

O ANALIZĂ ASUPRA ÎNCERCĂRII DINAMICE A PODURILOR

Cristian – Lucian Ghindea¹
Dan Crețu¹
Radu Cruciat¹
Alin Giumanca²

REZUMAT

Autorii își propun să realizeze o descriere generală a încercărilor experimentale în regim dinamic la poduri. Sunt prezentate cerințele specifice conform standardului românesc pentru încercarea structurilor de poduri cu încărcări de probă, făcându-se referire la încercările în regim dinamic ale acestora. Pentru determinarea caracteristicilor dinamice ale unei structuri pot fi utilizate diverse metode experimentale. În concordanță cu standardul de românesc de încercare a podurilor, testele experimentale se realizează, de obicei, cu ajutorul vehiculelor de probă. Pe lângă această metodă, se pot utiliza și alte echipamente sau dispozitive în vederea obținerii solicitării dinamice a podurilor. În această lucrare autorii realizează o prezentare generală a metodelor de încercare utilizate la poduri, cu identificarea echipamentelor de măsură necesare în fiecare caz. Este realizată o comparație a metodelor din punct de vedere al eficienței măsurătorii experimentale, în raport cu factorii și costurile aferente încercării. Utilizând rezultatele din baza de date a Laboratorului de Rezistența Materialelor din cadrul Universității Tehnice de Construcții București, se realizează o prezentare generală a caracteristicilor dinamice pentru podurile testate în România, în raport de tipul structural al acestora.

CUVINTE CHEIE: încercări experimentale, cerințe pentru încercări, caracteristicile dinamice ale podurilor, vibrații libere, vibrații forțate, încărcări din trafic.

ABSTRACT

The paper intends to be a review on the experimental testing program of the bridges acted by dynamic loads. There are presented the requirements of the Romanian standard governing the experimental testing on bridges, with reference to the dynamic tests. Different experimental methods can be used to determine the dynamical characteristics of a structure. According to Romanian standard, bridges experimental testing is conducted, usually, using test vehicles. Besides this method, worldwide, different devices are used for the dynamic testing of the bridges. In the paper, the authors make a general presentation of the methods applied for bridges, with the required measurement equipment presentation. Also, a comparison of the methods is conducted, from the experimental efficiency point of view, related with the involved testing costs. Using the results from the database of the Laboratory of Strength of Materials from TUCEB, a general presentation of the dynamic characteristics of the bridges tested in Romania is presented with respect to the structural type of the bridges.

KEYWORDS: experimental testing, testing requirements, bridge dynamic characteristics, free vibrations, forced vibrations, traffic load.

1. INTRODUCERE

În mod normal, la proiectarea oricărei structuri, pentru o construcție civilă, industrială sau pentru o

¹ Laboratorul de Rezistența Materialelor, Universitatea Tehnică de Construcții București, Departamentul de Rezistența Materialelor, Poduri și Tuneluri, București, bd. Lacul Tei 124, sector 2 (e-mail: ghindea@utcb.ro)

² Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, bd. Lacul Tei 124, sector 2, student Master Poduri și Tuneluri

infrastructură de transport, cale ferată, drum rutier sau pod, sunt utilizate diverse ipoteze simplificatoare. Acestea sunt legate de legea de comportare a materialelor, de tipul și modul de acțiune al încărcărilor, de complexitatea modelului de calcul și altele. În funcție de complexitatea lucrărilor, a tehnologiilor și materialelor de construcție utilizate, structurile finalizate pot avea o comportare sub încărcări mai mult sau mai puțin diferită de cea evaluată la proiectare.

Podurile, de cale ferată, rutiere sau pietonale, în general, reprezintă noduri cheie ale infrastructurii de transport. Acestea au o importanță deosebită atât din punct de vedere economic, dar și social.

Ținând seama de importanța acestora, este firească implementarea unor reglementări ce impun încercarea structurilor de poduri înainte de darea în folosință. Aceste teste vizează în general comportarea sub încărcări a structurilor de poduri, atât pentru încărcări în regim static, cât și dinamic.

Încercările înainte de darea în exploatare a podurilor este destul de puțin reglementată la nivel național. Importanța și necesitatea încercărilor dinamice, cât și statice, sunt diminuate de diferiți factori, printre care și cei economici.

Standardul ce reglementează încercarea podurilor rutiere, de cale ferată și pietonale în România este STAS 12504 din 1986 (STAS 12504, 1986). Acesta este un standard suficient de vechi în comparație cu dezvoltarea tehnologiei privind măsurătorile experimentale, dar care oferă o serie de indicații esențiale pentru realizarea încercărilor cu acțiuni de probă. La nivelul încercărilor dinamice standardul oferă o serie de informații privind modalitatea asigurării încărcării dinamice a podurilor, enumerând mărimile caracteristice ce pot fi urmărite prin încercare, însă fără a oferi informații privind modalitatea de a obține pe cale experimentală aceste mărimi.

