

# STUDII ȘI EXPERIMENTĂRI PRIVIND CARACTERISTICILE DINAMICE ALE STRUCTURILOR INDUSTRIALE ÎN CADRE

Ion SCORDALIU

CS I dr. ing., Institutul Național de Cercetare - Dezvoltare în Construcții, Urbanism și Dezvoltare Teritorială Durabilă  
URBAN-INCERC Sucursala Timișoara

Eugen LASZLO

Fizician, Institutul Național de Cercetare - Dezvoltare în Construcții, Urbanism și Dezvoltare Teritorială Durabilă  
URBAN-INCERC Sucursala Timișoara

**Abstract.** The dynamic characteristic represents the basic elements necessary to be known for an analysis of the building behavior during an earthquake. The experimental determination of these parameters is very important for the building which undergone some damages during previous earthquakes. In those cases, to estimate only by theoretical computing the behaviour of a building could conduct to results with a low degree of confidence. As experimental methods to establish the dynamic characteristics of a structure, are the method of forced vibration, induced into the structure and the environmental methods.

**Key words:** dynamic characteristics, eigenvalues.

## 1. Introducere

Patrimoniului construit i se acordă în ultimul timp o importanță deosebită, dovadă fiind atât apariția "Normelor metodologice privind urmărirea comportării construcțiilor, inclusiv supravegherea curentă a stării tehnice a acestora" indicativ P130-88 cât și a Hotărârii Guvernului nr. 644/90 privind măsuri pentru reducerea riscului de avariere a construcțiilor afectate de cutremure și a legii nr. 10/1995.

Principalele caracteristici dinamice care se pot determina pe cale experimentală sunt perioadele și formele proprii de vibrație în plan transversal și longitudinal și coeficientul de amortizare ( $\nu$ ). Rezultatele experimentale se compară cu evaluările analitice, pentru a verifica modelele dinamice luate în considerare în proiectare. Caracteristicile dinamice reprezintă parametrii de bază pentru analizarea comportării construcțiilor la acțiuni seismice. Determinarea lor experimentală este foarte importantă în cazul construcțiilor existente, la care au apărut degradări ale rigidității dinamice în urma unor cutremure puternice. În aceste cazuri evaluarea directă prin calcul, fără elemente de comparație poate duce la rezultate cu un grad foarte scăzut de încredere.

Ca metode experimentale de determinare a caracteristicilor dinamice sunt cunoscute metoda vibrațiilor forțate și metode ambientale. Metodele experimentale se bazează pe faptul că construcțiile antrenate în mișcarea seismică se comportă ca niște filtre dinamice amplificând componentele spectrale apropiate frecvențelor proprii și atenuându-le pe cele depărtate de acestea. Răspunsul structurilor este o combinație liniară de mișcări sinusoidale cu frecvențe foarte apropiate de frecvențele proprii. Din punct de vedere energetic, la nivelul terenului energia de oscilație este distribuită relativ uniform, într-un domeniu larg de frecvențe în timp ce la

diferite niveluri ale construcției, energia de oscilație este distribuită în vecinătatea frecvențelor proprii. În România datorită lipsei aparatului necesare determinărilor, măsurătorile pe construcții s-au făcut sporadic, în mare parte doar la expertizarea unor dădiri avariate de cutremurele vrâncene. În consecință stadiul cercetărilor în țara noastră este relativ incipient atât în problema interacțiunii cât și în cea a utilizării determinărilor experimentale.

## 2. Metodologia de lucru

La încercările experimentale efectuate s-a folosit metoda vibrațiilor forțate. În această metodă vibrațiile sunt induse cu ajutorul unui generator mecanic de vibrații sau a unui oscilator tip pendul iar cu ajutorul traductoarelor de accelerație și a aparatului de măsurare și achiziție sunt înregistrate oscilațiile de răspuns ale construcției (oscilograma punctului) sau ale terenului.

### 2.1. Oscilatoare mecanice

În cercetările experimentale efectuate s-au utilizat două tipuri de oscilatoare:

**1. Vibrator mecanic centrifugal** (Fig.1) cu posibilități de modificare atât a masei excentrice (în gama 0...96 Kg), cât și a excentricităților, asigurând o gamă de frecvențe între 0...20 Hz. Vibratorul mecanic centrifugal este alcătuit dintr-un cadru metalic prevăzut cu 2 axe verticale pe care se montează masele excentrice constituite din plăci metalice groase. Axele având masele excentrice montate pe ele, se rotesc în sens invers una față de cealaltă, în așa fel încât forțele inerțiale ce iau naștere se însumează pe direcția pe care s-a făcut montajul, iar pe direcție perpendicular se anulează. La frecvența de 20 Hz forța orizontală maximă aplicată ansamblului structură-fundație-teren este de 74,3 kN.



