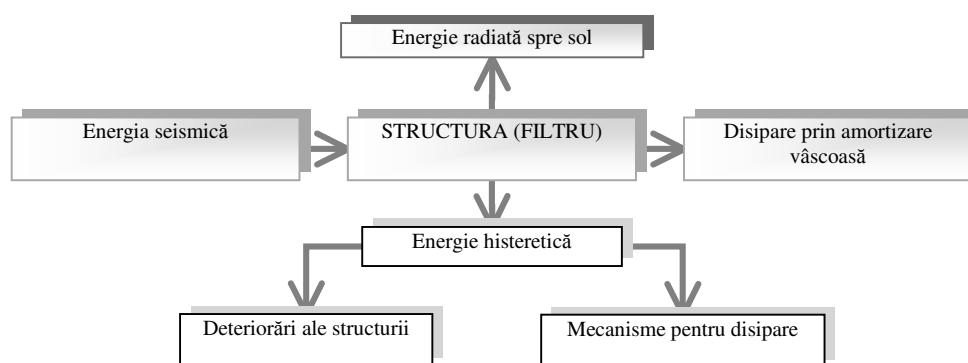


Fig. 1 Distribuția energiei seismice

Pentru evitarea efectelor distructive ale podurilor supuse acțiunilor dinamice provenite din acțiuni seismice sau din trafic rutier, sunt utilizate o serie de sisteme pasive destinate izolării dinamice. O astfel de categorie este reprezentată de sistemele pasive de tip vascoelastic cum ar fi reazeme din cauciuc plumb sau reazeme din cauciuc laminat.

Astfel de sisteme de izolare dinamică, au fost utilizate ca elemente de reazem al tablierului pe pilele podului autostrăzii A3 Transilvania din România, la viaductul situat la km 29+602,75 ↔ 29+801,25 (la Săvădisla, între Târgu Mureș și Cluj). Datorită acțiunilor seismice, a traficului rutier precum și a acțiunii factorilor atmosferici, cauciucul își modifică proprietățile în timp ceea ce duce și la modificarea răspunsului dinamic al podului la acțiuni impulsive. În acel moment se impune înlocuirea acestor sisteme pentru a evita degradarea parțială sau totală a podului.

Infrastructura viaductului constă în câte 2 culee și 4 pile pentru fiecare sens de circulație, fig. 2.

Suprastructura viaductului este alcătuită, în sens transversal, din 4 grinzi tip U prefabricate, dispuse la distanța de 3,32 m interax, peste grinzi fiind turnată o placă de suprabetonare cu grosimea de 25cm. Grinzile sunt realizate din beton armat precomprimat de clasă C35/45, iar placa de suprabetonare din beton armat de clasă C25/30.

Diagnoza sistemelor de rezemare pe baza de neopren, utilizate la viaducte, cu ajutorul tehnicii vibrațiilor neliniare

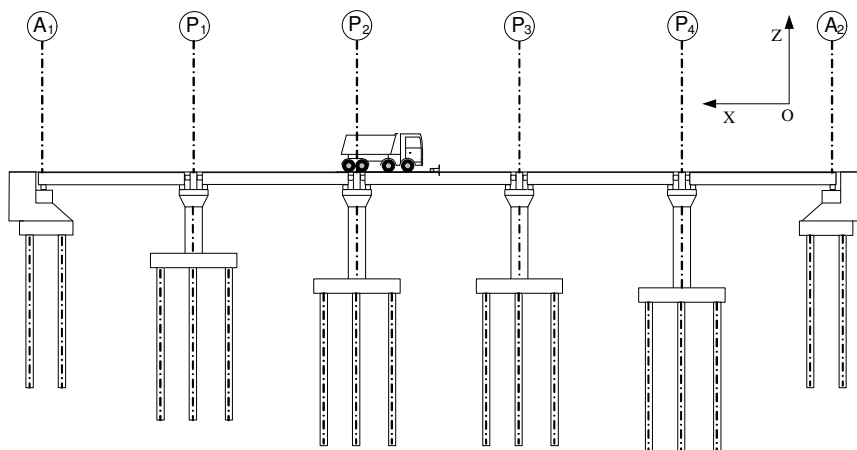


Fig. 2 Profilul podului

Viaductul are 5 deschideri egale de 40m. Rezemarea suprastructurii pe elementele de infrastructură, culee și pile, s-a realizat prin aparate de reazem din neopren, de tip Freyssinet, cu înălțimea de 81mm.

2. ANALIZA COMPORTARII DINAMICE A UNUI TRONSON DE POD SOLICITAT PRIN ACTIUNI IMPULSIVE

Prezenta lucrare isi propune elaborarea unui model fizic si matematic teoretic capabil sa indice cu acuratete momentul optim de inlocuire al sistemelor de izolare dinamica, prin monitorizarea periodica a unor parametri functionali. In acest sens tablierul unui tronson de pod, poate fi considerat un rigid solid cu legaturi triortogonale de tip vascoelastic.

Expresia matricială a ecuației ce caracterizeaza miscarea oscilatorie a sistemului se poate scrie astfel:

$$\underline{\underline{I}}\ddot{\underline{q}} + \underline{\underline{C}}\dot{\underline{q}} + \underline{\underline{K}}\underline{q} = \underline{f} \quad (1)$$

unde:

\underline{q} - vectorul coordonatelor generalizate; $\dot{\underline{q}}$ - vectorul vitezelor generalizate; $\ddot{\underline{q}}$ - vectorul accelerațiilor generalizate; \underline{f} - vectorul forțelor generalizate; \underline{I} - matricea de inerție; \underline{C} - matricea amortizărilor; \underline{K} - matricea de rigiditate;

Axele elastice principale ale reazemelor elastice sunt paralele cu axele de referință. In acest caz, mișcările reprezentate prin variația coordonatelor, corespunzătoare celor șase grade de libertate, se decuplează dupa cum urmeaza:

- mișcarea cuplată de translație în lungul axei X și rotație în jurul axei Y - (X, φ_y) ;
- mișcarea cuplată de translație în lungul axei Y și rotație în jurul axei X - (Y, φ_x) ;
- mișcarea de translație de-a lungul axei Z independentă de celelalte moduri;
- mișcarea de rotație în jurul axei z (φ_z) independentă de celelalte moduri.