Lucrarea își propune să realizeze o analiză teoretică privind încercarea podurilor cu acțiuni de probă în regim dinamic, atât din punctul de vedere al modului de realizare al acțiunii, cât și din prisma mărimilor determinate experimental. Studiul eficienței diverselor metode experimentale au la bază încercări in situ pentru structuri de poduri rutiere și pe alte tipuri de structuri, precum și încercări de laborator, toate realizate de colectivul Laboratorului de Rezistența Materialelor din cadrul Universității Tehnice de Construcții București.

2. ÎNCERCAREA DINAMICĂ CONFORM STAS 12504-86

Prin comparație cu normele similare implementate pe plan internațional, ca de exemplu standardul internațional ISO 18649 (ISO 18649, 2009) și altele, standardul românesc reprezintă o normă învechită ce necesită o înnoire rapidă și o aliniere cu cerințele unei piețe de profil moderne.

Conform standardului românesc, încercările în regim dinamic cu acțiuni de probă sunt recomandate pentru podurile ce prezintă noutate din punct de vedere al materialelor utilizate, a metodelor de calcul folosite, al deschiderilor sau al tehnologiilor de construcție utilizate sau dacă acestea au deschideri mai mari de 33 m. Încercarea experimentală trebuie prevăzută în cadrul proiectelor și indiferent de tipul podului sau de caracteristicile acestuia, dacă la etapa de proiectare a fost prevăzut un astfel de program experimental, este interzisă darea în folosință fără efectuarea încercărilor și obținerea avizului comisiei de recepție (STAS 12504, 1986).

Din punct de vedere al încercării dinamice, posibilitățile de realizare a acțiunii dinamice asupra podului sunt vag indicate. Astfel, încărcarea dinamică poate fi generată cu ajutorul unor convoaie de vehicule (locomotive sau locomotive cu vagoane încărcate cu balast, pentru podurile de cale ferată, și convoaie ce camioane încărcate cu balast, în cazul podurilor rutiere) și prin intermediul unor instalații de produs vibrații. În cazul podurilor rutiere, pentru mărirea impactului se recomandă utilizarea unor praguri artificiale (în standard indicându-se o scândură standard cu secțiunea de 4×30 cm și o lungime de 300 de cm). În principiu, rolul acestor praguri este de a produce o acțiune de tip șoc asupra podului, astfel încât acesta să oscileze liber după aceea, dar și de a simula o serie de defecte în carosabil și de a determina răspunsul structurii podului la încărcări posibile din trafic.

În cazul convoaielor de probă, pentru podurile de cale ferată și pentru podurile rutiere, încărcarea maximă trebuie să fie aleasă astfel încât să prezinte o eficiență statică de maxim 70%.

Din punctul de vedere al mărimilor urmărite prin încercările experimentale standardul indică o serie de caracteristici dinamice, explicând modalitățile de calcul, dar fără a prezenta modul în care aceste se pot determina experimental (aparatură, principii de măsurare și prelucrare a datelor experimentale). Aceste caracteristici sunt: coeficientul de amplificare dinamică, frecvența podului, decrementul logaritm al vibrațiilor libere.

Aceste caracteristici, la care se adaugă și fracțiunea de amortizare critică sunt analizate în lucrare din punct de vedere al aparatului de încercare și al eficienței metodelor experimentale.

3. METODE DE ÎNCĂRCARE A STRUCTURILOR DE PODURI PENTRU ÎNCERCAREA ÎN REGIM DINAMIC

3.1. Încărcarea podurilor cu ajutorul convoaielor de probă

O metodă practică de inducere a unei acțiuni dinamice la poduri este reprezentată de utilizarea unor convoaie de vehicule ce rulează cu diverse viteze pe pod. Tipul convoaielor de vehicule se stabilește prin proiectul de încercare, singura indicația a standardului de încercări fiind dată sub forma eficienței statice. Convoiul de vehicule trebuie ales prin compararea cu încărcările de calcul ale podului, aceasta fiind dată de diverse convoaie de calcul. Prin evaluarea prin calcul a unei mărimi caracteristice a podului (efortul într-o secțiune oarecare a unui element component, deformații sau deplasări ale elementelor) și exprimând făcând raportul între mărimea rezultată ca urmare a încărcării din convoiul de probă și cea produsă de convoiul de calcul, se determină eficiența statică, conform relației următoare (STAS 12504, 1986):

$$E_{s\text{ dinamic}} = \frac{S_{\text{test}}}{S_{\text{calcul}}} \leq 0.70$$

unde $E_{s\text{ dinamic}}$ reprezintă eficiența statică a convoiului de probă pentru încărcarea în regim dinamic, S_{test} este mărimea caracteristică evaluată ca urmare a acțiunii convoiului de probă, iar S_{calcul} este mărimea caracteristică evaluată ca urmare a acțiunii convoiului de calcul.

