

## UNELE CONSIDERAȚII ÎN CEEA CE PRIVEȘTE ACȚIUNEA VIBRAȚIILOR ASUPRA ARTICULAȚIEI UMANE A COTULUI

### SOME CONSIDERATIONS REGARDING THE ACTION OF VIBRATIONS ON THE HUMAN ELBOW JOINT

**DOGARU Marina Gabriela**

Facultatea de Inginerie Mecanică și Robotică în Construcții – UTCB

[marina.dogaru78@gmail.com](mailto:marina.dogaru78@gmail.com)

**Rezumat:** Echipamentele și mașinile moderne utilizate de către oameni, la locul de muncă sau în alte situații, produc vibrații care afectează în timp organismul. În cadrul acestui articol sunt prezentate modele teoretice și determinări experimentale cu ajutorul cărora s-au studiat efectele vibrațiilor asupra articulației cotului uman.

**Cuvinte cheie:** oscilații mecanice, cot, bormașină, model, experiment

**Abstract:** Modern equipment and machines used by people, at work or in other situations, produce vibrations that affect the body over time. This article presents theoretical and experimental models with which the effects of vibrations on the human elbow joint have been studied.

**Key words:** mechanical oscillations, elbow, drill, model, experiment

#### 1. Introducere

Dezvoltarea societății omenești a condus către căutarea unor soluții eficiente pentru simplificarea activităților la locul de muncă sau în afara acestuia. Utilajele și echipamentele (v. figura 1) care folosesc oscilațiile mecanice în procesul de lucru fac parte dintre acestea. Totuși, s-a constatat că operatorii acestora sunt expuși efectelor vibrațiilor generate de mașină.

De-a lungul timpului s-au desfășurat studii și cercetări cu scopul de a înțelege comportamentul organismului uman sub acțiunea vibrațiilor și de a găsi soluții pentru combaterea efectelor negative ale acestora.

Persoanele care lucrează în mediu vibratil pot avea probleme cu sistemul muscular și osos al organismului. Vibrația se transmite către operator, în principal, prin ansamblul mână-braț-antebraț. Dacă acesta se află în poziția șezut vibrația se transmite prin fese și spate sau dacă activitatea presupune lucrul în poziție verticală vibrația se transmite prin picioare, afectând întregul organism.



**Figura 1** Echipamente vibratorii [9] [10]

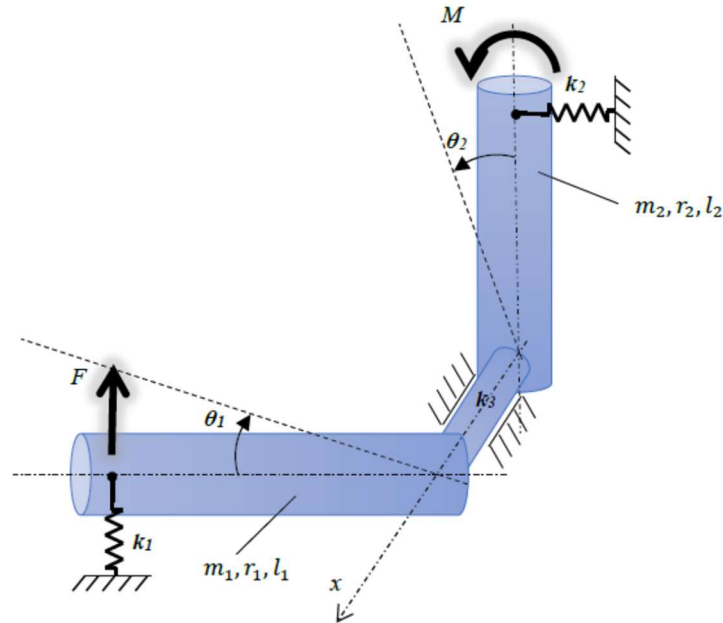
Studiile desfășurate de cercetători au condus la concluzia că vibrațiile afectează organismul uman (organe interne, sistem osos) sau produc efecte de tipul neliniște, epuizare.

Scopul acestui articol este de a studia efectul vibrațiilor provocate de o mașină rotopercutantă asupra cotului operatorului.

## 2. Studiul teoretic

Pentru studiul teoretic s-a utilizat un model cu două grade de libertate, alcătuit din două corpuri cilindrice cu mase  $m_i$ , raze  $r_i$  și lungimi  $l_i$ , articulate printr-o bară de torsiune de masă neglijabilă, ca în figura 2.

Sistemul este acționat de forța perturbatoare  $F$ , generată de o bormașină, iar un moment rezistent  $M$ , poziționat în umărul lucrătorului, se opune acesteia.



