

CERCETAREA VIBRAȚIILOR MECANICE VERTICALE TRANSMISE CORPULUI UMAN

A. Picu¹, dr.hab.prof. G. Bălan¹, T. Sireteanu²

¹Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați, Facultatea de Inginerie Brăila

²Institutul de Mecanica Solidelor al Academiei Române

1. INTRODUCERE

Ațiunea vibrațiilor cu amplitudine mică și frecvență înaltă asupra corpului omenesc, în special asupra sistemului osos, nu au fost studiate în amănunțime până acum [9, 10]. Acest tip de vibrații este destul de des întâlnit la unele echipamente de muncă și efectul asupra muncitorilor este evident: predispoziție la fracturi ale oaselor, osteoporoză, etc. [4]. În studiile realizate s-au folosit vibrații cu amplitudini și frecvențe diferite; de asemenea timpul de iradiere a fost diferit, precum și grupul de pacienți a fost eterogen [2]. De exemplu, accelerația platformei pe care au fost plasate persoanele asupra cărora s-au efectuat studiile, a avut valori de la 1-100m/s²; timpii de iradiere au fost cuprinși între 1-600s, iar frecvențele între 10-1000Hz [3].

Dar toate aceste domenii nu se regăsesc simultan la aparatura pe care o folosesc muncitorii în mod uzual. Se cunoaște că sistemul osos rezonază la frecvențe mai mici de 20Hz și la amplitudini ale vibrațiilor cuprinse între de la 0,05-3 mm [6]. Aceste intervale vor fi utilizate în prezenta lucrare, în vederea studierii transmisibilității vibrațiilor către corpul omenesc [7, 1].

În momentul în care un echipament începe să vibreze (motor electric, pompă, ventilator, etc.), energia sa poate fi transferată sub formă de vibrații, spre structura de susținere și, de asemenea, către persoana care este în apropiere sau care îl manipulează. Aceste vibrații sunt dăunătoare atât personalului muncitor, echipamentului propriu-zis, cât și structurii clădirilor. Din aceste motive, se instalează amortizori, pentru a reduce transmiterea energiei de la echipamentul vibrant către muncitori, respectiv, structuri [11]. Amortizarea este caracterizată prin factorul de pierdere ζ :

$$\zeta = C/C_c, \quad (1)$$

unde C este coeficient de amortizare, iar C_c amortizare critică.

Cele mai multe materiale cu proprietăți elastice, denumite elastomeri, care se folosesc la izolarea vibrațiilor se bazează pe un mecanism numit amortizare histeretică pentru a disipa energia [8]. Performanțele izolării unui sistem sunt determinate

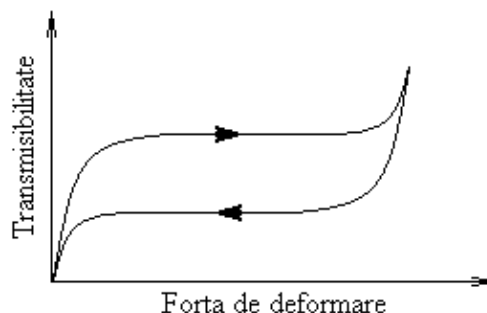


Figura 1. Curba teoretică a transmisibilității funcție de forța de deformare pentru un elastomer ideal.

de transmisibilitatea (T) sistemului, care reprezintă raportul dintre energia care intră în sistem și energia care iese din sistem. Acest raport poate fi exprimat în termeni de accelerații, forțe sau amplitudini ale mișcării. Transmisibilitatea este dată de:

$$T = E_{intrare}/E_{ieșire} = \sqrt{\frac{1 + \left(2 \frac{v_d}{v_n} \zeta\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{v_d}{v_n}\right)^2\right]^2 + \left(2 \frac{v_d}{v_n} \zeta\right)^2}} \quad (2)$$

unde v_d este frecvența de excitație și v_n frecvența proprie. La frecvențe joase ($v_d/v_n \ll 1$), se poate considera că amplitudinile vibrațiilor de excitație a sistemului (de intrare) sunt egale cu vibrațiile care sunt generate de sistem (de ieșire), adică $T=1$.