În acest caz, sistemul de ecuații diferențiale poate fi structurat după cum urmează:

Modul cuplat (X, φ_y)

$$\begin{cases} m\ddot{X} + \dot{X} \sum_1^{16} c_{ix} + \dot{\phi}_y \sum_1^{16} z_i c_{ix} + X \sum_1^{16} k_{ix} + \phi_y \sum_1^{16} z_i k_{ix} = 0 \\ J_y \ddot{\phi}_y + \dot{X} \sum_1^{16} z_i c_{ix} + \dot{\phi}_y \sum_1^{16} (c_{iz} x_i^2 + c_{ix} z_i^2) + X \sum_1^{16} z_i k_{ix} + \phi_y \sum_1^{16} (k_z x_i^2 + k_x z_i^2) = e_x F_z \end{cases} \quad (2)$$

Modul cuplat (Y, ϕ_x)

$$\begin{cases} m\ddot{Y} + \dot{Y} \sum_1^{16} c_{iy} - \dot{\phi}_x \sum_1^{16} c_{iy} z_i + Y \sum_1^{16} k_{iy} - \phi_x \sum_1^{16} k_{iy} z_i = 0 \\ J_x \ddot{\phi}_x - \dot{Y} \sum_1^{16} z_i c_{iy} + \dot{\phi}_x \sum_1^{16} (c_{iy} z_i^2 + c_{iz} y_i^2) - Y \sum_1^{16} z_i k_{iy} + \phi_x \sum_1^{16} (k_{iy} z_i^2 + k_{iz} y_i^2) = -e_y F \end{cases} \quad (3)$$

Translație pe axa OZ

$$m\ddot{Z} + \dot{Z} \sum_1^{16} c_{iz} + Z \sum_1^{16} k_{iz} = -F_z \quad (4)$$

Rotație în jurul axei OZ

$$J_z \ddot{\phi}_z + \dot{\phi}_z \sum_1^{16} (c_{ix} y_i^2 + 2c_{iy} x_i^2) + \phi_z \sum_1^{16} (k_{ix} y_i^2 + 2k_{iy} x_i^2) = 0 \quad (5)$$



Fig. 3 Tronson viaduct

Diagnoza sistemelor de rezemare pe baza de neopren, utilizate la viaducte, cu ajutorul tehnicii vibratiilor neliniare



Fig. 4 Sistemele de rezemare

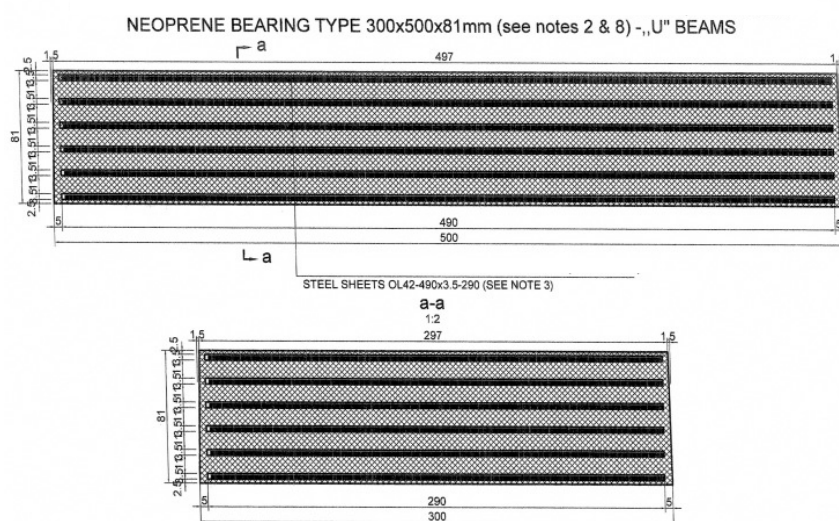


Fig. 5 Sisteme de izolare dinamică din neopren

Din cele patru moduri decuplate de mișcare, va fi studiat în cadrul acestei lucrări doar cel corespunzător mișcării pe direcția verticală OZ. Fiecare tronson al podului este rezemat prin intermediul a 16 sisteme de izolare dinamică realizate din cauciuc laminat. Tablierul tronsonului de pod este solicitat impulsiv prin trecerea unui autocamion cu patru osii cu masă de 41 de tone peste un obstacol cu înălțimea de $h=40\text{mm}$, la viteza de 20 km/h . La trecerea autocamionului peste acest obstacol rezulta o forță de solicitare impulsivă precum cea prezentată în fig. 6.