Indiferent de tipul podului, convoaiele de probă trebuie să ruleze pe pod cu diverse viteze, pornind de la 10 km/h până la viteza maximă de circulație pe pod. Rularea vehiculelor de probă se face cu viteză constantă pe toată lungimea podului sau între rosturile tronsonului de pod monitorizat. Prin proiectul de încercare trebuie impuse minim cinci praguri de viteză.

În cazul podurilor de cale ferată, convoaiele cu vehicule de probă sunt constituite din locomotive sau locomotive și vagoane încărcate cu balast. În figura 1 se poate observa încărcarea de probă a unui pod de cale ferată cu o locomotivă, în timpul unui test dinamic.



Fig. 1 Convoi de probă pentru un pod de cale ferată (Caglayan, 2011)



Fig. 2 Detaliu la trecerea camionului peste pragul de lemn

Pentru podurile rutiere convoaiele de probă sunt constituite cu ajutorul camioanelor încărcate cu balast. În cazul în care pentru atingerea eficienței statice este nevoie de mai mult de un camion, atunci camioanele trebuie să ruleze în același sens în paralel. În figura 2 se poate vizualiza un detaliu cu trecerea unui camion de probă peste pragul artificial, utilizat pentru inducerea unei

acțiuni de tip șoc, iar în figura 3 este reprezentat un convoi de probă realizat din două camioane ce rulează în paralel.



Fig. 3 Convoi de probă realizat din două camioane de 40 t în timpul încercării dinamice

3.2. Realizarea încărcării dinamice cu instalații de produs vibrații

Instalațiile de produs vibrații se pot clasifica în funcție de tipul acțiunii induse. Astfel putem avea instalații pentru inducerea vibrațiilor forțate, în regim staționar, și instalații pentru inducerea unor acțiuni dinamice de tip șoc.

Dispozitivele utilizate pentru inducerea vibrațiilor forțate se diferențiază în funcție de tehnologia care stă la baza realizării echipamentului. Astfel putem avea dispozitive electro-dinamice (figura 4), dispozitive servo-hidraulice (figura 5) și dispozitive mecanice (figura 6).



Fig. 4 Vibrator electro-dinamic așezat pe traductori de forță (Cunha, 2006)



Fig. 5 Vibrator servo-hidraulic (Cunha, 2006)



Fig. 6 Vibrator mecanic bazat pe oscilația unei mase excentrice (Cunha, 2006)



(a)



(b)

Fig. 7 Echipamente pentru inducerea solicitărilor dinamice de tip șoc: (a) dispozitiv de impact pentru poduri, (b) ciocan de impuls (Cunha, 2006)

Echipamentele utilizate pentru inducerea șocurilor pot fi dispozitive realizate artizanal sau dispozitive specializate. Un aspect important privitor la aceste echipamente, valabil într-o oarecare măsură și pentru echipamentele prezentate mai sus, îl constituie masa dispozitivului care produce

șocul. Aceasta trebuie să fie reprezentativă pentru masa totală a podului testat astfel încât șocul produs să se transmită în întreaga suprastructură încercată. Astfel se poate considera că răspunsul înregistrat, sub formă de vibrații libere este reprezentat de răspunsul structurii analizate și nu de răspunsul local al unui element component. În figura 7 sunt prezentate diverse echipamente pentru inducerea solicitărilor dinamice de tip șoc.

4. ECHIPAMENTE DE MĂSURĂ PENTRU ÎNCERCAREA ÎN REGIM DINAMIC

Echipamentele de măsură utilizate pentru realizarea încercărilor dinamice la poduri se clasifică în funcție de parametrul măsurat. În cazul unei încercări în regim dinamic, uzual, se pot măsura deplasări, deformații specifice sau accelerații.

Oricare din mărimile fizice menționate trebuie măsurate în timp real pe toată durata încercării. De exemplu, în cazul încercării podurilor rutiere cu camioane de probă, se înregistrează răspunsul suprastructurii podului pe toată durata de traversare a podului de către convoiul de probă, înainte de producerea șocului, în timpul șocului și după producerea șocului, până la atenuarea completă a oscilațiilor. Pentru aceasta, echipamentele utilizate pentru măsurare trebuie să fie capabile să măsoare și să înregistreze datele măsurate în timp real pe toată durata încercării, cu aceeași fidelitate și precizie.

