

CORELAREA STABILITĂȚII POSTURALE CU POZIȚIA DE UTILIZARE A DISPOZITIVELOR ȘI UNELTELOR VIBRATORII

CORRELATION OF POSTURAL STABILITY WITH THE USE POSITION OF VIBRATORY DEVICES AND TOOLS

Prof. univ. dr. ing. Mihaela Ioana BARITZ¹ , Prof. univ. dr. ing. Ion BALCU²

¹Universitatea Transilvania Brașov
B-ul Eroilor nr.29, 500036 Brașov, Romania
E-mail: mbaritz@unitbv.ro

²Universitatea Transilvania Brașov
B-ul Eroilor nr.29, 500036 Brașov, Romania
E-mail: balcu@unitbv.ro

Rezumat: În această lucrare sunt prezentate unele aspecte teoretice și deasemenea rezultatele experimentale obținute în urma studiului efectului uneltelor vibratorii asupra uneia dintre cele mai importante componente biomecanice și anume stabilitatea posturală a corpului uman. În prima parte sunt trecute în revistă aspectele teoretice ale dezvoltării fenomenelor vibratorii în corpul uman datorate dispozitivelor sau uneltelor manevrate de subiecți. Având în vedere aceste aspecte s-a dezvoltat o procedură de analiză a evoluției stabilității posturale corelată cu diferite posturi în utilizare a unor dispozitive care induc efecte vibratorii în mână, braț și corp. Rezultatele și concluziile sunt prezentate în partea finală a lucrării, deasemenea alături de dezvoltarea mecanismelor de corelare cu poziția de lucru a acestor unelte.

Cuvinte cheie: vibrații, stabilitate posturală, manevrabilitate, biomecanică

Abstract: This paper presents some theoretical and also experimental results obtained from the study of the effect of vibratory tools on one of the most important components namely biomechanical postural stability of the human body. In the first part are reviewed in developing the theory of vibratory phenomena in the human body due to the subjects handled devices or tools. Considering these aspects, an analysis procedure for evolution of postural stability correlated with different positions in the use of devices inducing effects of vibration in hand, arm and body are developed. The results and conclusions, also with development of correlation mechanisms with the using position of these tools are presented in the final part of the paper.

Keywords: vibrations, postural stability, maneuvering, biomechanics

1. INTRODUCERE

Așa cum este definit, din punct de vedere al protecției muncii [3], un sistem material scos din poziția sa de echilibru începe să se miște. Dacă mișcarea sa, față de un sistem de referință este o mișcare oscilantă/alternativă atunci această mișcare poartă numele de vibrație sau oscilație. În literatura de specialitate au fost elaborate diferite criterii după care se clasifică vibrațiile în domeniul tehnic. Astfel au fost stabilite criterii generale de clasificare a vibrațiilor după cum urmează: criteriul forțelor care acționează în timpul mișcării sistemului material,

criteriul tipului mișcării, criteriul numărului gradelor de libertate sau criteriul evoluției în timp a vibrațiilor. [3]

În practica curentă s-a constatat că nivelul vibrațiilor poate fi caracterizat prin parametrii mișcării, deplasare, viteza și accelerație, dar de cele mai multe ori folosindu-se doar un singur parametru—accelerație măsurată prin intermediul accelerometrelor-ceilalți fiind legați prin interdependențele mecanice corespunzătoare.

Din punct de vedere al subiectului uman expus la acțiunea vibrațiilor în activitățile de muncă o deosebită importanță o are zona de contact dintre dispozitivul vibrator și corpul uman. De obicei ansamblul care este cel mai supus la acțiunea vibratorie este ansamblul mână-braț, dar efectele se pot urmări în întregul corp uman prin alte manifestări biomecanice, cum ar fi stabilitatea posturală.

