



A XVI-a Conferință internațională – multidisciplinară  
„Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești”  
SEBEȘ, 2016

## **INFLUENȚA RIGIDITĂȚII MECANICE ASUPRA FRECVENȚELOR PROPRII DE VIBRAȚIE A CADRELOR METALICE**

Emilian STANCIU, Marius TUFOI, Vasile IANCU

### **THE INFLUENCE OF MECHANICAL STIFFNESS ON EIGEN FREQUENCIES OF VIBRATION AT METAL FRAMES**

This paper presents a study regarding the changes of the natural frequency of trusses due to stiffness increase. The finite element analysis was performed, considering a constantly increasing of stiffness of frame. In this way, the correlation between frequency changes in the transversal vibration modes and stiffness for the studied frames is highlighted.

Keywords: stiffness, eigen frequency, vibration mode, FEM  
Cuvinte cheie: rigiditate, frecvențe proprii, moduri de vibrație, MEF

#### **1. Introducere**

Prin analiza răspunsului dinamic în frecvență al structurilor se poate stabili starea de integritate. Astfel, la apariția defectelor se pot lua decizii cu privire la modul în care structura poate fi utilizată în continuare.

În ultimii ani s-a manifestat un interes crescând în monitorizarea structurilor de tip cadru, cercetările actuale fiind orientate spre evidențierea schimbărilor apărute în valoarea mărimilor fizice măsurate, cele mai potrivite pentru semnalarea apariției unui defect fiind frecvențele proprii. În prezent studiul vibrațiilor devine tot mai important, mai ales în aplicații din domeniul proiectării structurilor mecanice sau

ale metodelor nedistructive de determinare a defectelor din structurile mecanice, deoarece perfecționarea continuă a mașinilor, utilajelor și echipamentelor industriale duce la reducerea masei și rigidității acestora, însoțite de o sensibilitate mărită la solicitările dinamice [1], [7], [8].

Analiza vibrațiilor are în vedere asigurarea protecției structurilor mecanice prin determinarea și reducerea efectelor nocive asupra acestora. Rigiditatea este proprietatea corpurilor de a se opune deformații mecanice sub acțiunea unor forțe. Se urmărește menținerea performanțelor superioare ale mașinilor și echipamentelor în condițiile unor viteze de lucru cât mai mari și reducerea apariției defectelor de structură [2]-[5, 6].

Cadrelle sunt definite ca sisteme de bare a căror axă formează o linie frântă sau ramificată. Nodurile dintre bare realizează legături rigide sau articulate. Cadrelle se consideră rigide dacă nu permit deplasări asemănătoare cu cele produse în mecanisme, ci numai deformații și/sau deplasări elastice. În figura 1 se prezintă două exemple de cadre rigide.

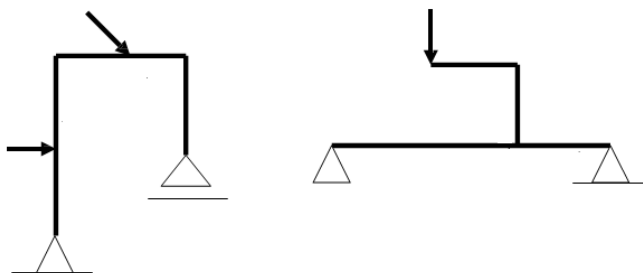


Fig. 1 Exemple de cadre rigide

Din aceste motive lucrarea de față studiază influența rigidității mecanice asupra frecvențelor proprii de vibrație a cadrelor metalice. La cadrelle metalice simple, nerigidizate, studiate, s-au adăugat elemente triunghiulare de rigidizare în vederea creșterii rigidității globale a ansamblului nou format. În vederea determinării influenței pe care o are modificarea rigidității mecanice a unei structuri asupra frecvențelor proprii de vibrație s-a utilizat o metodă numerică [9,10].

Metoda numerică aleasă pentru analiza modală este metoda elementelor finite (MEF) folosind programele specializate ANSYS și SolidWorks. Modelarea geometriei de analizat a fost realizată în modulul *Geometry (Design Modeler* în Ansys) al aceluiași program.