Dacă frecvența de excitație și frecvența proprie sunt egale ($v_d/v_n=1$), sistemul se va găsi la rezonanță. Cu cât amortizarea crește, transmisibilitatea la rezonanță descrește (fig. 2).

În figura 2 este prezentată relația dintre peak-ul transmisibilității și factorul de pierdere. Este evident că toate sistemele reale au un anumit nivel de amortizare proprie, ceea ce demonstrează rolul important pe care îl joacă amortizarea pentru izolarea sistemelor vibrante. Când izolarea crește odată cu amortizarea în vecinătatea rezonanței, energia este amplificată extrem de mult și poate distruge întreg sistemul.

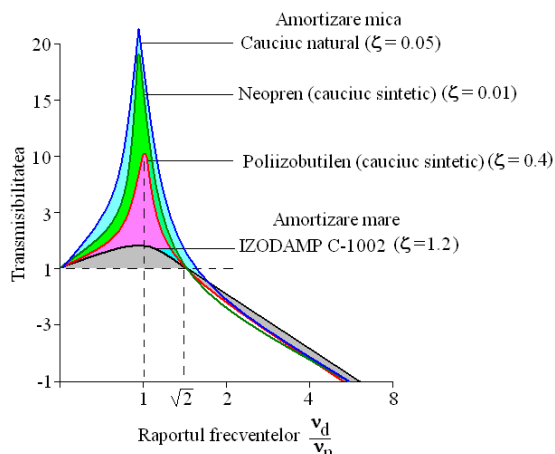


Figura 2. Peak-ul transmisibilității funcție de factorul de pierdere

2. APARATURA ȘI METODE DE CERCETARE

a) Subiecții umani

Pentru realizarea studiului, au fost folosiți 5 voluntari care au declarat că nu suferă de nici o afecțiune. Un medic a efectuat un control clinic pentru a verifica starea lor de sănătate. Subiecții au fost informați despre modul în care se va desfășura experimentul. De asemenea, subiecților li s-a cerut să anunțe imediat dacă simt disconfort în timpul măsurărilor. Au fost măsurate caracteristicile persoanelor (Tabel 1) [5]:

Tabelul 1. Indicii care prezintă caracteristicile persoanelor.

Subiect	Sex	Vârsta	M (kg)	H (m)
1	F	31	67	1.71
2	F	43	72	1.63
3	M	24	85	1.78
4	M	47	93	1.81
5	M	49	98	1.85

b) Sistemul de măsurare și de analiza a vibrațiilor

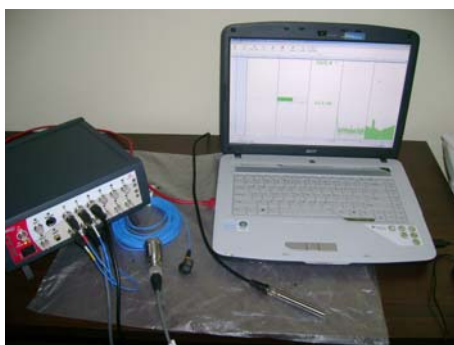


Figura 3. NetdB - Sistem complex de măsurare și analiză a vibrațiilor transmise omului

În vederea măsurării vibrațiilor transmise întregului corp a fost folosit un sistem de achiziție multiplă a vibrațiilor NetdB (fig. 3). Pe subiecții umani au fost prinse acceleratoare triaxiale PCB Piezotronics 356A16 (fig. 4). Datele au fost prelucrate cu ajutorul dBFA Suite - Software de comandă a achiziției și post-procesare date.



Figura 4. PCB Piezotronics 356A16 - Accelerometre triaxiale

b) Sistemul vibrant

Subiecții au fost plasați pe platforma vibrantă (fig. 5). Fiecare nivel de frecvență a fost menținut timp de 5 s, pentru a evita oboseala subiecților



Figura 5. Platforma vibrantă

Pentru cercetarea propagării vibrațiilor verticale prin corpul subiectului au fost folosite oscilații cu amplitudinile (A) de 0,05; 1 și 3mm și cu frecvențe (v) 10-40Hz. Nici un subiect nu a simțit oboseală sau stres după setul de determinări.