Un element esențial în analizele efectelor vibratorii asupra organismului uman îl reprezintă durata expunerii la vibrații. Într-o serie de standarde (Directiva 89/391/CEE și HG nr.1876/22.12.2005) și norme de expunere la vibrații se stabilesc deasemenea limitele de percepție a acestora de către organismul uman și totodată sunt evidențiate efectele acestor influențe asupra diferitelor părți anatomice din întreg corpul uman. Stabilirea normelor de acțiune a vibrațiilor este o operație extrem de complicată deoarece vibrațiile dispozitivelor, uneltelor, mașinilor sau utilajelor prezintă o mare diversitate de amplitudini, spectre de frecvențe și direcții de acțiune. În plus față de aceste aspecte subiecții umani percep sub forme diferite efectul vibrațiilor, mai ales în funcție de poziția corpului față de direcția, sensul și modul de acțiune a vibrațiilor, în funcție de variația temporală și poate nu în ultimul rând în funcție de durata de acțiune a vibrațiilor asupra corpului uman. Deasemenea starea de sănătate, confort de acțiune și tipul de activitate pot influența manevrabilitatea, precizia și nivelul de efort pe care îl poate dezvolta subiectul uman pe durata activității.

Propagarea prin corp a vibrațiilor poate fi amortizată sau din contră, poate fi favorizată de o serie de factori morfofuncționali, cum ar fi articulațiile (amortizare) sau sistemul muscular (favorizează). [3] Anumite fenomene subiective care se manifestă în organismul uman în momentul expunerii la vibrații, ce includ lipsa de confort, durere și/sau teamă sunt amplificate de gradul de acceptare și adaptare a subiectului uman.

2. EFECTELE VIBRAȚIILOR ASUPRA ORGANISMULUI UMAN

Pentru evaluarea efectelor vibrațiilor la care este supus un subiect uman se au în vedere trei grade de apreciere: prag de percepție, prag de neplăcere și respectiv prag de intoleranță. Acest grad de apreciere poate fi determinat prin coeficientul de percepție a vibrațiilor K cu valori cuprinse între 0,1 și 63, în raport cu amplitudinea accelerației vibrațiilor cu valori cuprinse între 10^{-2} până la 5 m/s^2 .

Valorile coeficientului de percepție K definesc gradele modului de percepție, după cum urmează: imperceptibil $K < 0,1$; abia perceptibil până la bine perceptibil cu K cuprins între (0,1;1,4); puternic perceptibil cu K cuprins între (1,4;4), respectiv perceptibil foarte puternic cu K cuprins între (4; 63).[2]

Așa cum se menționează într-o serie amplă de cercetări, efectul vibrațiilor asupra organismului uman depinde substanțial de durata de aplicare a acestora, determinând instalarea unui anumit nivel de oboseala tolerabil sau nu. Astfel s-a aratat că la un nivel de aplicare de 1-100 Hz a unor vibrații cu accelerația cuprinsă între $0,25-6,3 \text{ m/s}^2$, gradul de oboseală se instalează cel mai rapid după 1 min când accelerația este la limita superioară a intervalului și abia după 8 ore când aceasta scade la limita cea mai mică a intervalului.

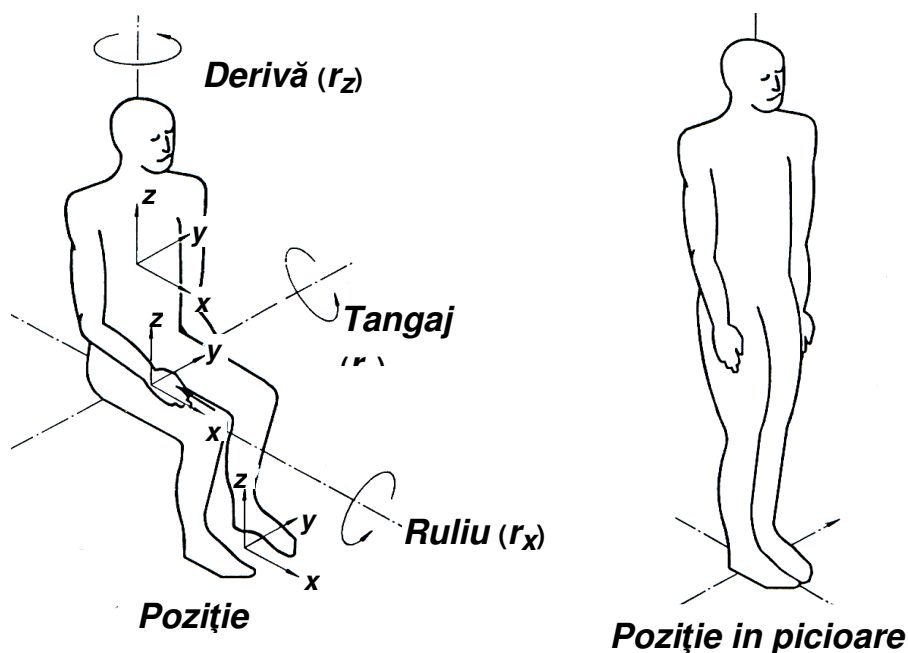


Fig.1. Poziția așezată și în picioare a subiectului uman [2]

Principalele efecte ale vibrațiilor asupra corpului uman, fie că se află în poziția așezat sau în picioare (Figura 1) se materializează prin deteriorarea stării de sănătate în timp, scăderea abilității de a desfășura o anumită activitate și nu în ultimul rând scăderea gradului de confort în derularea unei acțiuni.