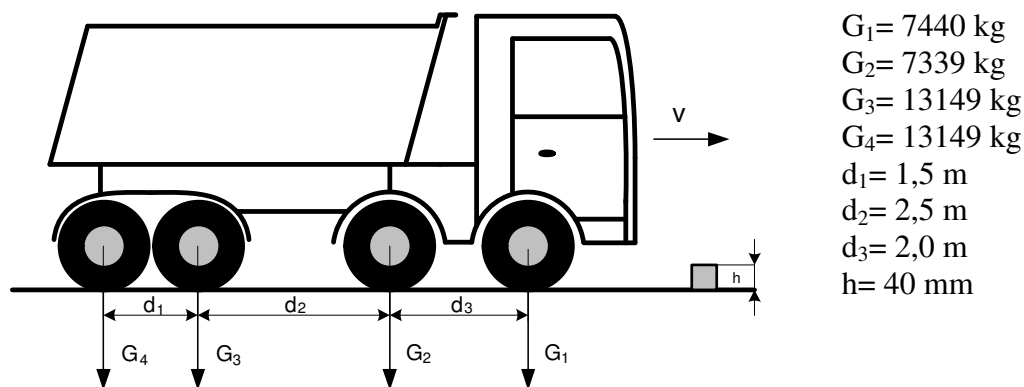


Fig. 6 Modelul autocamionului utilizat pentru testarea dinamică

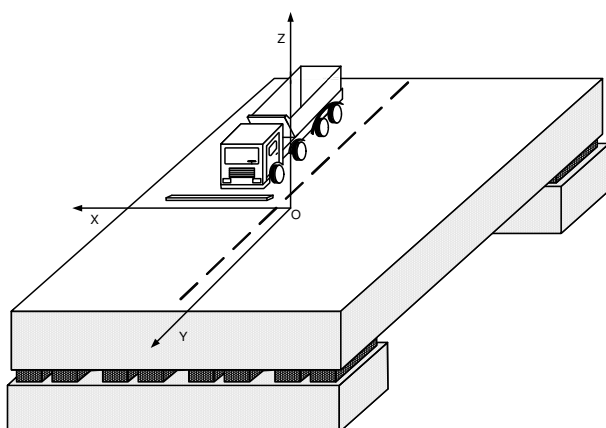


Fig. 7 Schema tronsonului de pod, trecerea autocamionului peste un obstacol

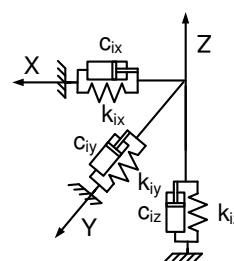


Fig. 8 Reazem triortogonal de tip vascoelastic

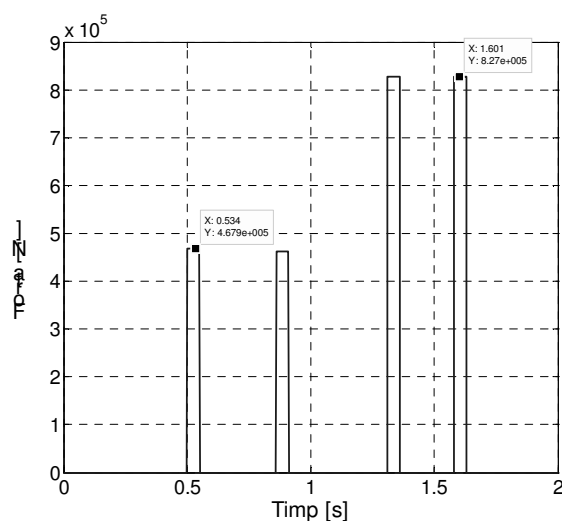


Fig. 9 Forta de excitatie

Trebuie mentionat faptul ca s-a considerat forma fortei impulsive functie dreptunghiulara, fig. 9.

Pentru determinarea gradului de degradare al legaturilor vascoelastice ale dispozitivelor antiseismice pe baza de elastomer, lucrarea de fata propune parcurgerea urmatoarelor activitati:

- la punerea in functiune a viaductului, atunci cand sistemele antiseismice sunt noi si in consecinta se poate considera ca sunt caracterizate de un comportament liniar la compresiune, se fac determinari experimentale pe baza carora se evalueaza o serie de *parametri de control* caracteristici vibratiei;
- dupa o perioada de timp de utilizare in conditii normale a viaductului, se repeta determinarile experimentale in aceleasi conditii ca la punerea in functiune a obiectivului, prin care se urmareste caracterizarea cantitativa si calitativa a *parametrilor de control*;
- pe baza celor doua seturi de parametri de control obtinute se realizeaza o analiza comparativa cu scopul de a evidentia diferentele ce apar intre acestea. Eventualele diferente identificate pun in evidenta degradarea legaturilor vascoelastice ale reazemelor antiseismice.

Diagnoza sistemelor de rezemare pe baza de neopren, utilizate la viaducte, cu ajutorul tehnicii vibrațiilor neliniare

Uzura reazemelor din cauciuc în urma solicitărilor impulsive, corespunde unui comportament neliniar al acestora. Vor fi analizate comparativ două modele matematice corespunzătoare rigidităților pe direcție verticală OZ, de tip liniar respectiv neliniar, în vederea identificării parametrilor funcționali care se modifică în cele două cazuri considerate. Identificarea acestor parametri duce la stabilirea unei metodologii capabile să evalueze gradul de integritate structurală și de funcționalitate optimă a sistemelor de rezemare. Această metodă de mentenanță predictivă poate fi pusă în aplicare conform următorului algoritm: la darea în folosință a sistemelor de izolare se fac măsurări experimentale determinându-se parametrii ce indică starea de funcționare normală a acestora; apoi, periodic vor fi efectuate măsurări experimentale pentru o analiză comparativă cu date obținute la momentul inițial.

Pentru determinarea gradului de degradare al legăturilor vascoelastice ale dispozitivelor antiseismice pe baza de elastomer, lucrarea de față propune parcurgerea următoarelor activități:

- la punerea în funcțiune a viaductului, atunci când sistemele antiseismice sunt noi și în consecință se poate considera că sunt caracterizate de un comportament liniar la compresiune, se fac determinări experimentale pe baza cărora se evaluează o serie de *parametri de control* caracteristici vibrației;
- după o perioadă de timp de utilizare în condiții normale a viaductului, se repetă determinările experimentale în aceleași condiții ca la punerea în funcțiune a obiectivului, prin care se urmărește caracterizarea cantitativă și calitativă a *parametrilor de control*;
- pe baza celor două seturi de parametri de control obținute se realizează o analiză comparativă cu scopul de a evidenția diferențele ce apar între acestea. Eventualele diferențe identificate pun în evidență degradarea legăturilor vascoelastice ale reazemelor antiseismice.

Principalele activități de management a monitorizării sistemelor tehnice prin vibrații sunt sintetizate în diagrama 10.