## 2. Determinarea frecvențelor proprii de vibrație prin simulare cu MEF

Pentru obținerea frecvențelor proprii s-a folosit modulul de analiză modală, temperatura mediului ambiant fiind de 22 °C. Prin analiza modală au fost determinate primele 30 de moduri și frecvențe proprii de vibrație. Discretizarea modelului 3D s-a făcut cu elemente finite tetraedrale pentru SolidWorks (paralelipipedice în Ansys), materialul utilizat din baza de date a programului este oțelul AISI 1045 (Structural Steel în Ansys) cu proprietățile mecanice prezentate în tabelul 1 [3, 4]:

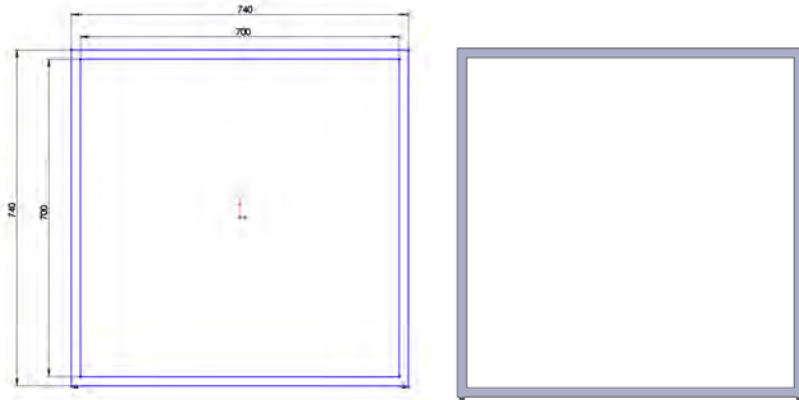


Fig. 2 Cadru simplu nerigidizat

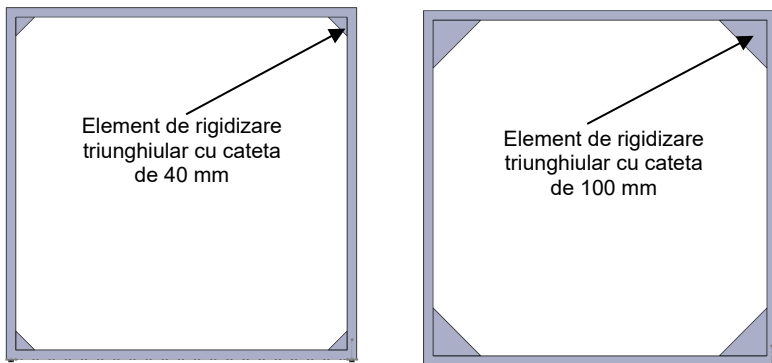


Fig. 3 Cadre rigidizate cu elemente de rigidizare triunghiulare cu cateta de 40 mm, respectiv 100 mm

După crearea geometriei cadrelor cu și fără elemente de rigidizare, crearea studiului de analiză modală și alegerea materialului, se parcurg încă patru etape, și anume:

- aplicarea de constrângeri;
- discretizarea în elemente finite (mesh);
- calculul de analiză modală;
- vizualizarea rezultatelor.

În tabelul 1 sunt prezentate proprietățile mecanice și fizice ale oțelului ce intră în componența cadrelor studiate.

Tabelul 1

Proprietatea	U.M.	Valoarea
Densitate oțel	kg/m <sup>3</sup>	7850
Masa oțel	kg	0,157
Modul de elasticitate longitudinal oțel	N/m <sup>2</sup>	2e+011
Coeficientul lui Poisson oțel	-	0,3
Rezistență la întindere oțel	N/m <sup>2</sup>	6,3e+008
Rezistență la tracțiune oțel	N/m <sup>2</sup>	5,2e+008

### 3. Rezultate și concluzii

Din analiza valorilor de frecvență determinate cu metoda elementelor finite raportate la gradul de rigidizare al cadrelor, rezultă o creștere a acestor valori simultan cu creșterea gradului de rigidizare (creșterea lungimii catetei elementului triunghiular de rigidizare). Acest fapt se observă atât în valorile exprimate în tabelul 2 (Proprietățile mecanice și fizice ale oțelului), cât și în graficele din figurile 6 și 7. În figurile 4 și 5 sunt prezentate formele proprii de vibrație pentru primele patru moduri determinate prin analiză modală utilizând MEF pentru cadru nerigidizat și pentru cadru cu rigidizare de 80 mm.