Deasemenea cumulara acțiunii vibratorii poate duce la scăderea gradului de percepție a informațiilor din mediul înconjurător, primul sistem senzorial uman afectat substanțial de efectul vibrațiilor fiind sistemul vizual. În corelare cu scăderea acuității vizuale și cu diminuarea procesului de acomodare a ochilor se poate instala un deficit de acțiune al mecanismului vestibulo-ocular, acesta din urmă ducând la pierderea echilibrului postural al subiectului uman.

O atenție deosebită a fost acordată analizelor efectelor vibrațiilor asupra ansamblului mână-braț, rezultatele arătând cel mai mare grad de influențare asupra organismului uman a uneltelor vibratorii care acționează în acest loc.[1] Pentru descrierea și măsurarea mișcărilor de vibrații și șocuri, de translație și de rotație care afectează organismul uman se folosesc sistemele de coordonate biodinamice definite prin *Standardul Internațional SR ISO 8727*. Acest standard prezintă sistemele de coordonate anatomice și bazicentrice pentru măsurări biodinamice (cap, baza gâtului pelvis și mână). Conform SR ISO 8727, pentru mână, sistemul de coordonate anatomice și cel de coordonate bazicentrice se pot vedea în figura 2.[4]

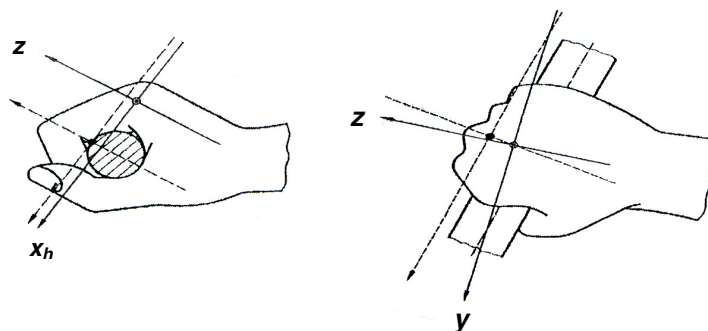


Fig.2. Sistemul de coordonate bazicentrice pentru mână [4]

Pentru vibrațiile transmise sistemului mână-braț sunt stabilite următoarele valori, conform HG nr.1.876/22.12.2005:

a) valoarea limită de expunere zilnică profesională, calculată pentru o perioadă de referință de 8 ore, este de 5 m/s²;

b) valoarea expunerii zilnice de la care se declanșează acțiunea, calculată pentru o perioadă de referință de 8 ore, este de 2,5 m/s².

Pentru vibrațiile transmise întregului corp, aceste valori sunt:

a) valoarea limită de expunere zilnică profesională, calculată la o perioadă de referință de 8 ore, trebuie să fie de 1,15 m/s² ;

b) valoarea expunerii zilnice de la care se declanșează acțiunea, calculată la o perioadă de referință de 8 ore, trebuie să fie de 0,5 m/s².

Conform SE EN ISO 0643:206 mărimea utilizată pentru descrierea valorii vibrațiilor trebuie să fie **acclerația ponderată în frecvență** dată de relația următoare:[3]

$$a_{hw} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_{hw}^2(t) dt} \quad (1)$$

dar de preferat este măsurarea triaxială a vibrațiilor, conform sistemului de coordonate bazicentric, **valoarea totală a accelerației vibrațiilor** determinându-se cu relația:[3]

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hw_x}^2 + a_{hw_y}^2 + a_{hw_z}^2} \quad (2)$$

Expunerea zilnică la vibrații a unui corp uman provine, de cele mai multe ori, din executarea mai multor operații și se calculează cu relația următoare (în care T₀=timp inițial și T_i=durata expunerii):[3]