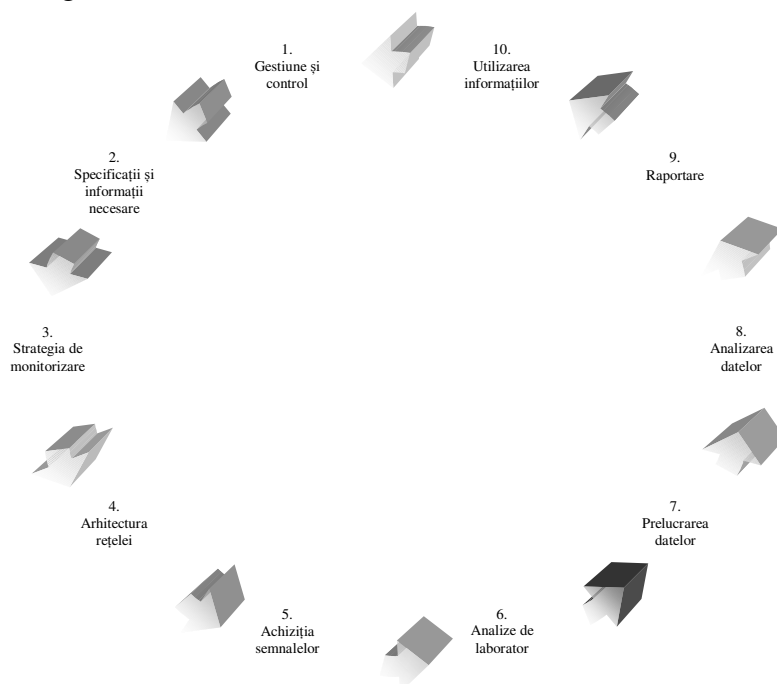


Fig. 10 Diagrama managementului monitorizării

3. IDENTIFICAREA SI INTERPRETAREA PARAMETRILOR CINEMATICI SI ENERGETICI

Va fi analizat raspunsul dinamic al tablierului podului in urma solicitarilor impulsive produse la trecerea unui autocamion cu masa de 41 de tone peste un obstacol de 40 mm inaltime, in ipoteza a doua tipuri de forte elastice din sistemele de izolare dinamica: tip liniare si neliniar.

a. Cazul fortelor elastice liniare

In acest caz ecuatia de miscare este de forma:

$$m\ddot{Z} + \dot{Z} \sum_1^{16} c_{iz} + Z \sum_1^{16} k_{iz} = -F_z \quad (6)$$

in care: m - masa tablierului; Z - deplasarea pe directie verticala; c_{iz} - coeficientul de amortizate al reazemelor pe directie verticala; k_{iz} - coeficientul de elasticitate; F_z - forta de sollicitare pe directie verticala;

b. Cazul fortelor elastice neliniare

In acest caz ecuatia de miscare este de forma:

$$m\ddot{Z} + \dot{Z} \sum_1^{16} c_{iz} + Z \sum_1^{16} k_{iz} (1 + \beta Z^2) = -F_z \quad (7)$$

Reprezentarile grafice ale coeficientilor de rigiditate pentru cele doua cazuri considerate, liniar si neliniar, sunt prezentate in fig. 11 si 12.

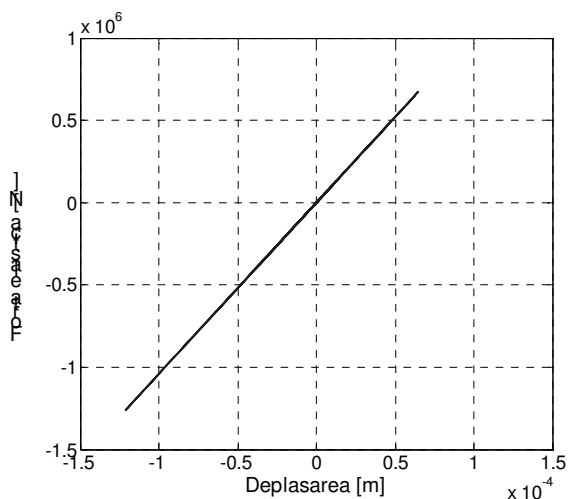


Fig. 11 Reprezentarea grafica a rigiditatii - caz liniar

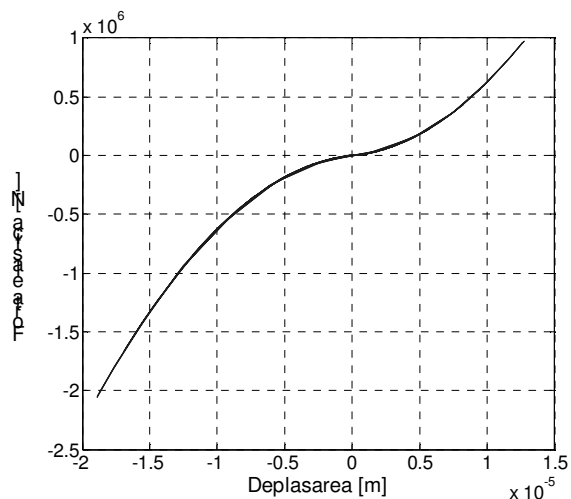


Fig. 12 Reprezentarea grafica a rigiditatii - caz neliniar

Pe baza ecuatiei diferentiale de miscare (7), au fost reprezentati grafic si analizati urmatoorii *parametri*, caracteristici vibrației tablierului rezemat pe sistemele vâscoelastice:

1. răspunsul în timp al parametrilor cinematici ai vibrației

Diagnoza sistemelor de rezemare pe baza de neopren, utilizate la viaducte, cu ajutorul tehnicii vibratiilor neliniare

2. răspunsul în frecvență al parametrilor cinematici ai vibrației
3. energia disipată prin frecare vâscoasă
4. traiectoria mișcării
5. densitatea spectrală de putere

Rezolvarea modelului matematic s-a efectuat prin intermediul programului MATLAB versiunea R2008a, in ipoteza urmatoarelor valori numerice ale coeficientilor ecuatiei de miscare: $k_{iz}=650 \cdot 10^6$ N/m; $c_{iz}=4 \cdot 10^7$ Ns/m; $m=992 \cdot 10^3$ kg; $\beta=5 \cdot 10^5$ m⁻²; $F_1= 4.6793 \cdot 10^5$ N; $F_2= 4.6157 \cdot 10^5$ N; $F_3= F_4= 8.2699 \cdot 10^5$ N;

In figurile urmatoare sunt redade reprezentarile grafice ale parametrilor cinematici si energetici ai miscarii vibratorii pentru tablierului podului.