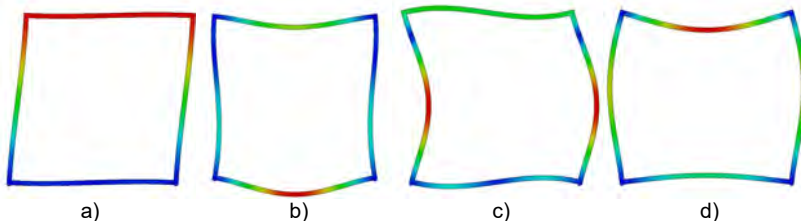


Fig. 4 Primele patru forme proprii de vibrație pentru cadru nerigidizat

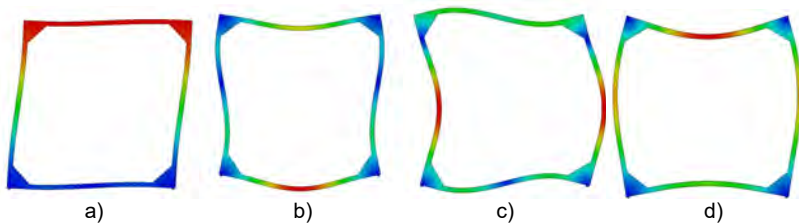


Fig. 5 Primele patru forme proprii de vibrație pentru cadru cu rigidizare de 80 mm

Tabelul 2

MOD	Frecvența [Hz] / Rigidizare [mm]						
	0	20	40	50	60	80	100
1	24,78	26,16	27,73	28,50	29,27	30,84	32,54
2	106,67	107,26	107,87	108,10	108,26	108,27	107,71
3	159,82	165,46	173,25	177,44	181,77	190,56	199,20
4	160,80	166,72	174,23	178,25	182,45	191,27	200,45
5	212,14	230,84	257,47	273,02	290,26	330,61	361,20
6	367,69	367,68	367,46	367,11	366,50	364,37	380,44
7	468,32	488,00	513,30	526,72	540,64	570,28	604,40
8	473,28	493,47	519,11	532,67	546,65	576,13	609,61
9	592,72	640,92	708,83	747,83	790,51	818,87	821,09
10	830,53	830,76	828,57	826,30	823,53	887,10	995,09
11	963,14	995,33	1032,24	1048,78	1063,56	1086,46	1095,48
12	963,86	1000,54	1049,71	1076,53	1105,24	1171,20	1235,83
13	1118,68	1209,68	1325,22	1308,97	1291,57	1259,96	1263,30
14	1355,23	1348,32	1331,45	1387,39	1416,21	1419,97	1437,03
15	1474,82	1493,57	1501,57	1507,67	1524,41	1551,64	1601,05
16	1521,86	1515,36	1508,32	1515,61	1549,36	1721,74	1947,37
17	1627,19	1687,82	1765,64	1809,54	1859,20	1983,64	2143,45
18	1688,62	1739,75	1811,66	1854,21	1903,47	2030,93	2195,38
19	1916,14	2039,35	2178,63	2208,81	2218,05	2257,98	2235,53
20	2215,46	2213,33	2207,52	2224,64	2251,01	2272,44	2375,20
21	2227,02	2277,33	2382,56	2470,93	2584,81	2715,45	2641,05
22	2532,31	2630,99	2762,90	2825,80	2822,06	2870,10	3209,23
23	2669,61	2758,63	2871,81	2917,91	2963,05	3186,53	3373,05
24	2674,32	2833,70	2928,92	2940,04	3021,09	3236,84	3502,34

25	3166,83	3197,01	3287,66	3335,08	3373,19	3511,55	3517,34
26	3281,19	3294,76	3313,55	3393,11	3504,08	3568,96	3634,40
27	3458,49	3549,39	3659,65	3713,47	3758,16	3776,47	3862,10
28	3637,66	3676,88	3767,94	3840,04	3929,61	4102,27	4123,48
29	3777,02	4075,21	4114,58	4106,45	4105,30	4232,25	4647,70
30	4153,88	4140,84	4482,73	4451,45	4444,84	4589,49	4947,52

În vederea stabilirii preciziei, pentru credibilitatea rezultatelor și pentru a exemplifica modul de calcul al frecvențelor și modurilor proprii, s-au utilizat două programe specializate, diferite pentru analiză modală: SolidWorks și ANSYS. În urma comparării rezultatelor obținute cu ajutorul celor două programe s-a determinat o abatere mai mică decât 1 %.