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hw_i} T_i} \quad (3)$$

În unele locuri de muncă, durata de utilizare a uneltelor vibratorii se modifică semnificativ de la o zi la alta. În acest caz este dificil sau uneori imposibil să se folosească observațiile înregistrărilor activității unei singure zile de lucru pentru a obține informații referitoare la duratele zilnice de expunere. Atunci când expunerea la vibrații se evaluează pentru perioade mai mari de o zi, rezultatele trebuie să fie utilizate la determinarea riscului pentru sănătate. [3] Când se întreprind astfel de evaluări, trebuie să fie efectuată și trecută în raport și evaluarea expunerii reale zilnice la vibrații, starea de sanatate și gradul de confort al activitatii, pe cit posibil corelat și cu alți parametri ai activității (temperatură, umiditate, presiune, stimuli vizuali etc.).

3. SISTEMUL EXPERIMENTAL PENTRU EVALUARE

Sistemul experimental dezvoltat pentru evaluarea efectului vibrațiilor dezvoltate în ansamblul mână-braț asupra stabilității posturale este compus dintr-un sistem de achiziție a parametrilor mișcării corpului uman pe durata expunerii cu ajutorul unei plăci de forță tip Kistler și a dispozitivului de măsurat nivelul de vibrații, tip HMV100, dezvoltat de unealta vibratorie. Structura metodologiei de analiză este prezentată în schema următoare (Figura 3) și cuprinde modulul de înregistrare inițială a parametrilor fiziologici ai subiecților participanți la experiment, modulul de înregistrare al nivelurilor de vibrații din utilajul vibrator, modulul de achiziție și măsurare a parametrilor mișcării corpului uman sub influența vibrațiilor și respectiv sistemul de calcul pentru analiza computerizată prin software *Bioware*.

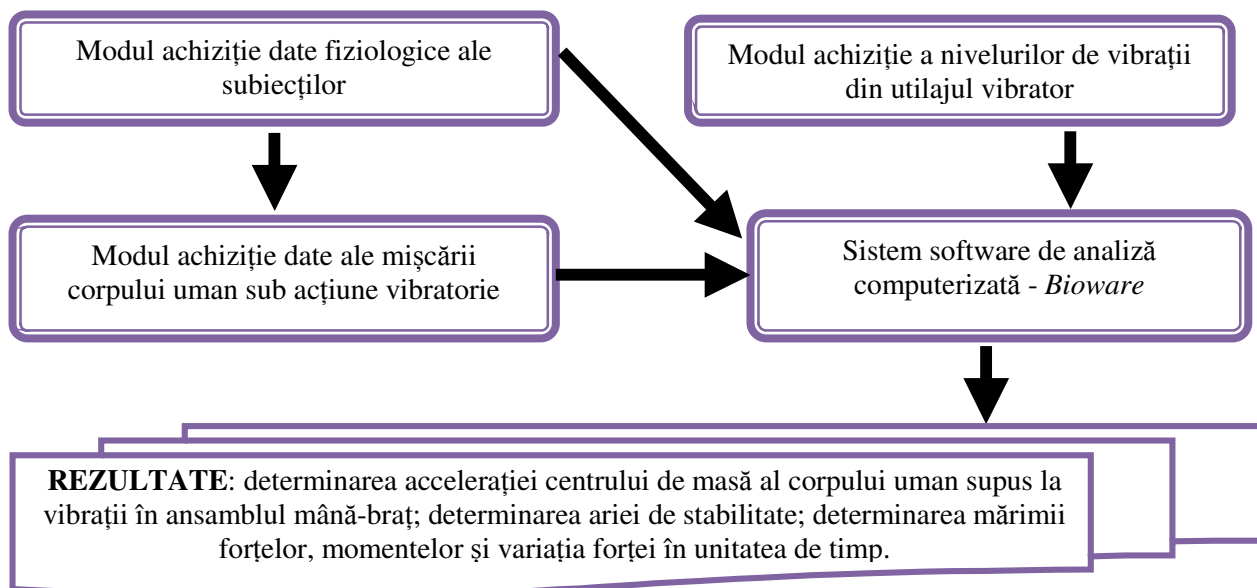


Fig.3. Schema modulelor sistemului experimental

Subiecții participanți au fost instruiți și coordonați pe întreaga durată a înregistrărilor, explicându-le de fiecare dată care sunt etapele de lucru, modul de participare și postura pe care trebuie să o adopte. S-a ales pentru setul de înregistrări un set de posturi utilizate în activitățile de lucru normale: poziția 1-poziția șezând, cu unealta vibratorie în mâna dreaptă, susținută de mâna stângă, fără sprijin pe picior; poziția 2 – poziția șezând cu unealta vibratorie în mâna dreaptă, susținută de mâna stângă și sprijinită pe piciorul drept și poziția 3 – poziția în picioare, aplecat peste zona de lucru, cu unealta vibratorie în mâna dreaptă, susținută de mâna stângă, fără nici un alt sprijin (Figura 4 și 5)



