

EFECTELE VIBRAȚIILOR ASUPRA OPERATORILOR DE EXCAVATOARE

THE EFFECTS OF VIBRATION ON OPERATORS OF EXCAVATORS

Prof.dr. Mihaela PICU¹, Ș.I.dr. Silviu NĂSTAC²

Universitatea "Dunărea de Jos", Galați
Str. Domnească, nr. 47, Galați, Romania
¹mihaelapicu@yahoo.com, ²silviu.nastac@ugal.ro

Rezumat: Operatorii de excavatoare sunt deosebit de expuși la vibrații transmise sistemului mână-braț. Aceste vibrații pot provoca multiple tulburări vasculare, neurologice și musculo-scheletale, în general numit sindromul vibrații mână-braț. Nivelurile de vibrații au fost măsurate în trei condiții de lucru, și anume relanti, transport și excavare. Nivelul vibrațiilor pe mână a fost măsurat și analizat și s-a obținut spectrul de frecvențe pentru condițiile de lucru alese. Valorile totale ale vibrațiilor în gol, la transport și excavare au fost 3.35, 4.98 și respectiv 5.81m/s². Rezultatele au arătat că 10% dintre lucrători sunt expuși la riscul apariției sindromului „deget alb” la mâini la o perioadă de expunere relativ scurtă (3-4 ani), în cazul unui program de 8 ore/zi la excavare și la transport pentru încărcare completă. Având în vedere criteriile de ISO 2631/1997, durata zilnică a timpului de lucru cu excavator ar trebui limitată în scopul de a proteja operatorul, iar programele de muncă ar trebui să includă și perioade de repaus.

Cuvinte cheie: Excavatoare, Vibrațiile sistemului mână-braț, Accelerațiile vibrațiilor (pe axele x, y și z)

Abstract: The operators of the excavators are especially exposed to hand-arm transmitted vibrations. These vibrations can cause the complex of vascular, neurological and musculoskeletal disorders, collectively named hand-arm vibration syndrome. The vibration levels were measured in three excavator's working conditions, namely idling, transportation and excavation. The vibration level on the handles was measured and analysed and the frequency spectra for the chosen working conditions were obtained. The vibration total values in idling, transportation and excavation were 3.35, 4.98 and 5.81m/s², respectively. Results showed that the 10% of workers are exposed to a risk of vibration-induced white finger disorder of the hands after relatively short periods (3–4 years), if the excavator is used 8 hour per day in excavation and transportation at full load. Considering the criteria of the ISO 2631/1997, the daily working time with the excavator should be limited in order to protect the operator and work schedules should be arranged to include vibration-free periods.

Keywords: Excavator, Hand-arm vibration, Vibration accelerations (x-, y- and z- axes)

1. INTRODUCERE

Vibrațiile acționează asupra corpului omenesc prin intermediul suprafețelor de contact dintre om și sistemul vibrant. Câmpul vibrațional poate acționa asupra întregului corp (WBV) (în cazul în care persoana stă în picioare sau stă așezat), sau asupra unei părți a corpului, de exemplu asupra mâinilor (HAV). În primul caz - WBV, vibrațiile sunt transmise de utilaje de construcții

(de exemplu: excavatoare, încărcătoare, buldozere, autogredere, autoscrepere, distribuitoare de mixturi asfaltice, agregate de vibropresare, compactoare vibratoare, etc.), autovehicule, tractoare, mașini miniere, mașini agricole, instalații petroliere și petrochimice, etc. În a doua situație – HAV, vibrațiile sunt transmise de utilaje care expun mâinile unui regim de vibrații (de exemplu: plăci vibratoare pentru beton și pământ, rigle vibrante, rulouri vibratoare conduse cu proțap, ciocane pneumatice, ciocane rotopercutante, maiuri mecanice, etc [1].Vibrațiile transmise întregului corp sau doar unei părți a corpului conduc la apariția unor perturbări ale stării de sănătate a persoanelor supuse câmpului vibrațional [2], (stări de oboseală și somnolență, stări emoționale de frică sau anxietate, cefalee, diminuarea atenției, a acuității vizuale, modificări ale sensibilității tactile, ale funcțiilor aparatului respirator, ale tensiunii arteriale, stări de greață, etc).