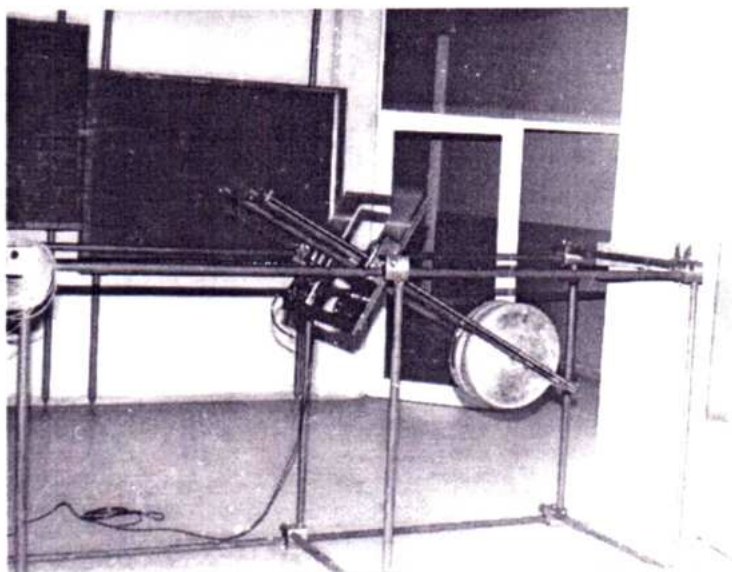


Fig. 3. Oscilator montat în structură

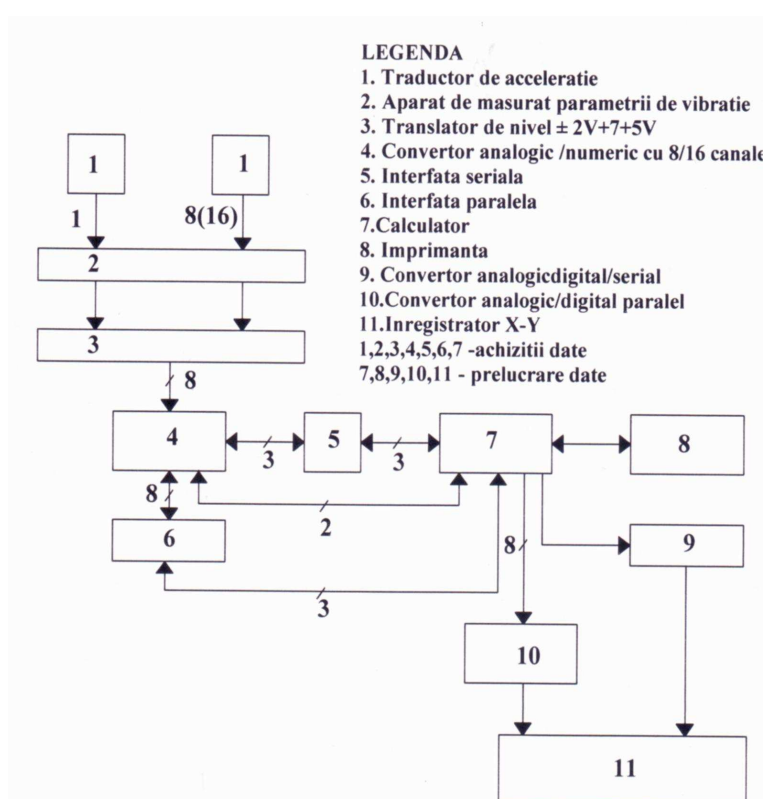


Fig.4. Schemă bloc.

### 2.3. Efectuarea încercării

După montarea în structură a oscilatorului mecanic prin prindere rigidă de un stâlp al cadrelui, se procedează la montarea și punerea în funcție a aparatelor de măsură și înregistrare. Metodologiile de efectuare a încercării diferă în funcție de tipul de oscilator utilizat.

a) **Vibrator centrifugal** Se pun în funcție aparatele de măsurare și înregistrare și se pornește pe turație

minimă vibratorul centrifugal. Se lansează programul de achiziție a datelor și se comandă creșterea turației vibrogeneratorului, pe cât posibil cu o variație liniară, ca structura să aibă timp să intre în eventuale rezonanțe. După atingerea turației maxime se parcurge gama de frecvențe în sens invers cunoscând faptul că rezonanța se produce la valori ale frecvențelor apropiate dar nu identice în cele două cazuri. Datele se înregistrează automat pe disc sau pe dischetă.