Fig.4. Pozițiile inițiale ale subiecților – fără unealta vibratorie și respectiv măsurarea nivelului de vibrații pe unealta vibratorie [5]

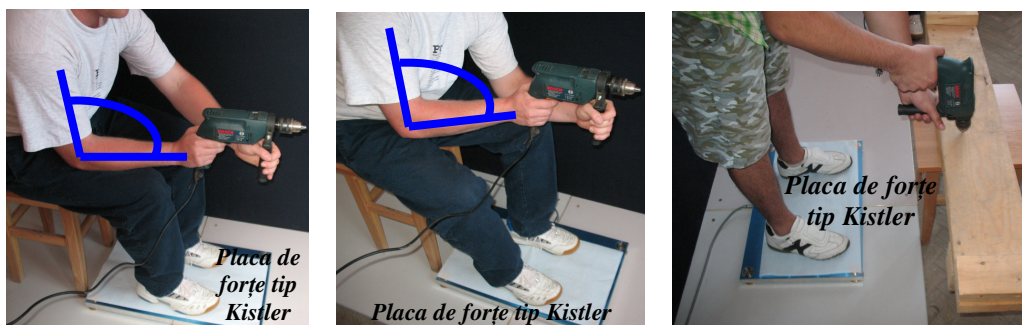


Fig.5. Pozițiile subiecților pe durata înregistrărilor cu unealta vibratorie [5]

În funcție de poziția subiecților s-au realizat o serie de înregistrări ale stabilității posturale a organismului uman urmărindu-se păstrarea acelorași condiții de mediu pe toată durata experimentului (temperatura ambientală 18°C , umiditate 60% și presiune atmosferică normală). Placa de forțe tip Kistler utilizată în înregistrări este o placă echipată cu 4 senzori piezoelectrice așezați pe vârfurile suprafeței patrulaterale ($400 \times 600 \text{ mm} \times \text{mm}$) și care înregistrează în timp real forțele și momentele dezvoltate de către corpul uman pe durata expunerii la acțiunea vibrațiilor în ansamblul mână-braț. Aceasta durată a înregistrărilor a fost stabilită la 15 sec. pentru fiecare categorie de înregistrare. Tipologia înregistrărilor a urmărit un mecanism corelat cu postura organismului și au fost stabilite conform celor prezentate în schema din Figura 6.