Tabel 1

Variabile asociate cu disconfortul datorat vibrațiilor

Variabile extrinseci		Variabile intrinseci	
Variabilele vibrației	Mărimea vibrației	Variabile între subiecți	Ținuta corpului
	Frecvența vibrației		Poziția corpului
	Direcția vibrației		Orientarea corpului
	Poziția vibrației	Variabile din interiorul subiectului	Mărimea și greutatea corpului
	Durata vibrației		Vârstă, sex, condiție sportivă
Alte tipuri de stres (zgomot, temperatură, etc)	Experiență, personalitate, atitudine		
	Tipul scaunului		Răspunsul dinamic al corpului

Toate aceste efecte negative ale vibrațiilor asupra corpului omenesc conduc la scăderea capacității de muncă a personalului [3], implicit se reduce performanța acestuia (Tab. 1).

	Frecvența (Hz)										
	0.1	1	5	10	15	20	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶
Amețeală și instabilitate	■	■	■	■	■	■	■				
Durere la mișcare	■										
Durere la vibrațiile echipamentelor de mână						■					
Rezonanța întregului corp		■	■	■	■						
Dificultăți respiratorii		■	■	■							
Dureri lombare			■	■	■	■					
Dureri de cap			■	■	■	■					
Perturbări ale vederii		■	■	■	■	■	■				
Dificultăți de vorbire			■	■	■	■					
Suprasolicitări la defecație și la urinare				■	■	■					

Fig. 1 Efectele vibrațiilor de diferite frecvențe asupra organismului uman [4]

2. CUANTIFICAREA EFECTELOR VIBRAȚIILOR

Sensibilitatea la vibrații se realizează, în general, prin menținerea constantă a unui set de parametri și varierea unui singur alt parametru (de exemplu, se menține constantă frecvența și se variază amplitudinea, etc). Se mai poate determina sensibilitatea persoanelor la vibrații

Efectele vibrațiilor asupra operatorilor de excavatoare

prin măsurarea temperaturii cutanate la nivelul degetelor, prin determinarea, la nivelul unghiilor, prezența simultană a capilarelor normale și spastice sau prin explorarea excitabilității neuromusculare [1].

Cel care s-a ocupat în amănunt de modul în care organismul uman reacționează la vibrații a fost Dieckmann [5]. Astfel a fost definit un coeficient de solicitare la vibrații k , ce ține seama de influența simultană a frecvenței și amplitudinii.

Bazându-se pe studii fiziologice și fizice, Dieckmann a luat în considerare și percepția subiecților și a obținut pentru coeficientul de solicitare la vibrații k , următoarele relații:

Vibrații verticale	$k=Xv^2$	$0,5 \leq v \leq 5$
	$k=5Xv$	$5 \leq v \leq 40$
	$k=200X$	$40 \leq v \leq 100$
Vibrații orizontale	$k=2Xv^2$	$0,2 \leq v \leq 2$
	$k=4Xv$	$2 \leq v \leq 25$
	$k=100X$	$25 \leq v \leq 100$

unde X este peak-ul deplasării (mm) și v frecvența.

Pragul percepției vibrației corespunde lui $k=0,1$, iar la cealaltă extremă, limita admisibilă pentru 1min este dată de $k=100$. Aceste valori sunt prezentate și în ISO 2631/1997 [6].

3. EFECTE BIOMECANICE APĂRUTE LA VIBRAȚII TRANSMISE

Vibrațiile rectilinii (verticale, longitudinale și transversale) sunt transmise corpului omenesc după un sistem de coordonate ortogonal, cu originea în dreptul inimii. În acest mod, se consideră cele 3 accelerații a_x , a_y și a_z , conform ISO 2631/1997.

Dintre aceste 3 direcții, cea verticală este cea mai importantă pentru operatori. Vibrațiile de pe această direcție sunt cele mai dăunătoare sănătății muncitorilor, șoferilor, etc. Vibrațiile după celelalte două direcții (longitudinale și transversale) nu conduc la apariția unui discomfort prea mare. Totuși, există situații în care, la condusul pe drumuri prea accidentate, sau la diferite operații specifice, și aceste vibrații să fie dăunătoare. Vibrațiile induse de drumurile accidentate au o frecvență mai mică de 50Hz.