### b) Oscilatorul tip pendul

Inercarea se pornește cu elongația maximă a pendulului (lungimea maximă). Se lansează programul de achiziție (care are o durată mult mai mare decât în cazul vibratorului centrifugal) și se pune în funcțiune motorul de ridicare a masei pendulului, în acest fel se modifică succesiv lungimea pendulului de la 110cm la 5cm, iar frecvența vibrațiilor induse în structură parcurge gama de frecvență 0.5...9Hz. Banda de frecvență se parcurge și în acest caz și în sens invers.

La terminarea încercării se controlează fișierele de date, pentru verificarea reușitei încercării după care se comandă salvarea fișierelor pe discul flexibil sau pe hard disc.

### 2.4. Prelucrarea datelor

Semnalele achiziționate au un spectru în care o pondere importantă o au perturbațiile. Din cauza forțelor de excitație relativ mici, transmise de oscilatoare structurii încărcate, răspunsul semnalelor percepute de accelerometre se caracterizează printr-un raport semnal-zgomot mic. Din acest motiv datele culese trebuie prelucrate cu ajutorul filtrelor prin care se îmbunătățește raportul semnal-zgomot, se elimină datele accidentale și dispar modulațiile de frecvență nedorită.

Prelucrarea datelor constă în:

a) Trasarea spectrului de frecvență prin care se evidențiază frecvența de rezonanță a structurii sau a terenului.

b) Trasarea deformației structurii în funcție de amplitudinea oscilațiilor la un moment dat, reprezentare ce permite stabilirea modurilor proprii de oscilație ale structurii în plan transversal și longitudinal. Printr-un program de vizualizare dinamică, se poate urmări (pe monitorul calculatorului) mișcarea structurii în timpul solicitării dinamice a acesteia.

c) Mișcarea de ansamblu a construcției și reprezentarea mișcării de rigid a structurii.

### 3. Incercari experimentale

Utilizând metodologia prezentată și aparatura de excitare, achiziție și prelucrare date s-au făcut încercări pe hale industriale parter cu sau fără pod rulant cu structuri în cadre din beton armat sau metal cu una sau mai multe deschideri.

Traducătorii s-au fixat la baza stâlpului la mijlocul lor și la nivelul consolei. S-au echipat câte doi stâlpi componenți ai cadrului. Majoritatea clădirilor experimentale, pe lângă structura efectivă a halei cu una sau două deschideri au și anexe reprezentând birouri sau magazii, cu parter sau parter și etaj.

Rezultatele obținute experimental au fost comparate cu rezultatele obținute teoretic sau prin utilizarea a diverse relații empirice conținute în literatura tehnică de specialitate. Calculul teoretic al structurilor experimentale s-a făcut prin utilizarea programului AXIS-3D. Pentru fiecare structură s-a efectuat o analiză statică, ceea ce a permis determinarea deplasărilor orizontale sub acțiunea încărcărilor gravitaționale aplicate ca forțe orizontale și o analiză dinamică care a permis determinarea perioadelor proprii și a deformatelor (moduri proprii de vibrație) pentru primele 6 moduri de vibrație.

Pentru fiecare structură experimentală analiza statică și dinamică s-a efectuat în următoarele variante:

- cadru plan
- cadru spațial
- cadru spațial cu placă

Pentru calculul prin relații aproximative de calcul a perioadelor proprii de vibrație aplicabile, structurilor în cadre, au fost selectate din literatura tehnică următoarele relații (Ifrim, 1984):

1. Formula T. Taniguchi

$$T_1 = (0,07 \dots 0,09) n \text{ (sec)}, n - \text{nr. de nivele și } T_1 = (0,07 \dots 0,08) (n + 0,5)$$

2. Formula comitetului de supraveghere a coastei SUA:  $T_1 = 0,1 n \text{ (sec)}$ , n – nr. de nivele

3. Formula comitetului unit ASCE-SEA

$$T_1 = (0,091 \dots 0,130) - \frac{L}{\sqrt{B}} \text{ (sec)} \quad (L - \text{Înălțimea}$$

clădirii; B – dimensiunea clădirii pe direcția de vibrație)