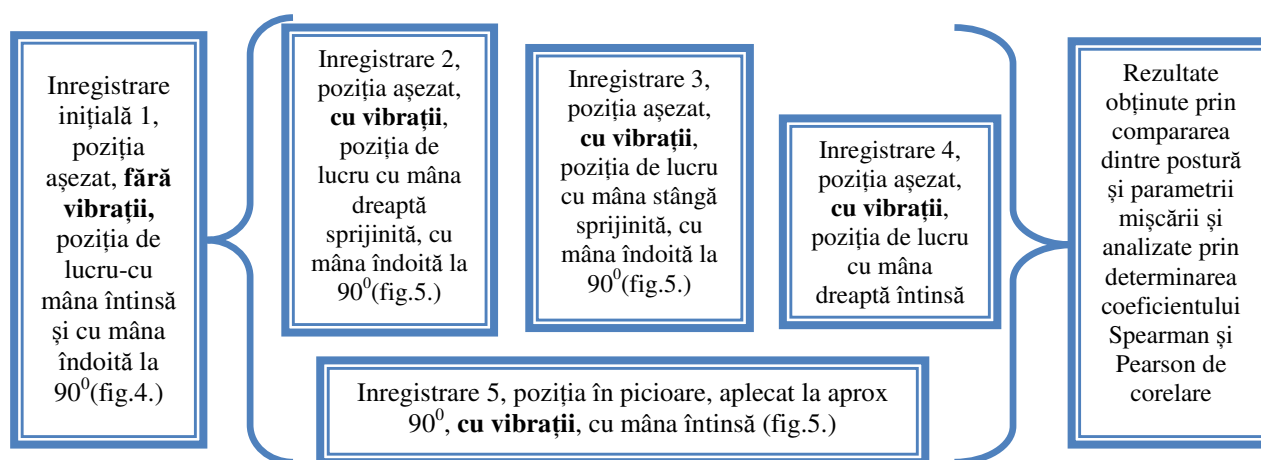


Fig.6. Schema structurii înregistrărilor

4. REZULTATE ȘI CONCLUZII

Stabilitatea și evoluția accelerațiilor CM (centrului de masă) (Figura 7) a corpului uman au constituit parametrii principali care a fost înregistrați, dar alături de aceștia au fost puse în evidență și evoluțiile forțelor măsurate pe direcția Oz, respectiv variația COFx versus COFy (Figura 8) în poziția de repaus, conform imaginii din fig.4.

Corelarea stabilității posturale cu poziția de utilizare a dispozitivelor și uneltelor vibratorii

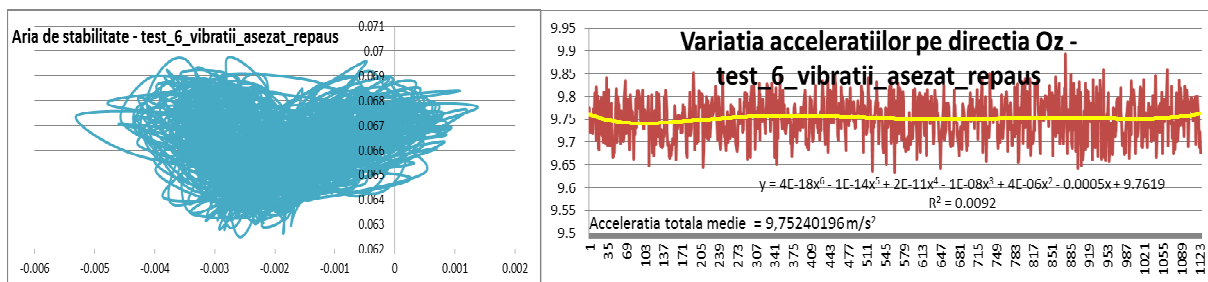


Fig.7. Exemplu de variație a stabilității și a accelerației totale măsurate pe direcția Oz în poziția repaus

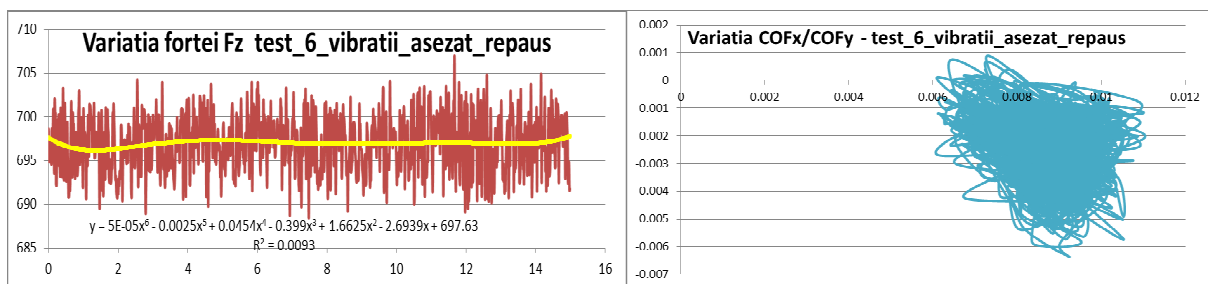


Fig.8. Exemplu de variație a forței Fz și a raportului COFx versus COFy în poziția repaus

În urma expunerii subiecților la efectul utilizării unei unelte vibratorii, conform posturii din Figura 5 s-au realizat înregistrările aceluiași mărimi (Figura 9 și 10) și s-au determinat gradele de corelație între mărimea accelerațiilor pe durata expunerii la vibrații și mărimea amplitudinii stabilității pe ambele direcții Ox și Oy, prin calculul coeficientului Spearman (ec.4) în comparație cu coeficientul Pearson (ec.5).