Una din cele mai importante zone de risc la vibrații ale corpului omenesc este abdomenul, a cărui frecvență de rezonanță se găsește în banda 4÷8Hz. O altă zonă importantă, în ceea ce privește riscul la vibrații este sistemul cap - cervicală, cu zona de rezonanță între 20÷30Hz. Banda de frecvență 38÷80Hz reprezintă rezonanța pentru globii oculari [7].

Cercetătorii au arătat că WBV apar la frecvențe cuprinse între 0,1÷100Hz, iar accelerațiile se găsesc între 0,01÷10m/s² [8].

a) Efectele vibrațiilor asupra sănătății

Vibrațiile influențează sănătatea lucrătorilor care folosesc unelete vibrante sau care stau pe platforme vibrante (Tab. 2).

Expunerea prelungită ale lucrătorilor, ale șoferilor, etc. la vibrații conduce la grave deformări ale coloanei; astfel, lumbago, compresii ale discurilor intervertebrale, etc. apar după

o lungă perioadă de vreme [9], [10]. În Fig. 2 este prezentat raportul dintre numărul pacienților cu probleme ale lombareii, pentru diferite activități [11].

b) Efectele vibrațiilor asupra performanței

S-au studiat foarte mult efectele vibrațiilor asupra văzului, asupra capacității de a conduce un autovehicul sau altă instalație/utilaj. Capacitatea de concentrare este afectată în zona 10÷25Hz [12] dar cele mai mari probleme apar pentru 4÷8Hz. Manipularea și controlul utilajelor sunt cel mai mult influențate la 2÷2,5Hz, pentru o amplitudine peak-to-peak 10÷20mm [13].

Tabel 2

Deformații patologice ale coloanei determinate prin raze X [14]

Ocupația	% deformare coloană vertebrală	Media de vârstă
Șoferi camioane	80	-
Șoferi excavatoare	71,3	26
Mineri	70	51
Șoferi autobuze	43,6	40
Muncitori în fabrică	43	45
Muncitori în construcții	37	51

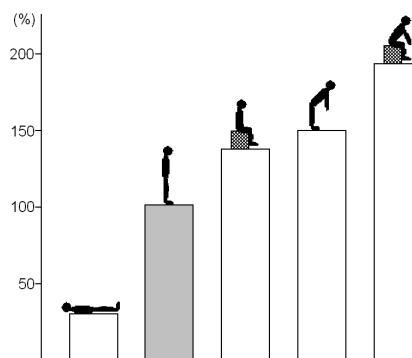


Fig. 2 Sarcina relativă asupra celui de-al treilea disc lombar pentru diferite poziții

Dacă se studiază datele din ISO 2631, se va constata că există limita de 2,5h/zi de expunere, pentru o viteză mai are de 5,8km/h, în intervalul de frecvență 1÷5Hz.

c) Efectele vibrațiilor asupra confortului

Poziția corectă a scaunului este foarte importantă pentru persoanele care rămân în aceeași poziție perioade lungi de timp (șoferi, pasageri), pentru evitarea stresului datorat vibrațiilor, precum și a durerilor de spate care apar la mai mult de 25% din cazuri [15], [16].

În urma rezultatelor s-au calculat procentul de distribuire al presiunii greutății pe corp în cazul pieptului, al pelvisului și al zonei lombare și s-a ajuns la concluzia că presiunea lombară scade în general cu unghiul de înclinare [17]. De asemenea, s-a constatat că, o creștere a suprafeței de suport lombar, duce la o scădere a presiunii intervertebrale (Tab.3).