Din punctul de vedere al standardului de încercări, echipamentele de măsură pentru încercarea dinamică trebuie să aibă aceleași caracteristici minime ca și cele pentru încercarea statică. Acestea trebuie să satisfacă următoarele condiții: domeniul de măsurare să depășească cu cel puțin 50% valoarea maximă prevăzută a fi atinsă în cursul încercării, de către parametrul măsurat, și să aibă sensibilitatea suficient de ridicată pentru a permite, cel puțin, măsurarea unei valori de 2% din valoarea maximă prevăzută a fi atinsă în cursul încercării de către parametrul măsurat.

4.1. Măsurarea deplasărilor la încercarea dinamică a podurilor

În general, la încercarea podurilor cu încărcări de probă în vederea recepției finale sunt monitorizate deplasările verticale ale tablierului, dar și alte tipuri de deplasări. Pentru această operațiune sunt utilizați traductori de deplasare electrici (ca de exemplu, traductori de deplasare inductivi, așa cum se pot observa în figura 8) sau ceasuri comparatoare cu înregistrare digitală a datelor. O particularitate a acestor măsurători este aceea că în fiecare punct de măsură monitorizarea deplasării se face în raport cu o poziție fixă, ceea ce presupune realizare unor montaje dificile sau utilizarea unor schele pentru poziționarea traductorilor. Montajele trebuie realizate astfel încât să nu se introducă erori suplimentare de măsură, pe lângă erorile inerente de măsurare.

4.2. Măsurarea deformațiilor specifice

Deformațiile specifice sunt monitorizate în puncte din diverse secțiuni ale elementelor structurale ale podurilor, conform proiectului de încercare, la indicația proiectantului în funcție de secțiunile cele mai solicitate ale elementelor sau în funcție de diversele zone de concentrare a eforturilor. Măsurarea deformațiilor specifice se realizează, în general, cu ajutorul tensometriei electro-rezistive, dar cu ajutorul unor tehnologii de ultimă generație, bazate pe traductori cu fibră optică. În cazul utilizării unor traductori tensometrici (mărci tensometrice) pe trei direcții (figura 9), numiți rozete, se poate monitoriza, în punctele de măsură, chiar și starea de eforturi locală pe fața elementelor. Pe lângă măsurătorile realizate în timpul încercărilor pentru recepție, cu aceste dispozitive de măsură se pot realiza și monitorizări de lungă durată ale podului, traductorii utilizați, după montare, nu mai pot fi recuperați.

În cazul măsurării deformațiilor specifice, dar și în cazul deplasărilor, dispozitivele prezentate pot fi utilizate și pentru măsurători în regim static.

Un dezavantaj major al utilizării traductorilor tensometrici îl constituie montarea traductorilor de elementele monitorizate. Aceasta se realizează prin lipirea mărcilor tensometrice de suprafața

elementelor structurale, operațiune ce necesită, pe lângă o îndemânare deosebită a operatorului, urmarea unor etape stricte de curățire și prelucrare a suprafeței, dificil de realizat în condiții de șantier sau de măsurători in situ. Ulterior lipirii mărcii tensometrice, fiecare punct de măsură trebuie protejat împotriva condițiilor de mediu, praf, umezeală etc.



Fig. 8 Traductori de deplasare inductivi (HBM, 2014)



Fig. 9 Mărci tensometrice încapsulate și cu cabluri de legătură pre-asamblate (HBM, 2014)

4.3. Măsurarea accelerațiilor

Accelerațiile sunt parametri fizici măsurabili, caracteristici strict încercărilor în regim dinamic. Pentru măsurarea acestora sunt utilizate diverse tipuri constructive de accelerometre, în funcție de proprietățile electrice monitorizate ale dispozitivului. Astfel putem avea accelerometre inductive și capacitive. Pe lângă aceste un caz aparte îl constituie accelerometrele piezoelectrice. Datorită caracteristicilor de durabilitate, fiabilitate și performanță, accelerometrele capacitive și cele piezoelectrice sunt cel mai des utilizate.



Fig. 10 Lanț de măsură cu accelerometre capacitive

Montajul accelerometrelor este, în general, unul simplu, ușor de realizat în condițiile încercărilor in situ. Cu toate acestea, montarea accelerometrelor trebuie făcută cu o rigurozitate deosebită, din punctul de vedere al sistemului de montaj. Acesta trebuie să asigure o legătură rigidă între accelerometru și elementul structural monitorizat, astfel încât sistemul de montaj să nu reprezinte un sistem vibrant și să nu se inducă în șirul de valori măsurate accelerații parazite rezultate din oscilațiile acestuia (ISO 5348, 1998). În figura 10 se poate observa un lanț de măsură cu accelerometre capacitive mono-axiale utilizat la încercarea unui pod rutier.