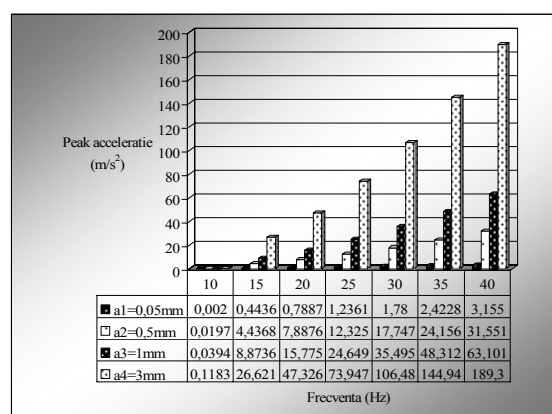


Figura 6. Peak-urile calculate ale accelerațiilor platformei la diferite amplitudini și frecvențe.

Peak-ul accelerației este dat de formula:

$$a_{peak} = 4\pi^2 v^2 A \quad (3)$$

În fig. 6 au fost reprezentate peak-urile (calculate cu relația 3) ale accelerațiilor platformei vibrante.

A fost determinată transmisibilitatea vibrațiilor către corp ca raport al mediei pătratice a accelerației (a_{rms}) semnalului receptat de accelerometre la medie pătratică a accelerației semnalului dat de platforma vibrantă.

3. REZULTATE ȘI DISCUȚII

În fig. 7-15 este prezentată transmiterea vibrațiilor verticale la genunchi, șold și regiunea lombară a coloanei vertebrale pentru domeniile de frecvență și de amplitudine ale vibrațiilor studiate.

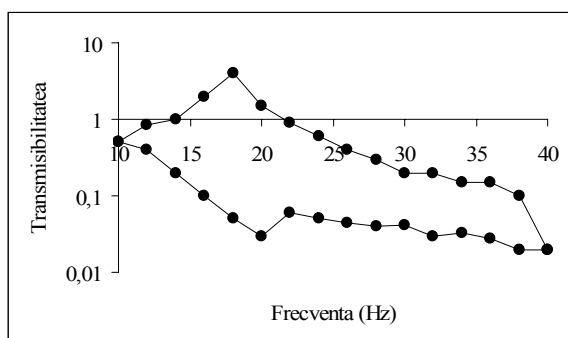


Figura 7. Domeniul transmisibilității a_{rms} vibrațiilor verticale ale întregului corp la o amplitudine de 0,05mm la genunchi în funcție de frecvență

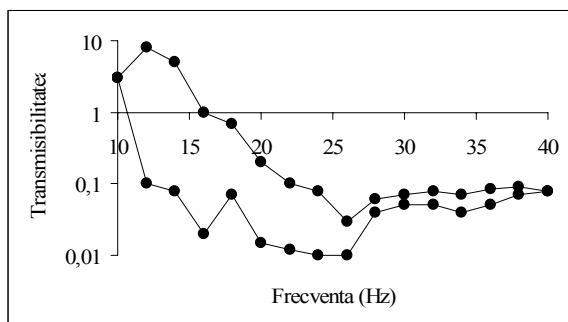


Figura 8. Domeniul transmisibilității a_{rms} vibrațiilor verticale ale întregului corp la o amplitudine de 1mm la genunchi în funcție de frecvență

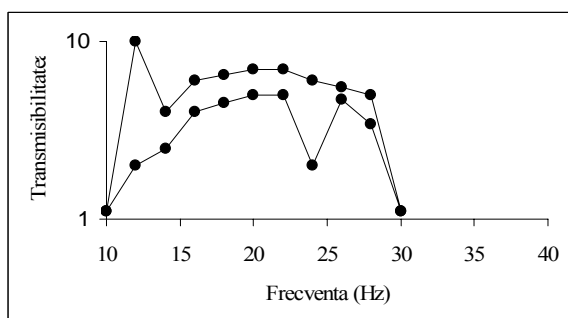


Figura 9 Domeniul transmisibilității a_{rms} vibrațiilor verticale ale întregului corp la o amplitudine de 3mm la genunchi în funcție de frecvență