4. Formula Ulrich-DS.Carder:  $T_1 = 0,019 L \text{ (sec)}$ , (L – înălțimea clădirii)

5. Formula I.L. Korcinski:  $T_1 = L/150 \text{ (sec)}$

6. Formula R.R. Osenblueth:  $T_1 = (0,09 \dots 0,10) (n+1) \text{ sec.}$ , n-nr. nivele

7. Formula Kyoji Nakayava:  $T_1 = (0,1 + 0,028 n) \dots (0,2 + 0,064) n \text{ (sec)}$ , n – nr. de nivele

8. Formula Mario Takauki:

9.  $T_1 = (1/50 \dots 1/80) [4L(1-4\gamma)]$  și  $T_1 = L/60 \text{ (sec)}$ , L – înălțimea clădirii;  $\gamma$  - coef. egal cu 0.1.

10. Relația din normativul (P100 -1/2006):

$T_1 = 0,20 \sqrt{\delta n}$ , unde:  $\delta n$  – deplasarea orizontală obținută prin aplicarea unei forțe statice orizontale egale cu sarcina gravitațională care acționează asupra cadrului.

În **Tabelul 1** se face o comparație a valorilor obținute experimental, cu cele obținute teoretic prin utilizarea programului AXIS-3D, prin metode empirice de calcul și cu relația de calcul prevăzută în codul de proiectare seismică (P100-1/2006). Din analiza datelor cuprinse în **Tabelul 1** se constată că valorile experimentale diferă cu până la 40% de valorile stabilite teoretic sau prin relații empirice.

**Tabelul 1.** Caracteristici dinamice hale part er

Valori stabilite prin calcul								Valori măsurate			
Program AXIS-3D		Relații empirice		(P100-1/2006)		( EC 8 )		Experimental		Fract. din amort.	
T[s]	f[Hz]	T[s]	f[Hz]	T[s]	f[Hz]	T[s]	f[Hz]	T[s]	f[Hz]	v	
Hale parter cu structura în cadre din beton armat											
Atelier mecanic-ROMTENSID SA Calea Buziașului Timișoara											
0.604	1.62	0.135-0.456	2.19-7.40	0.764	1.3	0.44	2.27	0.666	1.5	0.43	
0.484	2.06							0.192	5.2		
0.296	3.37							0.097	10.3		
INCERC Timișoara Hala 1 str.Traian Lalescu nr.2 Timișoara											
0.204	4.9	0.100-0.231	10-4.40	0.397-0.455	2.19-2.51	0.32	3.1	0.227	4.4	0.108	
0.088	11.4							0.135	7.4		
0.042	23.8							0.095	10.5		
Departamentul CCI A-Hala de încercări, str. Traian Lalescu nr. 1 Timișoara											
0.204	4.9	0.1-0.231	10-4.4	0.397-0.455	2.19-2.51	0.32	3.1	0.263	3.8	0.21	
0.088	11.4							0.145	6.8		
0.042	23.8							0.098	10.2		
AUTOTIM-Hala de debitare.Calea Circumvalațiunii nr.4 Timișoara											
0.337	2.96	0.237-0.379	2.63-4.21	0.459	1.78	0.36	2.78	0.312	2.97	0.08	
0.190	5.26							0.172	5.8		
0.052	19.23							0.111	9		
AUTOTIM-Hala de reparații auto.Calea Circumvalațiunii nr.4 Timișoara											
0.321	3.1	0.105-0.408	2.45-9.52	0.423	2.36	0.41	2.44	0.172	5.8	0.057	
0.139	5.2							0.136	7.3		
0.083	12							0.105	9.5		
Hale parter cu structură metalică											
AUTOTIM-Hala de reparații autospeciale.Calea Circumvalațiunii nr.4 Timișoara											
0.975	1.02	0.1-0.369	2.71-10	0.587	1.7	0.392	2.55	0.833	1.2		
0.925	1.08							0.298	4.8		
0.818	1.22							0.111	9		
AUTOTIM-Hala piese de schimb.Calea Circumvalațiunii nr.4 Timișoara											
0.39	2.56	0.1-0.648	1.54-10	0.358	2.79	0.598	1.67	0.285	3.4		
0.362	2.76							0.22	6.8		
0.21	4.76							0.13	7.4		
AUTOTIM-Hala confecții metalice.Calea Circumvalațiunii nr.4 Timișoara											
0.279	3.58	0.1-0.52	1.81-10	0.278	3.59	0.53	1.88	0.263	3.5		
0.143	6.99							0.138	7.2		
0.101	9.9							0.098	10.2		
AUTOTIM-Hala turnătorie.Calea Circumvalațiunii nr.4 Timișoara											
0.284	3.52	0.1-0.864	1.15-10	0.295	3.38	0.742	1.34	0.345	2.89		
0.182	5.49							0.202	4.95		
0.091	10.98							0.094	10.63		
CET Timișoara – Sala mașini											
0.225	3.92	0.01-1.31	0.763-10	0.307	2.58	1.04	0.95	0.388	2.57		
0.194	5.15							0.240	4.16		
0.078	2.82							0.118	8.47		
AUTOTIM-estacadă											
0.44	2.27	0.1-0.552	1.81-10	0.243	4.11	0.288	3.47	0.285	3.5		
0.22	4.54							0.138	7.2		
0.101	9.9							0.098	10.2		