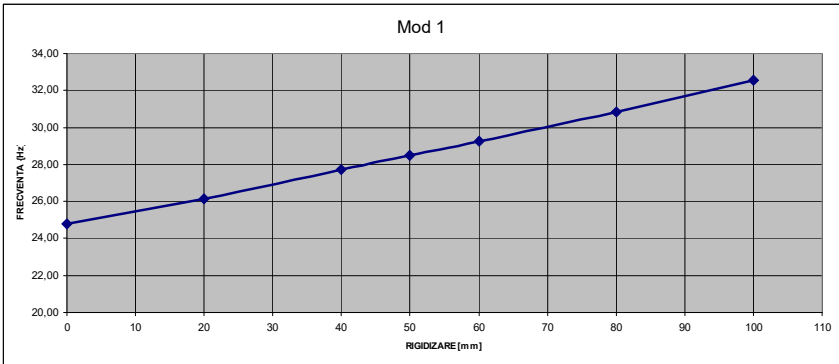


Fig. 6 Valorile frecvențelor proprii funcție de gradul de rigidizare al cadrului pentru modul 1

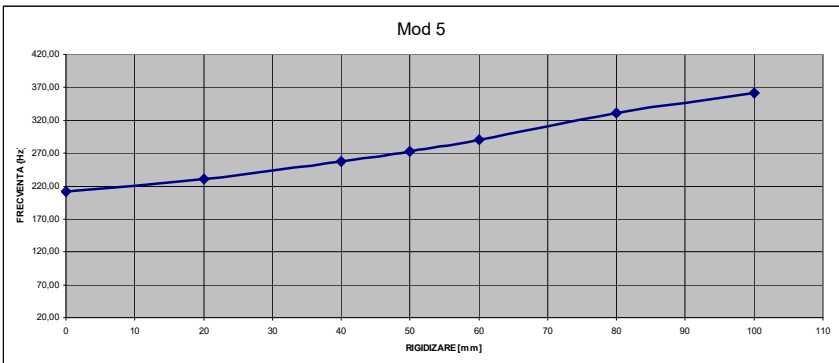


Fig. 7 Valorile frecvențelor proprii funcție de gradul de rigidizare al cadrului pentru modul 5

Se observă totodată trendul crescător al valorilor frecvențelor de vibrație pentru toate cele 30 de moduri proprii determinate, graficul din figura 8 fiind edificator din acest punct de vedere.

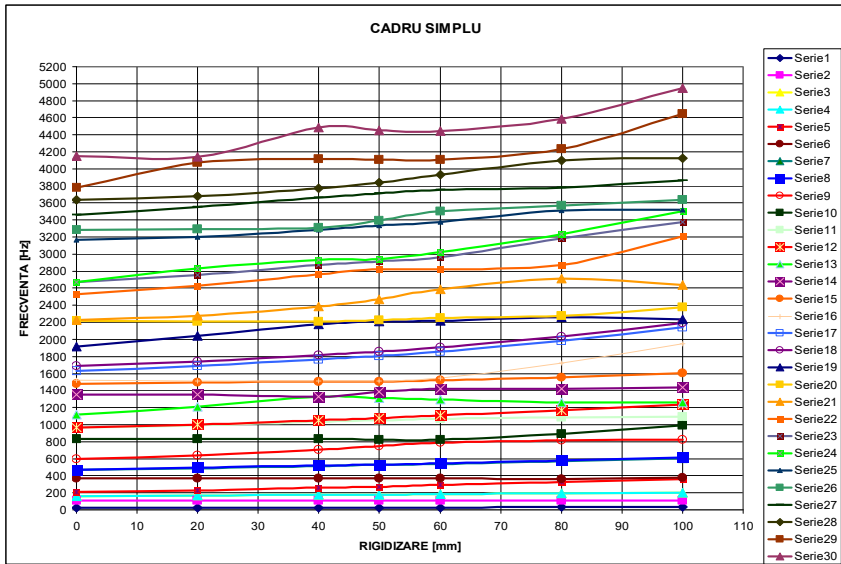


Fig. 8 Valorile frecvențelor proprii funcție de gradul de rigidizare al cadrului pentru 30 de moduri