5. PRINCIPII DE DETERMINARE EXPERIMENTALĂ A CARACTERISTICILOR DINAMICE LA PODURI

5.1. Determinarea coeficientului de amplificare dinamică

Determinarea experimentală a coeficientului de amplificare dinamică se determină prin compararea mărimii unui parametru fizic al podului determinat în urma încărcării dinamice cu valoarea

aceluiși parametru determinat prin încărcarea podului în regim static.

Coeficientul de amplificare dinamică determinat experimental, $\psi_{\text{experimental}}$, se poate descrie prin următoarea relație de calcul generală:

$$\psi_{\text{experimental}} = \frac{R_{\text{dinamic}}}{R_{\text{static}}}$$

unde R_{dinamic} reprezintă valoarea maximă, a parametrul fizic monitorizat, determinată în urma încercării în regim dinamic, iar R_{static} reprezintă valoarea, aceluiși parametru, determinată în urma încercării în regim static.

Prin urmare, trebuie avut în vedere că parametrii fizici ce pot servi la determinarea coeficientului de amplificare dinamică pot fi numai deplasări sau deformații specifice, deoarece sunt mărimi fizice ce se pot determina experimental atât la încercarea în regim dinamic, cât și la încercarea în regim static. Accelațiile fiind mărimi determinate strict în urma încercării în regim dinamic nu pot fi considerate la determinarea coeficientului de amplificare dinamică.

În figura 11 este reprezentată determinarea coeficientului de amplificare dinamică în urma solicitării dinamice prin șoc, experiment realizat în laborator.

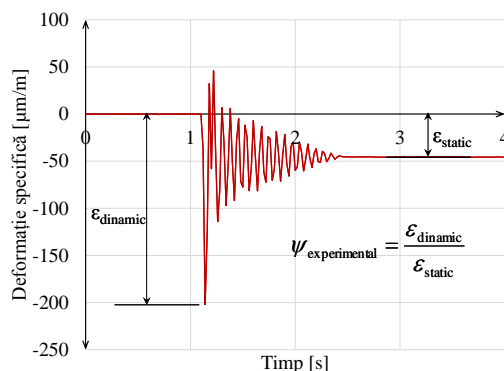


Fig. 11 Determinarea coeficientului de amplificare dinamică prin măsurarea deformațiilor specifice în urma unei încercări dinamice la șoc

În cazul determinării coeficientului de amplificare dinamică la șoc în urma încercării cu convoaie de probă, se compară valoarea maximă a parametrului măsurat la trecerea vehiculelor de probă cu valoarea aceluiși parametru obținută în urma încărcării statice a podului cu același convoi, așezat în poziția pentru care se obține valoarea maximă a parametrului monitorizat.

5.2. Determinarea frecvențelor proprii de vibrație

Frecvențele proprii de vibrație ale suprastructurii podului se obțin prin prelucrarea înregistrărilor în timp a oricărui parametru caracteristic măsurat: deplasări, deformații specifice sau accelerații. Metodele curente utilizate pentru determinarea frecvențelor de vibrație sunt bazate pe înregistrarea răspunsului suprastructurii podului la vibrații libere sau în urma unor solicitări forțate de tip armonic, în regim staționar, sau din vibrații ambientale.

Înregistrările în timp ale diverselor mărimi fizice monitorizate la încercarea dinamică pot fi prelucrate cu ajutorul spectrelor Fourier sau a spectrelor de putere în vederea determinării conținutului de frecvențe ale respectivelor oscilații.

Teoretic, din punctul de vedere strict al determinării frecvențelor proprii de vibrație ale unei structuri, încercările experimentale la vibrații libere sunt cele mai precise. În general, în funcție de alcătuirea structurii și de modul de realizare a încărcării experimentale, răspunsul structurii la solicitarea dinamică prin șoc este unul simplu, cu o înregistrare a mărimii măsurate apropiată de o variație teoretică, sau unul complex, în conținutul de frecvențe al mișcării înregistrate regăsindu-se diverse frecvențe parazite, datorate vibrației unor elemente secundare de importanță redusă, vibrațiilor ambientale sau vibrații induse ca urmare a aplicării încărcării (cum este cazul încărcării cu camioane de probă la podurile rutiere). În figurile 12 și 13 se pot observa pentru comparație

vibrațiile libere ale unui element de beton prefabricat utilizată la realizarea unui planșeu compozit, realizat din fâșii din beton precomprimat cu supra-betonare, și ale tablierului unui pod din beton armat. În primul caz solicitarea s-a realizat printr-o săritură a unui om pe planșeu, în timp ce în al doilea caz, solicitarea s-a realizat prin rularea unui camion de probă pe pod.