**Figura 2.** Modelul teoretic [3]

Pentru sistemul mecanic din figura 2 s-au determinat ecuațiile diferențiale de mișcare, pornind de la ecuațiile lui Lagrange de speța a II-a. Sistemul de ecuații diferențiale, scris sub formă matricială are forma [3][9]:

$$\begin{bmatrix} m_1 \cdot \left[ 3r_1^2 + l_1^2 + \left( \frac{l_1}{2} \right)^2 \right] & 0 \\ 0 & m_2 \cdot \left[ 3r_2^2 + l_2^2 + \left( \frac{l_2}{2} \right)^2 \right] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 \cdot l_1^2 + k_3 & k_3 \\ k_3 & -\frac{m_2 \cdot g \cdot l_2}{2} + k_2 \cdot l_2^2 + k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F \cdot l_1 \\ M \end{Bmatrix} \sin \omega t \quad (1)$$

Observație: Se precizează că notațiile utilizate sunt identice cu cele consacrate folosite în literatura de specialitate.

Pentru a determina pulsațiile proprii ale sistemului se caută soluții de forma  $x = a_1 \sin(pt + \beta)$ ,  $\theta = a_2 \sin(pt + \beta)$ . [3]

Rezolvarea ecuației (1), cu un software dedicat, conduce la obținerea a patru valori pentru pulsație. Se se vor lua în considerare doar valorile pozitive. Acestea sunt pulsațiile proprii ale sistemului considerat.[3][9]

$$p_{1,2} = \sqrt{\frac{(k_{11} \cdot m_{22} + m_{11} \cdot k_{22} - 2 \cdot k_{12} \cdot m_{12})}{2 \cdot (m_{11} \cdot m_{22} - m_{12}^2)}} \pm \sqrt{\frac{(k_{11} \cdot m_{22} - m_{11} \cdot k_{22} + 2 \cdot k_{12} \cdot m_{12})^2 - 4 \cdot (k_{11} \cdot k_{22} - k_{12}^2) \cdot (m_{11} \cdot m_{22} - m_{12}^2)}{2 \cdot (m_{11} \cdot m_{22} - m_{12}^2)}}} \quad (4)$$

Pentru studiul teoretic și experimental a fost ales un lucrător în vârstă de 43 ani, cu masa totală 104 kg, datele antropometrice fiind prezentate în tabelul 1. S-a considerat că brațul și antebratul au formă cilindrică cu raze de 18 și 14 centimetri.[3][9]

Procedeul parcurs pentru calculul maselor și rigidităților aferente membrului superior sunt prezentate în lucrarea [2].

Tabelul 1. Date antropometrice operator mașină rotopercutantă [3]

| Subiectul | Masa totală [kg] | Lungime [m] |          | Înălțime totală [m] | Masă [kg] |          | Coeficient de rigiditate [kN/m] |          | Coeficient de amortizare [Ns/m] |          |
|-----------|------------------|-------------|----------|---------------------|-----------|----------|---------------------------------|----------|---------------------------------|----------|
|           |                  | braț        | antebraț |                     | braț      | antebraț | braț                            | antebraț | braț                            | antebraț |
| A         | 104              | 0,31        | 0,23     | 1,71                | 2,8       | 1,87     | 73.04                           | 48.78    | 228.07                          | 152.32   |

Coeficientul  $k_3 = 10.55 \text{ kN/m}$  a fost determinat ca medie aritmetică a unor valori experimentale prezentate în literatură și în [3].

Pulsațiile proprii ale modelului considerat se determină cu ajutorul programului Wolfram Alpha, introducând datele cunoscute în sistemul de ecuații [3][9]:

$$p_1 = 2,56604 \text{ s}^{-1} ; \quad p_2 = 8,33947 \text{ s}^{-1}$$

### 3. Studiul experimental

În partea experimentală s-a urmărit determinarea unor mărimi caracteristice vibrațiilor care acționează asupra articulației cotului uman. Măsurătorile s-au realizat cu dispozitive profesionale în laborator și cu dispozitive Arduino în afara acestuia, asupra unui operator cu vârsta de 43 ani, care folosește îndeosebi mâna dreaptă în activitate, în timp ce manevrează o mașină rotopercutantă. Datele antropometrice ale acestuia sunt prezentate în tabelul 1.