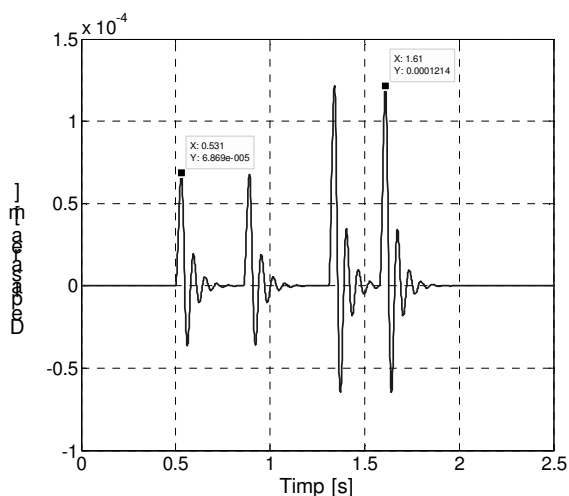


Fig. 13 Deplasarea tablierului - linear

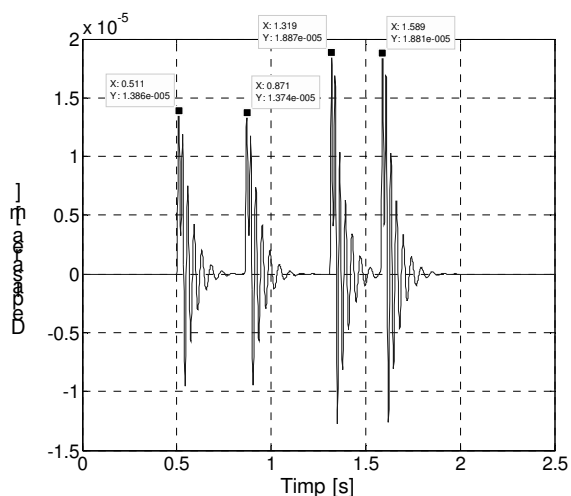


Fig. 14 Deplasarea tablierului - neliniar

Din reprezentare in domeniul timpului a deplasarii masei m , se observa ca in cazul fortelor elastice neliniare, apar modificari atat cantitative cat si calitative. Reprezentarea spectrala a deplasarii masei m , evidentiaza in cazul neliniar o deplasare catre frecvente mai mari a domeniului de frecvente dominante, cu alte cuvinte se evidentiaza aparitia componentelor supraarmonice.

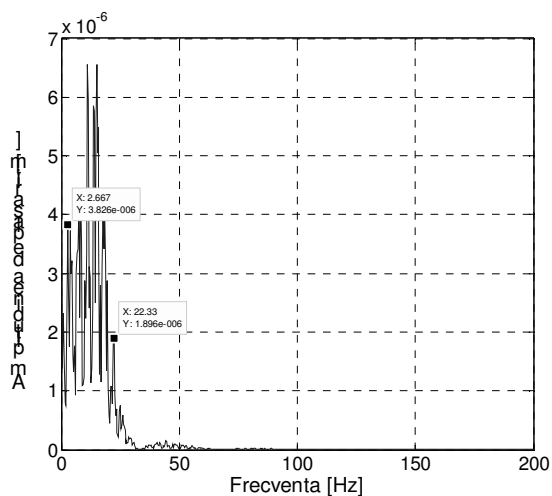


Fig. 15 Raspunsul spectral in deplasare - linear

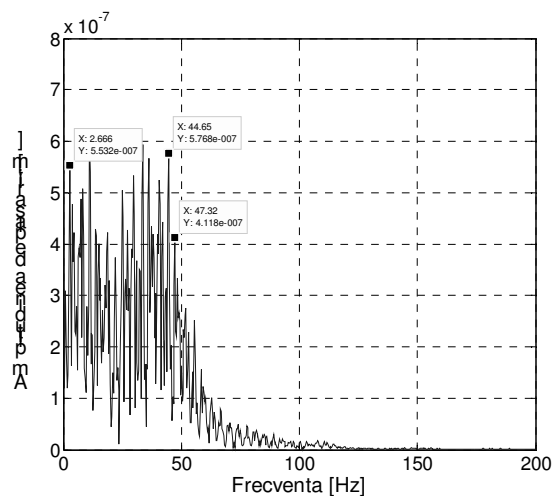


Fig. 16 Raspunsul spectral in deplasare - neliniar

Din analiza semnalului acceleratiei pentru cele doua cazuri, se observa o diminuare a valorii maxime a acestuia in cazul fortelor elastice neliniare, dar si o alura distorsionata. Reprezentarea acceleratiei in frecventa evidentiaza, ca si in cazul deplasarii, o largire a benzii de frecvente dominante din raspunsul spectral.