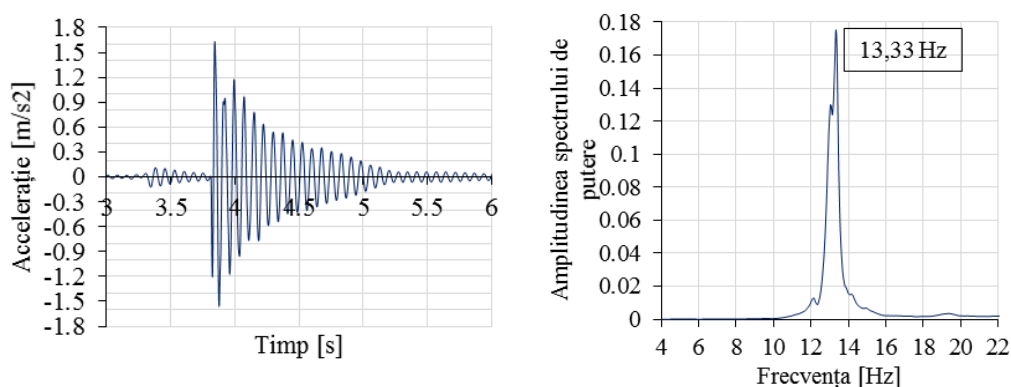


Fig. 12 Accelerograma înregistrată și spectrul de putere aferent încercării unei fâșii din beton precomprimat

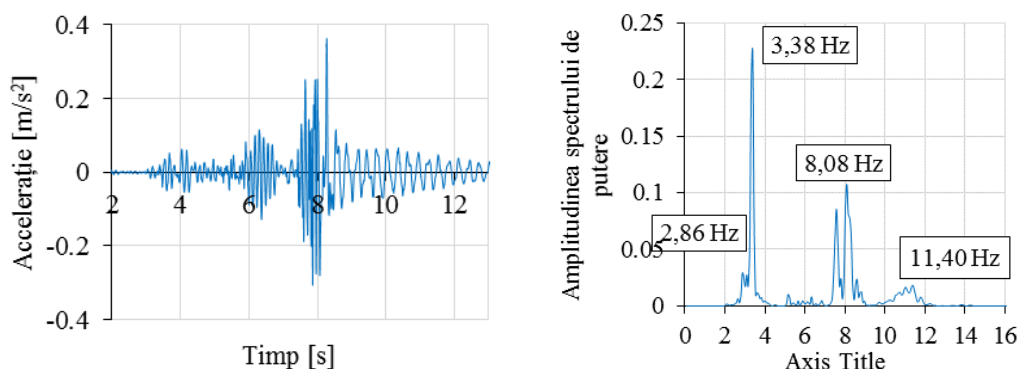


Fig. 13 Accelerograma înregistrată și spectrul de putere aferent încercării unei unui pod din beton armat

În cazul solicitării dinamice cu vibrații forțate în regim staționar, determinarea frecvențelor proprii de vibrație ale podului se face prin urmărirea fenomenului de rezonanță. Dispozitivele de încărcare dinamică trebuie să fie capabile să acopere o bandă de frecvențe suficient de mare pentru a putea fi folosite la cât mai multe categorii de poduri și pentru a putea obține experimental cât mai multe frecvențe de vibrație. Înregistrările experimentale sunt prelucrate în vederea obținerii răspunsului maxim al structurii pentru fiecare frecvență de vibrație considerată pentru excitație. Reprezentarea valorilor maxime în funcție de frecvența de vibrație a excitației conduce la obținerea unei curbe de răspuns. Vârfulurile curbei de răspuns reprezintă frecvențele proprii de vibrație ale structurii, pentru care aceasta se află în cvasi-rezonanță cu excitația (figura 16).

5.3. Determinarea fracțiunii din amortizarea critică

Fracțiunea din amortizarea critică se determină, pe baza decrementului logaritm al vibrațiilor libere sau, în cazul unei excitații cu vibrații forțate, prin metoda benzii la semi-putere. În literatura de specialitate este cunoscut faptul că determinarea experimentală a fracțiunii din amortizarea critică pe baza vibrațiilor libere este dependentă de amplitudinea mișcării înregistrate (Cruciat, 2012), așa cum se poate observa și din figurile 14 și 15. În acest caz, rezultate mai exacte fiind obținute prin încercările experimentale cu vibrații forțate. În figura 16 este exemplificată determinarea fracțiunii din amortizarea critică pe baza curbei de răspuns la vibrații forțate. Exemplificările sunt bazate pe încercări experimentale de laborator asupra unui sistem cu două grade de libertate.