Testele realizate cu senzori profesionali, în cadrul Institutului de Cercetări pentru Echipamente și Tehnologii în Construcții – ICECON S.A. au avut ca sursă de vibrații o bormașină. Un accelerometru a fost fixat pe mașina unealtă (figura 3), apoi pe cotul lucrătorului. S-au realizat măsurători când bormașina funcționa în gol și când era utilizată pentru a perfora materiale de tip lemn și beton. Datele colectate de la senzor au fost prelucrate cu programul LABVIEW.[3]



Accelerometrul tip 4506-B

Figura 3. Accelerometrul profesional utilizat la experimente [3]

Tabelul 2 Semnal măsurat în timp al accelerației cu accelerometrul tip 4506-B [3]

| axa x                 |         | axa y                 |         | axa z                 |         |
|-----------------------|---------|-----------------------|---------|-----------------------|---------|
| Time - Acceleration_0 |         | Time - Acceleration_1 |         | Time - Acceleration_2 |         |
| 0                     | 1.84253 | 0                     | 1.24279 | 0                     | 1.26588 |
| 0.0002                | 1.82386 | 0.0002                | 1.21847 | 0.0002                | 1.21476 |
| 0.0004                | 1.79564 | 0.0004                | 1.31823 | 0.0004                | 1.28217 |
| 0.0006                | 1.81455 | 0.0006                | 1.26082 | 0.0006                | 1.21257 |
| 0.0008                | 1.82326 | 0.0008                | 1.32876 | 0.0008                | 1.29847 |
| 0.001                 | 1.76956 | 0.001                 | 1.26244 | 0.001                 | 1.31426 |
| 0.0012                | 1.8821  | 0.0012                | 1.30175 | 0.0012                | 1.30264 |
| 0.0014                | 1.75579 | 0.0014                | 1.24816 | 0.0014                | 1.36112 |

Tabelul 3 Analiza FFT [3]

| axa x                                    |           | axa y                                    |           | axa z                                    |           |
|------------------------------------------|-----------|------------------------------------------|-----------|------------------------------------------|-----------|
| Frequency - Acceleration_0 (FFT - (RMS)) |           | Frequency - Acceleration_1 (FFT - (RMS)) |           | Frequency - Acceleration_2 (FFT - (RMS)) |           |
| 7.01613                                  | 0.0494001 | 7.01613                                  | 0.0296126 | 7.01613                                  | 0.135292  |
| 7.09677                                  | 0.0651198 | 7.09677                                  | 0.0575063 | 7.09677                                  | 0.201166  |
| 7.17742                                  | 0.0636994 | 7.17742                                  | 0.0590429 | 7.17742                                  | 0.21689   |
| 7.25806                                  | 0.0580081 | 7.25806                                  | 0.0172059 | 7.25806                                  | 0.235988  |
| 7.33871                                  | 0.0441334 | 7.33871                                  | 0.041788  | 7.33871                                  | 0.18891   |
| 7.41935                                  | 0.0433507 | 7.41935                                  | 0.0428214 | 7.41935                                  | 0.152405  |
| 7.5                                      | 0.027797  | 7.5                                      | 0.030112  | 7.5                                      | 0.0931098 |
| 7.58065                                  | 0.0185009 | 7.58065                                  | 0.0292908 | 7.58065                                  | 0.0488146 |

Pe mașina rotopercutoare și cu același operator, în condiții asemănătoare cu cele din laborator, s-au realizat măsurători ale accelerației rezultate în urma vibrațiilor utilizând două accelerometre ADXL345 compatibile ARDUINO. Acestea au fost fixate pe cotul uman și pe bormașină. Accelerometrele au fost conectate la câte o placă Arduino Uno R3. Datele au fost salvate pe un laptop și prelucrate cu ajutorul Microsoft Excel.

Unele considerații cu privire la acțiunea vibrațiilor asupra articulației umane a cotului

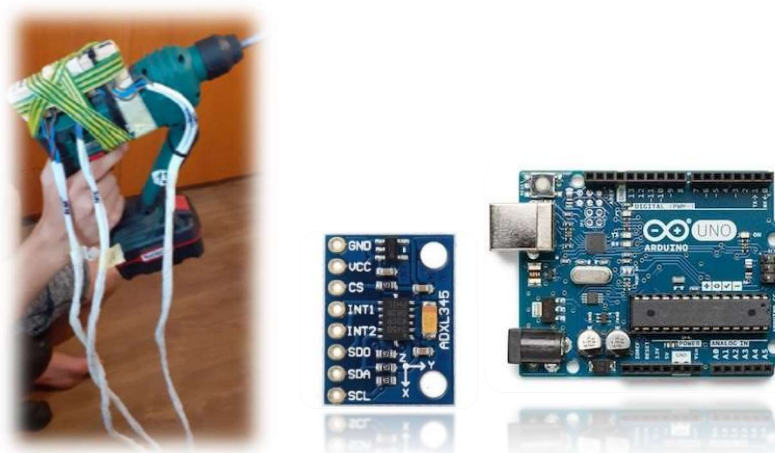


Figura 4 Accelerometrul ADXL345 pentru ARDUINO [3]