Tabel 3

Încărcarea suplimentară a coloanei vertebrale pentru diferite poziții [18]

Culcat	43%
Șezând, cu spătarul scaunului înclinat cu 100° , cu cotiera scaunului înclinată	57%
Șezând într-un scaun de birou	71%
Șezând într-un scaun de birou, asupra brațelor acționând 20N	100%
În picioare	100%
În poziție verticală, fără suport pentru spate	143%

Au fost studiate limitele perceperii vibrațiilor pentru poziția așezat (fără spătar), în picioare și întins pe spate folosind vibrațiile sinusoidale și s-a ajuns la concluzia că subiecții tind să fie mai sensibili la vibrații atunci când stau întinși decât atunci când sunt așezați sau stau în picioare [19].

4. CERCETĂRI EXPERIMENTALE

În zilele noastre, excavatoarele au devenit indispensabile în industrie. În timpul utilizării lor, șoferii sunt expuși la vibrații mână-braț [20]. Aceste vibrații depind de: viteza de rulare, de încărcarea excavatorului, de tipul excavatorului, de tipul de drum, de scaunul șoferului și de suspensiile excavatorului. Din aceste motive șoferii suferă de diferite afecțiuni vasculare și neurologice, tulburări musculare și osoase. Cel mai adesea aceste rezultatele apar la frecvențe 8-1000Hz.

Accelerația ponderată este dată de:

$$a_{hw} = \left[\sum_{j=1}^n (W_{hj} \cdot a_{hj})^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

unde a_{hj} este accelerația măsurată în banda de treime de octavă și W_{hj} este factorul de ponderare pentru banda de treime de octavă.

Suma accelerației ponderate este definită ca:

$$A_{WT} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad (2)$$

unde a_{hwx} , a_{hwy} , a_{hwz} sunt accelerațiile ponderate pentru cele 3 axe.

Importante sunt și durata de expunere, precum și amplitudinile vibrațiilor. Durata expunerii zilnice este timpul total pentru care mâinile sunt expuse la vibrații în timpul zilei de lucru (8 ore). Valoarea ponderată totală este dată de:

$$A(8) = A_{WT} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (3)$$

unde T este durata totală/zi [s] și T_0 este durata de referință pentru 8 ore.

Vibrațiile au fost măsurate cu MAESTRO și cu accelerometrul seat-pad. Nivelurile de vibrații au fost măsurate la 4 excavatoare, în 3 condiții: la mers în gol, la transport și excavat. Timpul de măsurare pentru fiecare set de testare a fost de 15 minute, cu 15s - perioadă de integrare. În acest timp, excavatorul s-a deplasat drept, astfel că rezultatele nu sunt influențate de mișcările volanului.

Valorile accelerațiilor măsurate pentru cele 4 excavatoare sunt prezentate în Fig. 3-5. Pentru fiecare excavator au fost întocmite patru seturi de rezultate (a celor mai reprezentative).

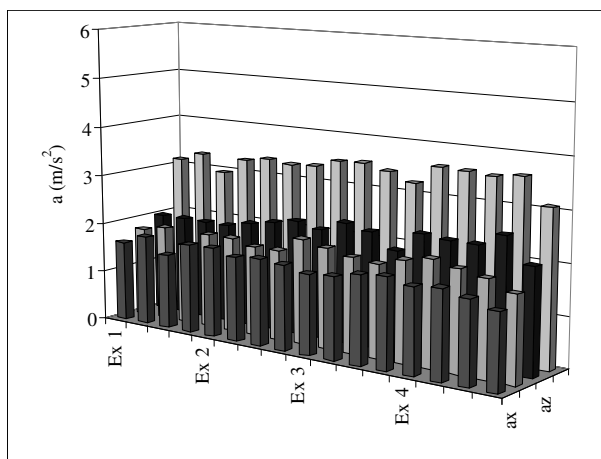


Fig. 3 Accelațiile pentru diferite excavatoare în timpul mersului în gol
 a_x (■), a_y (□), a_z (▨), A_{WT} (▩)