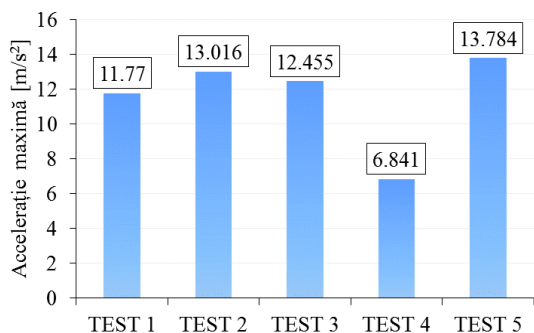


Fig. 14 Variația accelerației maxime înregistrate la încercările la vibrații libere

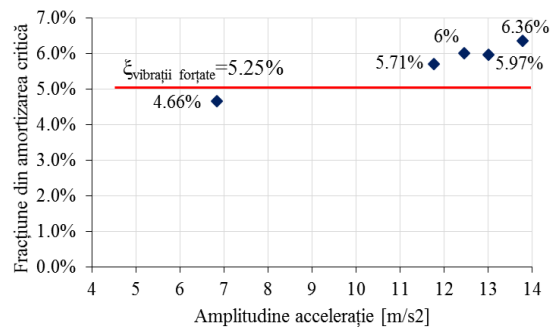


Fig. 15 Variația fracțiunii din amortizarea critică în raport cu amplitudinea accelerației

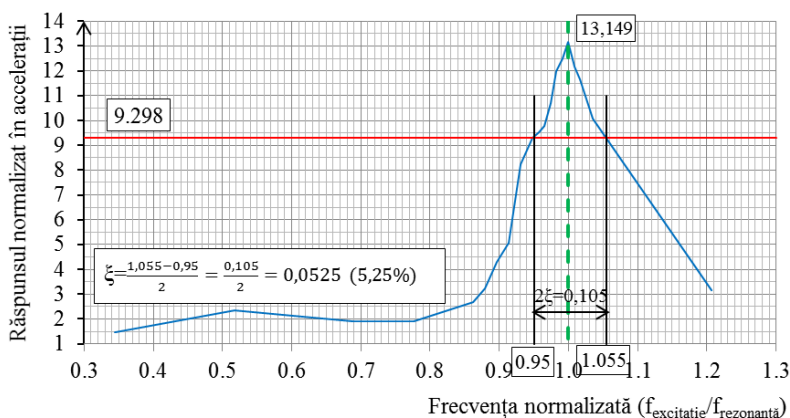


Fig. 16 Determinarea fracțiunii din amortizarea critică prin metoda benzii la semi-putere

6. CONCLUZII

Încercarea dinamică a podurilor înainte de darea în funcțiune a acestora reprezintă un ansamblu de metode experimentale și procedee experimentale. La realizarea proiectelor de încercare trebuie să se țină seama de complexitatea încercării în ansamblu. Prin urmare, cerințele trebuie să fie în concordanță cu capacitatea asigurării tuturor condițiilor de realizare a încercării, acest aspect reflectându-se în precizia măsurătorilor, utilitatea determinării anumitor caracteristici dinamice și în costurile totale de realizare ale încercării experimentale.

Pentru exemplificare, dacă se consideră cazul măsurătorilor de deplasări, așa cum s-a menționat în paragrafele anterioare, utilizarea traductorilor de deplasare permite determinarea tuturor caracteristicilor dinamice ale structurii. Pe de altă parte, utilizarea acestor traductori este restricționată de condițiile de montaj, în anumite cazuri montarea acestora fiind imposibilă sau necesitând asigurarea unor sisteme de montaj complexe, costisitoare din punctul de vedere al beneficiarului sau al constructorului.

Măsurarea deformațiilor specifice, cu ajutorul traductorilor tensometrici sau a traductorilor optici, se încadrează aproximativ pe aceeași treaptă de complexitate din punctul de vedere al determinării caracteristicilor dinamice, cu un plus în ceea ce privește determinarea stării de tensiune locale pe suprafața elementelor. Dezavantajul utilizării acestor echipamente constă în cheltuieli cu echipamente nerecuperabile, ce rămân lipite pe elementele încercate sau înglobate în beton.