#### 4. Concluzii

Metoda vibrațiilor forțate, provocate de de instalațiile de produs vibrații, cu aparatura de achiziție, filtrare, prelucrare și redare grafică a datelor măsurate vine în sprijinul proiectanților de structuri noi cât mai ales în cazul consolidării celor avariate, prin determinarea caracteristicilor dinamice pe clădiri la scară natural și compararea valorilor determinate cu valorile obținute teoretic sau prin utilizarea unor relații empirice. Metoda este expeditivă și se bazează pe modificarea

în timpul încercării a frecvenței vibrațiilor induse în structură și menținerea pe frecvența de rezonanță o perioadă de timp mai îndelungată.

Se poate aprecia pe baza deformantelor structurii rigiditatea acesteia și implicit rezerva din capacitatea portantă, precum și depistarea zonelor cu defecte majore de execuție sau proiectare, situate în locuri ascunse, de obicei la îmbinări. Determinarea corectă a perioadei proprii de vibrație T conduce la o apreciere

mai corectă a coeficientului dinamic  $\beta$  ceea ce conduce la o dimensionare mai aproape de realitate a elementelor structurale.

Studiile experimentale pe clădiri la scară naturală cu stabilirea deformantei structurii pun în evidență poziția punctelor de inflexiune pe înălțimea construcției aspect ce este legat de rigiditatea structurii și de gradul de încastrare în teren a acesteia. Metoda vibrațiilor forțate constituie și o metodologie experimentală de expertizare a clădirilor, și de verificare a eficacității unei soluții de consolidare aplicate. Metoda este bazată pe tehnica vibrațiilor și are la baza determinarea perioadelor proprii de vibrație ale unei structuri existente înainte și dacă este cazul după aplicarea unei soluții de consolidare ceea ce permite aprecierea modificării rigidității și în consecință a rezistenței construcției la acțiunea seismică.

În privința actelor normative în vigoare, care stau la baza evaluării caracteristicilor dinamice, precum și calculului dinamic al construcțiilor, se pot face următoarele afirmații:

- Lipsa unei metodologii și a unei aparaturi legiferate prin norme, care să fie folosită la excitarea dinamică a construcțiilor, până în prezent

utilizându-se: exploziile, vibrațiile din traficul greu, șocuri provocate, direct din cutremure.

- Este necesară o microzonare mai detaliată a teritoriului în funcție de perioada proprie de vibrație a terenului definită prin perioada de colț  $T_c$ . Din acest punct de vedere, de exemplu la nivelul orașului Timișoara se poate vorbi de o împărțire în 3 zone, pe direcția N-S, astfel este posibil ca într-o zonă calculul să fie mult acoperitor iar în altă zonă neacoperitor.
- Ar fi necesară găsirea unei relații de calcul a coeficientului seismic global în care să intre direct perioada proprie de vibrație, așa cum acest lucru se găsește în normele unor țări.
- Se impune necesitatea dotării cu aparatură performantă de determinare a caracteristicilor dinamice ale structurilor și terenurilor de fundare.

#### BIBLIOGRAFIE

- Ifrim M. (1984), *Dinamica structurilor și inginerie seismică*, Editura Didactică și Pedagogică – București, pag. 475, tabelul 10.2.
- EUROCODE EC 8. *Design of structures for earthquake resistance. Part 1 General rules seismic actions and rules for buildings.*
- P 100-1/2006, Cod de proiectare seismică - Partea I. Prevederi de proiectare pentru clădiri.

Primit: 27 aprilie 2011; revizuit 5 mai 2011; acceptat în forma finală: 15 mai 2011