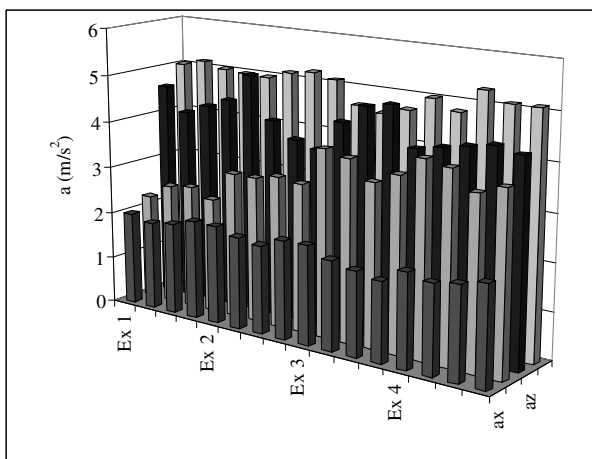


Fig. 4 Accelațiile pentru diferite excavatoare în timpul transportului
 a_x (■), a_y (□), a_z (▨), A_{WT} (▩)

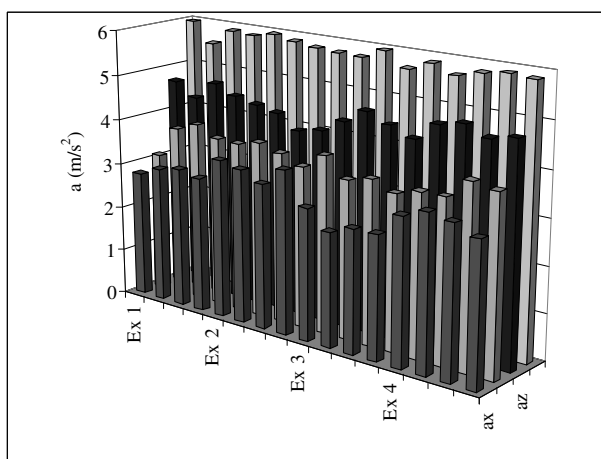


Fig. 5 Accelațiile pentru diferite excavatoare în timpul excavatului
 a_x (■), a_y (□), a_z (▨), A_{WT} (▩)

A fost determinată expunerea zilnică pentru fiecare operațiune și pentru fiecare excavator (Tab. 4). Prin urmare, un șofer de excavator este expus la vibrații un timp de 30min la mers în gol; transportul durează 1oră, iar programul de lucru efectiv este de 8h/zi. Pentru restul zilei, șoferul nu este supus la vibrații.

Tabel 4

Expunerea zilnică $A(8)$ (m/s^2) pentru fiecare șofer de pe excavatoarele 1, 2, 3 și 4

	Ex 1	Ex 2	Ex 3	Ex 4
$A(8)$	6.72	7.14	7.22	7.62

5. CONCLUZII

Pentru a reduce riscurile îmbolnăvirilor profesionale, este necesar ca să se mențină o stare bună de funcționare a excavatoarelor, să se efectueze reparații la timp și de calitate la motor, la suspensii, la sistemul de frânare și să se reducă timpul de lucru, de expunere a șoferilor la vibrații. Dacă se compară expunerea zilnică la vibrații pentru cele 4 excavatoare (Tab. 4) cu nivelul maxim admis de ISO 2631/1997, se constată că există riscul apariției sindromului degetelor albe după 4 ani.

În concluzie, s-a constatat că vibrațiile pot fi dăunătoare persoanelor care lucrează într-un astfel de mediu, precum și șoferilor care conduc o lungă perioadă de timp; percepția vibrațiilor pe cele 3 direcții se face în mod diferit. Astfel, la frecvențe mai mari de 10Hz, oamenii sunt mai sensibili la vibrațiile verticale, în timp ce la frecvențe mai mici de 3,15Hz, oamenii sunt mai sensibili la vibrațiile transversale.

Perceperea vibrațiilor la frecvențe mai mici de 20Hz se face la nivel mai profund, astfel, pentru evitarea efectelor negative este necesă folosirea suporturilor pentru picioare sau pentru mâini, adică pentru locurile în care vibrațiile pătrund în corp.