Utilizarea accelerometrelor pentru determinarea caracteristicilor dinamice, este cea mai simplă metodă experimentală, din punctul de vedere al echipamentelor de măsură, apărând restricții privind caracteristicile dinamice determinate (prin această metodă nu se poate determina coeficientul de amplificare dinamic).

Din punct de vedere al excitației cea mai performantă metodă este utilizarea echipamentelor pentru inducerea de vibrații armonice forțate, în regim staționar, sau, cu performanțe ceva mai reduse a

instalațiilor de indus solicitări dinamice prin șoc.

O metodă utilizată frecvent este cea a utilizării convoaielor de probă, având ca principal dezavantaj inducerea de vibrații perturbatoare a căror frecvență de vibrație poate apare distinct în conținutul de frecvențe al mișcării înregistrate sau se poate suprapune cu unul din modurile de vibrație ale podului încercat.

O comparație între frecvențele de vibrație ale tablierelor podurilor raportată la deschiderea maximă a acestora și la sistemul constructiv al podului este realizată în figura 17. Sunt analizate numai poduri rutiere, pentru care determinările experimentale au fost realizate cu ajutorul convoaielor de camioane și prin măsurarea accelerațiilor verticale ale tablierelor.

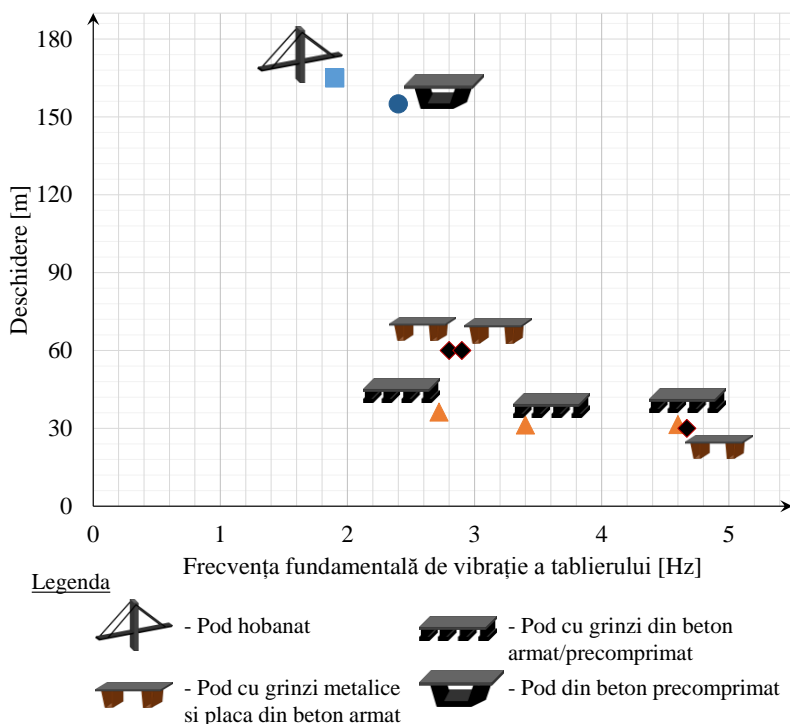


Fig. 17 Diagramă comparativă a frecvențelor de vibrație fundamentale la poduri rutiere

REFERINȚE

CAGLAYAN, Ozden, OZAKGUL, Kadir, TEZER, Ovunc, UZGIDER, Erdogan (2011) Evaluation of a steel railway bridge for dynamic and seismic loads, Journal of Constructional Steel Research, dx.doi.org/10.1016/j.jcsr.2011.02.013, pag. 1198–1211

CHOPRA, Anil Kumar (2006) Dynamics of Structures, 3rd edition, Prentice Hall, New Jersey

CUNHA, Álvaro, CAETANO, Elsa, MAGALHÃES, Filipe, MOUTINHO, Carlos (2006) From input-output to output-only modal identification of civil engineering structures, SAMCO Final Report 2006, www.samco.org, pag. 1-22

CRUCIAT, Radu, GHINDEA, Cristian (2012) Experimental Determination of Dynamic Characteristics of Structures, Mathematical Modelling in Civil Engineering - Scientific Journal of the Technical University of Civil Engineering, ISSN 2066-6926, No. 4, pag. 51-59

ISO 5348 (1998) Mechanical mounting of accelerometers, International Organization for Standardization, Geneva.

HBM (2014) WA Inductive Standard Displacement Transducers, Data Sheet, Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, www.hbm.com

HBM (2014) Encapsulated SG with 3m stranded connection wire, Data Sheet, Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, www.hbm.com

STAS 12504 (1986) Poduri de cale ferată, de șosea și pasarele. Încercarea suprastructurilor cu acțiuni de probă, Institutul Român de Standardizare, București.