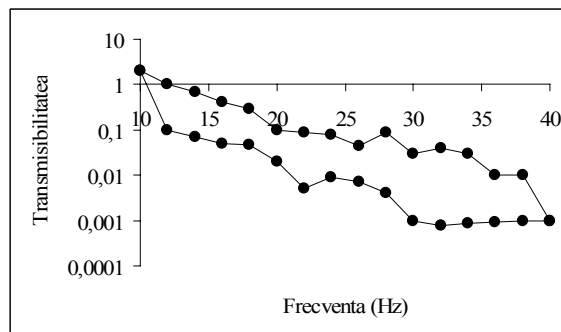


Figura 10 Domeniul transmisibilității a_{rms} vibrațiilor verticale ale întregului corp la o amplitudine de 0,05mm la șold în funcție de frecvență

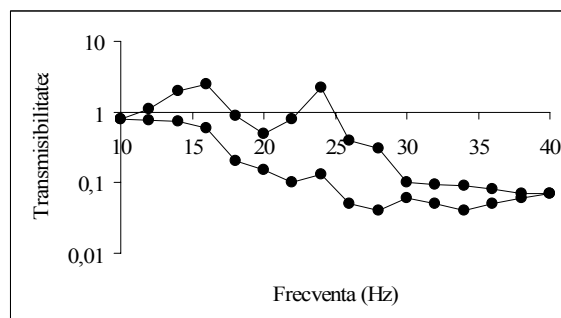


Figura 11 Domeniul transmisibilității a_{rms} vibrațiilor verticale ale întregului corp la o amplitudine de 1mm la șold în funcție de frecvență

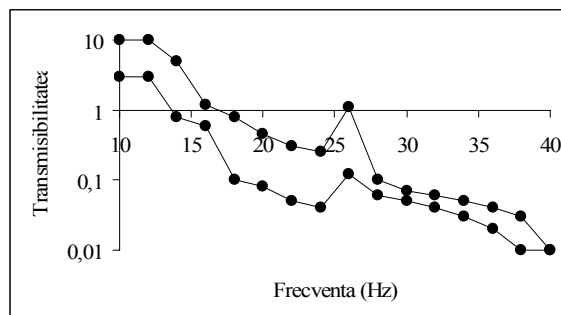


Figura 12 Domeniul transmisibilității a_{rms} vibrațiilor verticale ale întregului corp la o amplitudine de 3mm la șold în funcție de frecvență

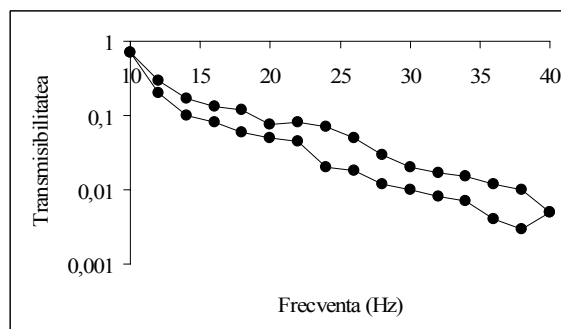


Figura 13 Domeniul transmisibilității a_{rms} vibrațiilor verticale ale întregului corp la o amplitudine de 0,05mm la zona lombară în funcție de frecvență

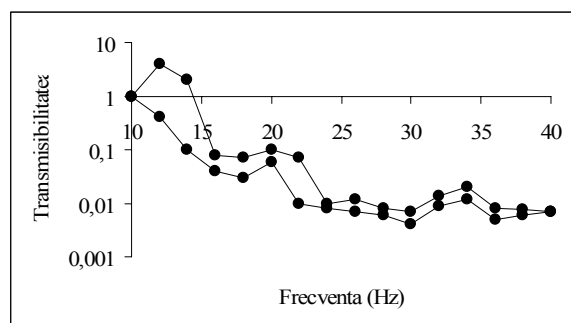


Figura 14. Domeniul transmisibilității a_{rms} vibrațiilor verticale ale întregului corp la 0 amplitudine de 1mm la zona lombară în funcție de frecvență