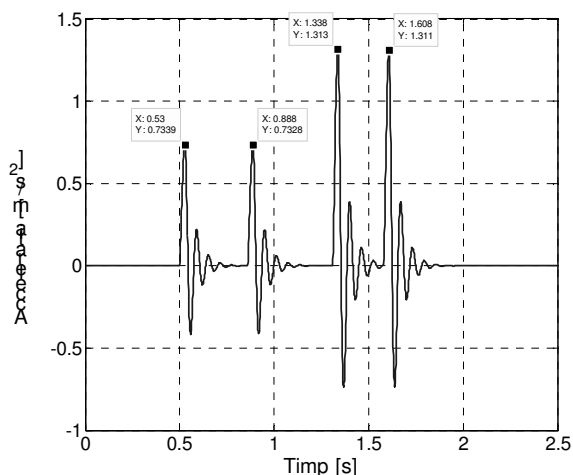


Fig. 17 Acceleratia tablierului - liniar

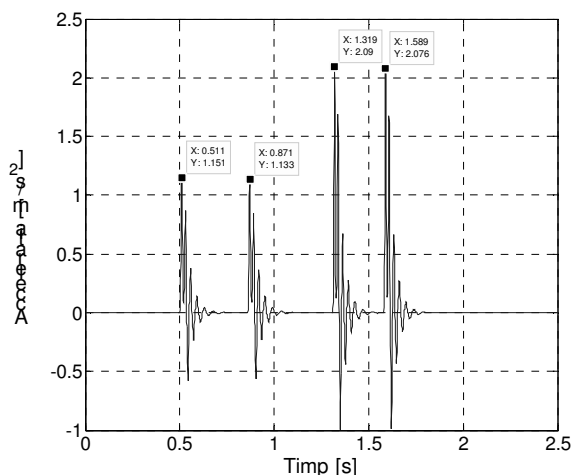


Fig. 18 Acceleratia tablierului - neliniar

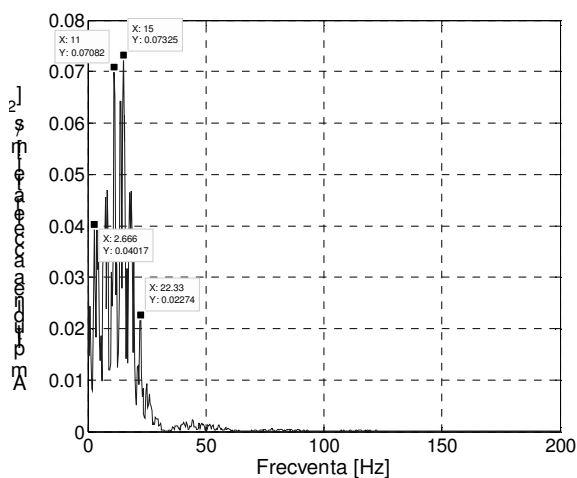


Fig. 19 Raspunsul spectral in acceleratie - liniar

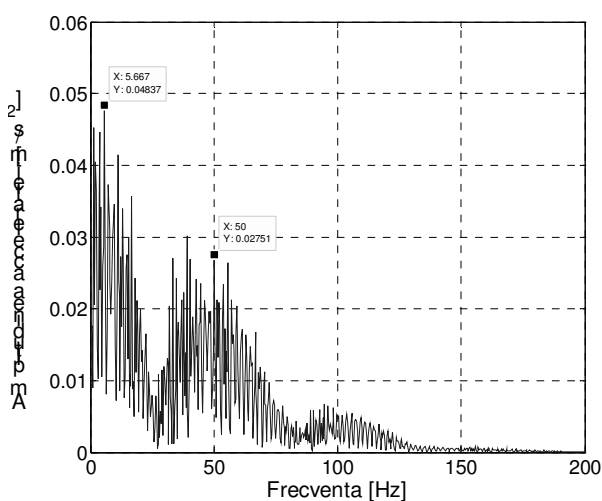


Fig. 20 Raspunsul spectral in acceleratie - neliniar

Buclele de histererez au ca axa de simetrie reprezentarile grafice ale coeficientilor de elasticitate, valoarea energiei disipate pe acelasi interval de timp fiind diferita. In cazul fortei elastice neliniare se observa o diminuare a valorii energiei disipate la 34 J ceea ce presupune ca o cantitate insemnata de energie ramane in sistem.

Diagnoza sistemelor de rezemare pe baza de neopren, utilizate la viaducte, cu ajutorul tehnicii vibratiilor neliniare