Avantajul major folosind doar frecvența proprie în evaluarea rigidității unei structuri este aceea că frecvențele proprii sunt determinate ușor. Tehnica poate fi utilizată atât în proiectarea de structuri de tip cadru cât și ca o metodă ieftină de monitorizare a integrității structurale. Prin extrapolare metoda se poate aplica și la optimizarea din punct de vedere al rigidității mecanice a structurilor de tip cadru prin adoptarea de elemente de rigidizare cu forme geometrice diferite sau utilizarea de materiale compozite.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Wang, L., Lie, S.T., Zhang, Y., *Damage detection using frequency shift path*, Mechanical Systems and Signal Processing, 66–67, 298–313, (2016), DOI: 10.1016/j.ymssp.2015.06.028.
- [2] Daei, M., Mirmohammadi, S.H., *A flexibility method for structural damage identification using continuous ant colony optimization*, Multidiscipline Modeling

- in *Materials and Structures*, 11 (2), 186–201, (2015), DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/MMMS-05-2014-0027>.
- [3] Gillich, G.-R., Praisach, Z.-I., Negru, I., *Damages influence on dynamic behaviour of composite structures reinforced with continuous fibers*, *Materiale Plastice*, 49 (3), 186–191, (2012).
- [4] Gillich, G.-R., Praisach, Z.-I., Onchiş, D., Gillich, Nicoleta, *How to Correlate Vibration Measurements with FEM Results to Locate Damages in Beams*, *Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on Finite Differences-Finite Elements-Finite Volumes-Boundary Elements*, Paris, 76–81, (2011).
- [5] Mazanoglu, K., *A Novel Methodology Using Simplified Approaches For Identification Of Cracks In Beams*, *Latin American Journal of Solids and Structures*, 12 (13) 2460–2479, (2015).
- [6] Bodeux, J.B., Golinval, J.C., *Application of ARMAV models to the identification and damage detection of mechanical and civil engineering structures*, *Smart Materials and Structures*, 10 (3), 1–10, (2001), DOI: 10.1088/0964-1726/10/3/309.
- [7] Gillich, G.-R., Praisach, Z.I., Wahab, M.A., Vasile, O., *Localization of Transversal Cracks in Sandwich Beams and Evaluation of Their Severity*, *Hindawi Publishing Corporation, Shock and Vibration*, 1–10, (2014), DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/607125>.
- [8] Gillich, G.-R., Minda, P.F., Praisach, Z.-I., Minda, A.A., *Natural frequencies of damaged beams - a new approach*, *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, 9 (2), 101-108, (2012).
- [9] Gillich, G.R., Praisach, Z.I., *Detection and Quantitative Assessment of Damages in Beam Structures Using Frequency and Stiffness Changes*, *Key Engineering Materials*, 569-570, 1013-1020, (2013), DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.569-570.1013.
- [10] Minda, P.F., Praisach, Z.-I., Gillich, Nicoleta, Minda, A.A., Gillich, G.-R., *On the efficiency of different dissimilarity estimators used in damage detection*, *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, 10 (1), 15–18, 2013.
- [11] Bejan, M., *În lumea unităților de măsură*. Ediția a doua revăzută și adăugită. Editura Academiei Române și Editura AGIR, București, 2005.

Drd. Ing. Emilian STANCIU  
 Universitatea „Eftimie Murgu” Reșița, membru AGIR  
 e-mail: e.stanciu@uem.ro  
 Dr. Ing. Marius TUFOI  
 Universitatea „Eftimie Murgu” Reșița, membru AGIR  
 e-mail: m.tufoi@uem.ro  
 Șef lucr. Dr. Ing. Vasile IANCU  
 Universitatea „Eftimie Murgu” Reșița,  
 președinte AGIR filiala Caraș-Severin  
 e-mail: v.iancu@uem.ro