BIBLIOGRAFIE

- [1] BRATU, P., *Izolarea și amortizarea vibrațiilor la utilaje de construcții*, Editura Institutul de Cercetări în Construcții și Economia Construcțiilor, București, 1982.
- [2] PALMER, K.T., GRIFFIN, M.J., BEDNALL, H., PANNETT, B. ȘI COGGON, D., *Prevalence and pattern of occupational exposure to whole body vibration in Great Britain: findings from a national survey*, Occupational and Environmental Medicine, **57**, (4), 229-236, 2000.
- [3] HINZ, B. ș.a., *Aarent mass of seated man-First determination with a soft seat and dynamic seat pressure distributions*, Journal of Sound and Vibration, **Vol. 298**, Issue 3, 12, 704-724, 2006.
- [4] BYLUND, S.H., BURSTROM, L. ȘI KNUTSSON, A., *A Descriptive Study of Women Injured by Hand-Arm Vibration*, Ann. occup. Hyg., **Vol. 46**, No. 3, 299-307, 2002.
- [5] DIECKMANN, D., *A study of the influence of vibration on man*, Ergonomics, **Vol. 1**, Issue 4, 1958, 347-355, 1958.
- [6] ISO 2631-1:1997 – *Mechanical vibration and shock. Evaluation of human exposure to whole-body vibration*, Part 1: General requirements
- [7] RASMUSSEN, G., *Human Body Vibration Exposure and its Measurement*, in: Bruel & Kjaer brochure, 1996.
- [8] GRIFFIN, M. J. ȘI HUANG, Y., *Effect of voluntary periodic muscular activity on nonlinearity in the aarent mass of the seated human body during vertical random whole-body vibration*, Journal of Sound and Vibration, **Vol. 298**, 23, 824-840, 2006
- [9] BRONZINO, J.D., *The Biomedical Engineering HandBook*, Second Edition, Boca Raton: CRC Press LLC, 2000.
- [10] POPE, M.H. ȘI HANSSON, T.H., *Vibration of the spine and low back pain*, Clinical Orthopaedics and Related Research, **279**, 49-59, 1992.
- [11] SIRETEANU, T., GUGLIELMINO, E., STAMMERS, C.W., GHITA, G. ȘI GIUCLEA, M., *“Semi-active Suspension Control: Improved Vehicle Ride and Road Friendliness”*, Springer, **06-03**, ISBN: 1848002300, 2009.
- [12] SEIDEL, H. ȘI 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.
- [13] YOO, W.S., LEE, C.H., JEONG, W.B. ȘI KIM, S.H., *Development and alication of new evaluation system for ride comfort and vibration on railway vehicles*. Journal of Mechanical Science and Technology, **19**(7), 1469-1477, 2005.
- [14] SCHUST, M. ș.a., *Examination of perceptions (intensity, seat comfort, effort) and reaction times (brake and accelerator) during low-frequency vibration in x- or y-direction and biaxial (xy-) vibration of driver seats with activated and deactivated suspension*, Journal of Sound and Vibration, **Vol. 298**, Issue 3, 12 606-626, 2006.
- [15] GRIECO, A., *Sitting Posture: An old problem and a new one*, Ergonomics, **29**(3), 345-362, 1986.
- [16] PICU, A., *The Prevalence of Hand-arm Vibration Syndrome on Three Types of Powered Vibratory Tools Users*, International Conference, Noise. Vibration. Seismic action, 21-24 October, Reșița, Romanian Journal of Acoustics and Vibration, **Vol. 6**, Issue I, 37-40, 2009.
- [17] NĂSTAC, S. ȘI PICU, M., *Evaluating methods of whole-body-vibration exposure in trains*, The Annals of “Dunarea de Jos” of Galati, Fascicle XIV Mechanical Engineering, ISSN 1224-5615, 2010.
- [18] NAHVI, H., FOULADI, M.H. ȘI BIN MOHD NOR, M.J., *Evaluation of Whole-Body Vibration and Ride Comfort in a Passenger Car*, International Journal of Acoustics and Vibration, **Vol. 14**, No. 3, 143-149, 2009.

- [19] **PARSONS, K.C. ȘI GRIFFIN, M.J.**, *Whole-body vibration perception thresholds*, Journal of Sound and Vibration, **121**, 237-258, 1988.
- [20] **PICU, M.**, *Hand-arm vibration analysis for tractor drivers*, SISOM 2009 and Session of the Commission of Acoustics, Bucharest, 28-29 May, Institute of Solid Mechanics and Commission of Acoustics of Romanian Academy, 2009.