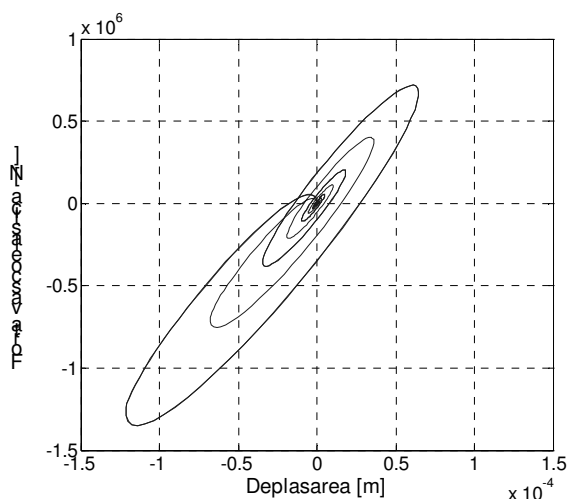


Fig. 21 Bucla de histerzis - linear W=231J

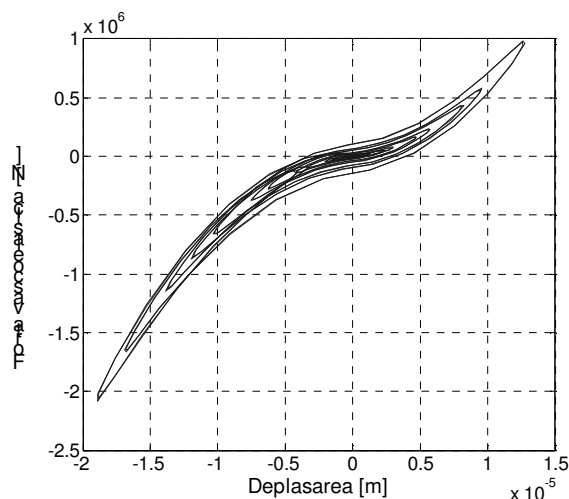


Fig. 22 Bucla de histerzis - nelinier W=34J

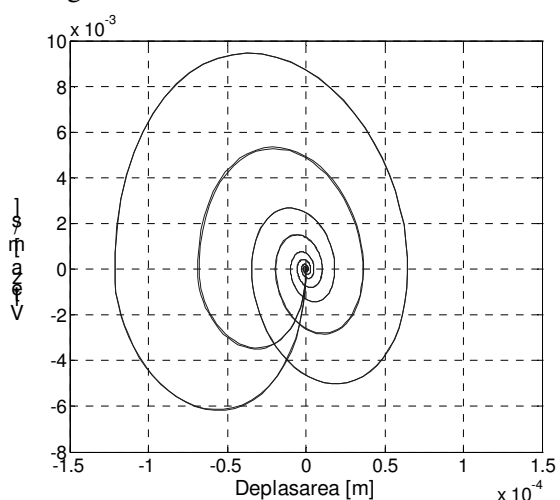


Fig. 23 Reprezentarea in planul fazelor - linear

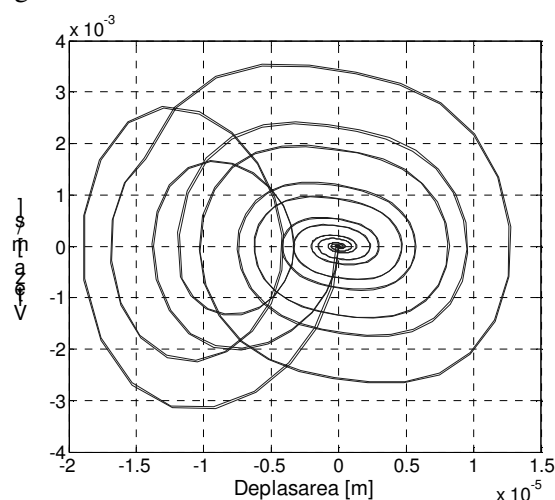


Fig. 24 Reprezentarea in planul fazelor - nelinier

Reprezentare in planul fazei arata o miscare suplimentara in jurul unui punct atractor straniu pentru cazul fortelor elastice neliniare, ceea ce reprezinta un indicator in vederea identificarii comportamentului nelinier al sistemului de izolare dinamica.

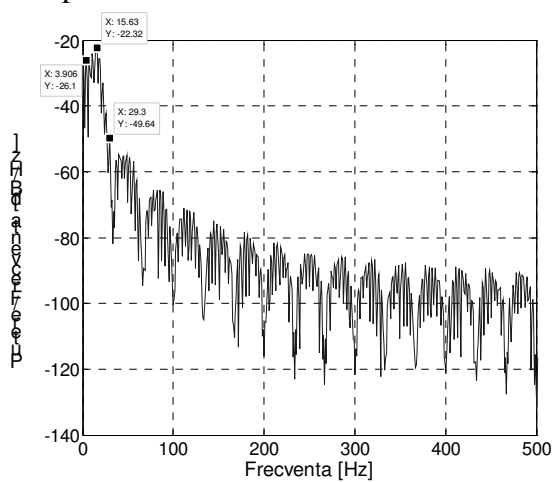


Fig. 25 Densitatea de putere spectrala - linear

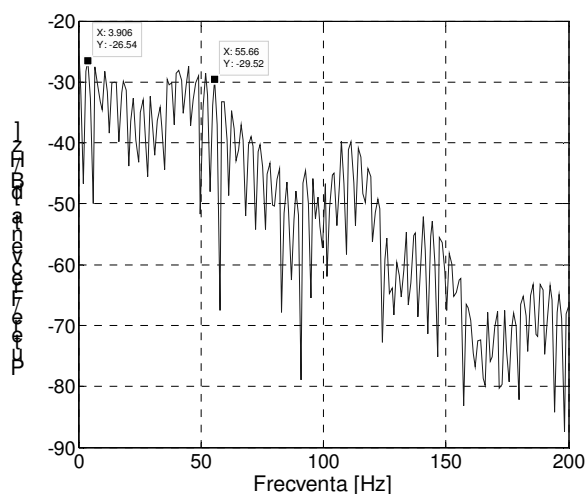


Fig. 26 Densitatea de putere spectrala - nelinier

Din reprezentările grafice ale densității spectrale de putere pentru cele două cazuri analizate, se observă că în cazul neliniar o valoare însemnată a puterii medii a semnalului este purtată de componentele spectrale corespunzătoare frecvențelor cuprinse în intervalul (0÷55)Hz, pe când în cazul liniar acest interval este (0÷22)Hz.