Tabel 4 Accelerația măsurată pe cele trei axe, cot 90°, cu senzorul ADXL 345 [3]

|                                             |                                             |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 20:27:41.566 -> Xa= 1.00 Ya= -1.66 Za= 7.53 | 20:27:46.832 -> Xa= 4.28 Ya= -1.06 Za= 6.41 |
| 20:27:41.767 -> Xa= 4.00 Ya= -2.94 Za= 7.00 | 20:27:47.032 -> Xa= 5.88 Ya= -3.25 Za= 5.00 |
| 20:27:41.968 -> Xa= 4.78 Ya= -0.44 Za= 6.34 | 20:27:47.233 -> Xa= 1.31 Ya= 1.12 Za= 7.06  |
| 20:27:42.168 -> Xa= 5.41 Ya= -0.81 Za= 4.94 | 20:27:47.433 -> Xa= 4.28 Ya= 0.34 Za= 6.44  |
| 20:27:42.347 -> Xa= 4.78 Ya= -2.44 Za= 5.34 | 20:27:47.634 -> Xa= 5.84 Ya= -2.91 Za= 5.03 |
| 20:27:42.571 -> Xa= 1.75 Ya= -4.69 Za= 6.72 | 20:27:47.834 -> Xa= 1.16 Ya= -3.56 Za= 7.50 |
| 20:27:42.771 -> Xa= 3.13 Ya= 2.00 Za= 7.16  | 20:27:48.088 -> Xa= 5.22 Ya= 1.94 Za= 5.59  |

#### 4. Validarea modelului teoretic

Datele experimentale obținute s-au apropiat în bună măsură de valorile teoretice calculate, erorile s-au situat în intervalul 2-3%. [3]

Pe axele x și y cele două tipuri de senzori au colectat date asemănătoare.

#### 5. Concluzii

În urma identificării unor erori de măsurare relativ mici ca valoare, se poate trage concluzia că se poate ajunge la acestea pe ambele căi, fie prin calcul, fie prin determinări experimentale. Dacă în urma studiilor realizate prin una din cele două metode sunt detectate valori periculoase ale vibrațiilor, contează în mod deosebit ca măsurile de protecție să fie aplicate și respectate pentru a putea proteja operatorul de efectele negative.

Autoarea intenționează să aprofundeze studiul efectului negativ al oscilațiilor mecanice asupra cotului uman și să găsească noi măsuri de protecție eficiente posibile.

## Bibliografie

- [1] **Pavel, C., Constantinescu, A.** *Vibrații mecanice*, Editura Matrix Rom, București, 2009, ISBN 978-973-755-468-0
- [2] **Panaiteescu-Liess, R.** *Modelarea biomecanică a organismului uman sub acțiunea vibrațiilor*, Teza de doctorat, 2013
- [3] **Stănescu (Dogaru), M.G.** *Modelarea biomecanică a articulațiilor organismului uman sub acțiunea vibrațiilor mecanice*, Teza de doctorat, 2022
- [4] **Dogaru, M.G., Legendi, A., Pavel, Cr., Panaiteescu-Liess, R.** *Vibrațiile sistemului antebraț- braț modelat sub forma unui model biomecanic cu două grade de libertate*, Articol, Revista Sinteze de Mecanică Teoretică și Aplicată, vol. IX, 2018, nr. 2, Editura MatrixRom, București, ISSN 2068-6331
- [5] **Panaiteescu-Liess R., Legendi A., Pavel C.** *Analysis of a mechanical system's dynamic properties by vibrations measurements* - 34rd National Conference on Mechanics of Solids, 16-18 septembrie 2010, Reșița (Analele Universității "EFTIMIE MURGU" Reșița, anul XVII, nr. 1, 2010, ISSN 1453 – 7397, p. 39-44
- [6] **Panaiteescu-Liess, R.** *A Comparative study about the Influence of Vibration on Elbow Joint Mobility*, Analele Universității "Eftimie Murgu" Reșița, Anul XXI, nr. 1, 2014, ISSN 1453 – 7397, p. 307-310
- [7] **Panaiteescu-Liess, R.** *Experimental research on the influence of vibration on elbow mobility*, Buletinul științific al Universității Tehnice de Construcții București, 2013, p. 54-59
- [8] **Toader D., Dogaru M., Ursache R., Bausic F.** *Partial experimental contributions on the validation of biomechanical models of the human body subjected to the action of mechanical vibrations*, Articol. Revista Modeling in Civil and Environmental Engineering, vol. 16, nr. 4/2021, pag. 25-33, ISSN: 2784-1391
- [9] Dogaru M.G. *Some considerations concerning the action of vibration on the human elbow joint*, Articol, Romanian Journal of Transport Infrastructure, transmis pentru publicare
- [10] <https://www.doctorciocan.ro/polizoare-cu-vibratii-c97/>
- [11] <https://www.doctorciocan.ro/ciocan-de-ciobitor-makita-19-1j-1510w-hm1205c-p11329/>