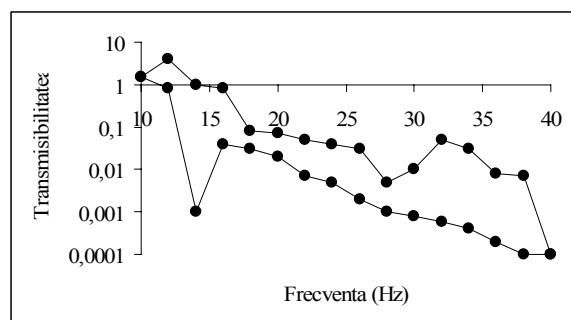


Figura 15. Domeniul transmisibilității a_{rms} vibrațiilor verticale ale întregului corp la o amplitudine de 3mm la zona lombară în funcție de frecvență

Tabelul 2. Maxime ale accelerațiilor funcție de amplitudinea și frecvența oscilațiilor platformei:

	A (mm)	v (Hz)	a_{max} (m/s ²)
genunchi	0,05	18	4
	1	12	8
	3	12	10
șold	0,05	10	2
	1	16	2,5
	3	10-12	10
lombară	0,05	10	0,7
	1	12	4
	3	12	4

Din tabelul 2, se observă că cele mai multe maxime ale a_{rms} se obțin pentru frecvențele 10-12 Hz, dar, de asemenea, mai există și alte frecvențe pentru care s-au atins maxime, ceea ce dovedește faptul că accelerațiile maxime specifice poziției pot fi mai multe decât impuse de platforma vibrantă. Pe de altă parte, se observă că accelerația vibrației transmise scade de 10-1000 de ori din accelerația dată de platforma vibrantă.

4. CONCLUZII

Accelerațiile transmise sunt mai atenuate la nivelul zonei lombare, decât la nivelul genunchiului.

Există diferențe mari (de până la 10 ori) între transmisibilitățile diferitelor persoane, dar să constată

că, pentru frecvențele joase de 10-12Hz, majoritatea transmisibilităților au fost apropiate ca valori.

Diferențele apar de la faptul că fiecare corp uman este un unicat, răspunsul său la diferiți factori exteriori neputând fi anticipat cu precizie matematică. Deci și studiul propagării vibrațiilor trebuie să țină cont de neomogenitatea structurii corpului uman, de vârstă, sex, etc. Dacă s-ar fi dorit un rezultat mai exact, ar fi fost ideal ca accelerometrele să fie prinse direct pe os. Totuși și prinderea accelerometrelor pe piele poate oferi o estimare destul de corectă (cu erori de până la 10%) a accelerației în timpul vibrației.

Bibliografie

1. **Fritton, J.C., et all.** Whole-body vibration in the skeleton: Development of a resonance-based testing device. *Ann Biomed Eng* 25:831–839, 1997.
2. **Gusi N, et all.** Low-frequency vibratory exercise reduces the risk of bone fracture more than walking: A randomized controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord* 7:92, 2006.
3. **Harazin, B., Grzesik, J.** The transmission of vertical wholebody vibration to the body segments of standing subjects. *J Sound Vibrat* 215:775–787, 1998.
4. **HULSOF, C., van ZANTEN, B.V.** Whole body vibration and low back pain, *Intern. Archives of Occup & Environ Health*, 59(3), 205–220, 1997.
5. **Kiiski, J., et all.** Transmission of Vertical Whole Body Vibration to the Human Body, *J Bone Miner Res*, 23, 8, 1318-1325, 2008.
6. **Mansfield, N.J.,Griffin, M.J.** Non-linearities in apparent mass and transmissibility during exposure to whole-body vertical vibration, *J Biomech* 33:933–941, 2000.
7. **Matsumoto, Y.,Griffin, M.J.** Dynamic response of the standing human body exposed to vertical vibration, *J Sound Vibrat* 210:85–107, 1998.
8. **Rasmussen, G.** Human Body Vibration Exposure and its Measurement, *J of the Acoust Soc of America*, 73, 6, 2229-2235, 2003.
9. **Seidel, H.** Selected health risks caused by Long-Term, Whole-Body Vibration, *Am J of Industrial Medicine*, 23, 589–604, 2003.
10. **Seidel, H., Heide, R.** Long-term effects of whole-body vibration: a critical survey of the literature, *Int Arch Occup Environ Health*, 58(1), 1-26, 2006.
11. **Wilkstrom, B., et all.** Health effects of long-term occupational exposure to whole-body vibration: A Review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 14, 273-292, 2004.

Recomandat spre publicare: 19.11.2009.