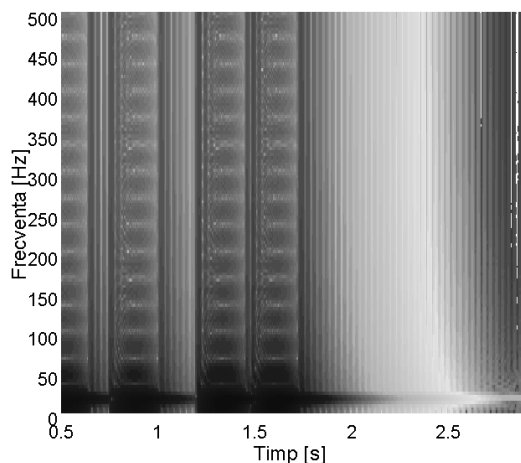


Fig. 27 Spectrograma acceleratiei - liniar

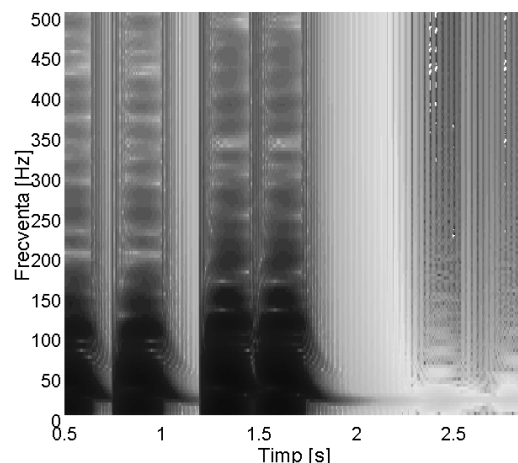


Fig. 28 Spectrograma acceleratiei - neliniar

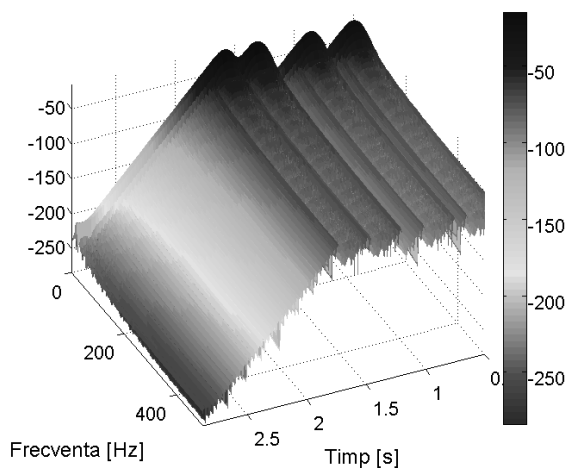


Fig. 29 2D Spectrograma acceleratiei - liniar

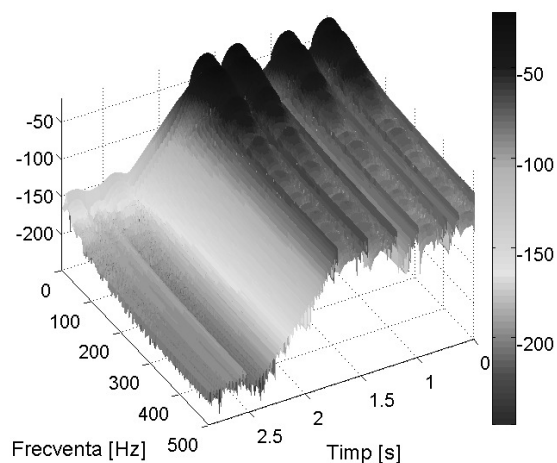


Fig. 30 3D Spectrograma acceleratiei - neliniar

Spectrogramele semnalelor accelerație reprezintă instrumente utile pentru evidențierea participării fiecărei excitații în răspunsul spectral al sistemului.

3. CONCLUZII

Ineficiența sistemelor de izolare dinamică survenită în urma acțiunilor seismice sau traficului feroviar sau rutier, poate duce în timp la afectarea integrității structurale a construcției sau în cazurile extreme chiar la distrugerea acesteia. Din acest considerent, această lucrare, propune o metodologie eficientă de evaluare a stării de degradare a sistemelor de izolare dinamică pe baza de cauciuc laminat, prin compararea la diferite

Diagnoza sistemelor de rezemare pe baza de neopren, utilizate la viaducte, cu ajutorul tehnicii vibratiilor neliniare

perioade de timp a unor parametri capabili sa evidentieze modificarile ce apar in raspunsul dinamic al structurii in urma solicitarilor impulsive.

Aceste corelatii dintre comportamentul nelinier al componentei elastice al sistemelor de rezemare si modificarile ce apar in raspunsul dinamic al structurii, au fost evidentiate doar la nivel teoretic, dar in acest mod se deschide oportunitatea studierii experimentale a acestei teorii.

Din studiul teoretic dezvoltat in aceasta lucrare sunt puse in evidenta urmatoarele aspecte concrete:

- reprezentarea deplasarii in domeniul timpului evidentiaza o scadere a amplitudinii acesteia de la $1.61 \cdot 10^{-4}$ m in cazul linier la $1.58 \cdot 10^{-5}$ m in cazul nelinier, ceea ce demonstreaza o crestere a rigiditatii sistemului antiseismic pe directie verticala.
- reprezentarea spectrala a deplasarii evidentiaza o marire a benzii de frecvete dominante in cazul nelinier extinse pana la valoarea de 47 Hz, in timp ce in cazul linier valoarea centrala este de 22 Hz. Aceasta modificare demonstreaza modificarea parametrilor reologici ai sistemelor de reazem antiseismic.
- reprezentarea acceleratiei in domeniul timpului evidentiaza o crestere a amplitudinii acesteia de la 1.6 m/s^2 in cazul linier la 1.58 m/s^2 m in cazul nelinier, aspect intalnit cu precadere la sistemele neliniare.
- reprezentarea spectrala a acceleratiei evidentiaza o marire a benzii de frecvete dominante in cazul nelinier cu valori cuprinse intre 5.66 si 50 Hz, in timp ce in cazul linier valoarea centrala este de 22.33 Hz.
- reprezentarea buclei de histerezis evidentiaza o scadere aproape de 6 ori a energiei disipate de sistemele antiseismice, ceea ce conduce la prezenta unei energii remanente in sistem.
- densitatea spectrala de putere evidentiaza in cazul nelinier un interval marit pe care este distribuita puterea semnalului ($0 \div 47.32$) Hz, in timp ce pentru cazul linier acest domeniu este de ($0 \div 22.33$) Hz.

Diferentele identificate intre valorile si reprezentarile grafice ale parametrilor de control pentru cele doua cazuri considerate (liniar si nelinier), demonstreaza modificarea caracteristicilor reologice ale sistemelor de rezemare si in consecinta modificarea legaturilor vascoelastice ale acestora.

Din punct de vedere experimental au fost cuantificati parametrii de control ai vibratiei la momentul punerii in functiune a podului. Pentru completarea acestui studiu din punct de vedere experimental, pe viitor, se intentioneaza realizarea unor teste experimentale in aceleasi conditii initiale, in vederea determinarii si analizei comparative a parametrilor de control.

Acknowledgement:

This work was supported by CNCSIS-UEFISCSU, project number PN II-RU code 597/2010.

BIBLIOGRAFIE

- [1] **Dragan, N.**, "*Analiza experimentală a dinamicii podurilor din beton armat supuse acțiunilor din trafic*", SINUC, Bucuresti, 16–17 decembrie, 2010, ISBN–978–973–100–144–9.
- [2] **Bratu, P.**, "*Sisteme elastice de rezemare pentru mașini și utilaje*", Editura Tehnică, 1990.
- [3] **Awrejcewicz, J., Andrzejewski, R.**, "*Nonlinear Dynamics of a Wheeled Vehicle*" Springer - Verlag, Berlin 2005.
- [4] **Awrejcewicz, J., Dzyubak, L.**, "*Influence of hysteretic dissipation on chaotic responses*", Journal of Sound and Vibration, 284, 2005, 513-519.
- [5] **Awrejcewicz, J., Tomczak, K., Lamarque, C.-H.**, "*Controlling system with impacts*", International Journal of Bifurcation and Chaos, 9 (3), 1999, 547-553.
- [6] **Leopa, A., Nastac S.**, "*Dynamic Behaviour of Foundations in Linear and Nonlinear Elastic Characteristics Hypothesis*", WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics, Issue 4, vol.3, April 2008, ISSN 1991-8747, pp. 145-154.
- [7] **INCERC Strong Motion Database**, Ioan Sorin Borcia¹, Dan Lungu^{1,2}, Constantin Praun¹, Cristian Sandu¹.