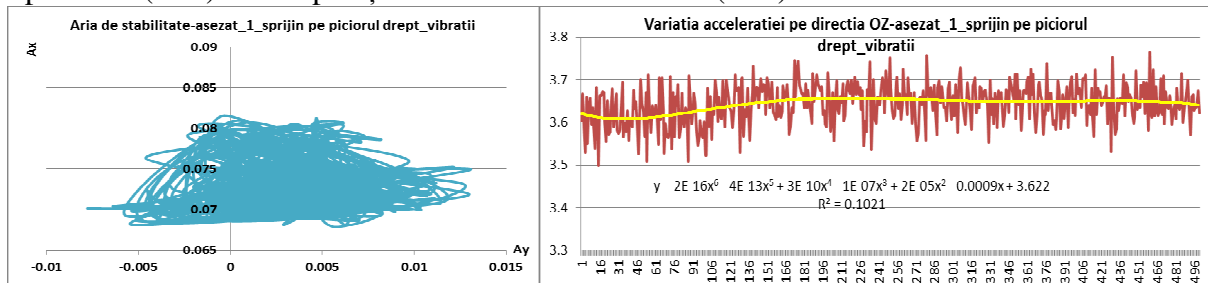


Fig.9. Exemplu de variație a stabilității și a accelerației totale măsurate pe direcția Oz în cazul expunerii la vibrații

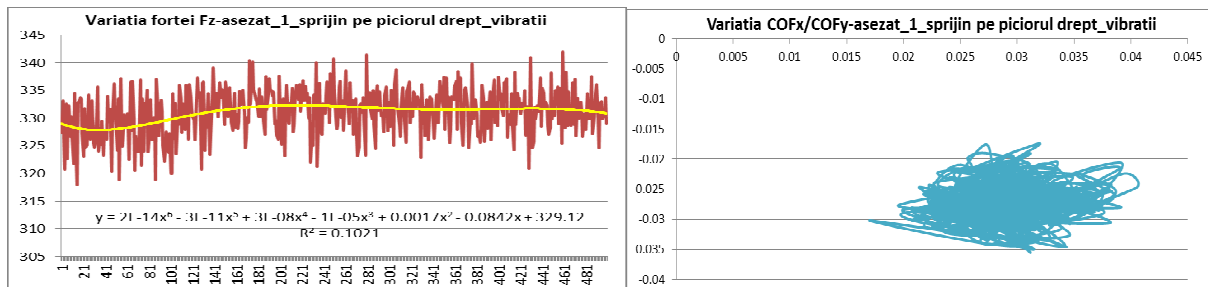


Fig.10. Exemplu de variație a forței Fz și a raportului COFx versus COFy în cazul expunerii la vibrații

În același mod s-au realizat și determinările aceluiași parametrii pentru celelalte variante de posturi ale subiecților: postura așezat, cu unealta vibratorie în ambele mâini și

sprijin pe mâna stângă și postura în picioare cu manevrare a uneltei vibratorii cu ambele mâini. Deasemenea un alt parametru de care s-a ținut cont a fost materialul cu care s-a lucrat și anume lemn și metal. Astfel coeficienții de corelație de tip Spearman și Pearson [6] au fost calculați cu relațiile (4) și (5) în următoarele situații de corelare (unde x și y sunt variabilele care se corelează):

$$r_s = 1 - \frac{6\sum D^2}{N^3 - N} \quad (4)$$

$$r_p = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

Tabel 1.

Nr.crt.	Ax/COMx					
	A.R.MD	A.V.MD	A.R.MS	A.V.MS	P.R.MDS	P.V.MDS
r_s (Spearman)	-0,268	0,39	-0,118	0,042	0,58	0,62
r_p (Pearson)	-0,26	0,37	-0,106	0,043	0,568	0,617

Nota: Ax/COMx-amplitudinea oscilațiilor/accelerația oscilațiilor centrului de masă al corpului pe direcția Ox; A.R.MD-Așezat, repaus, mâna dreaptă; A.V.MD-Așezat, vibrații, mâna dreaptă; A.R.MS-Așezat, repaus, mâna stângă; A.V.MS-Așezat, vibrații, mâna stângă; P.R.MDS-In picioare, repaus, ambele mâini; P.V.MDS-In picioare, vibrații, ambele mâini; At-amplitudinea totală a oscilațiilor, Fz-forța dezvoltată de corpul uman pe direcția Oz, COFx și COFy-variația poziției centrului de forță pe direcția OX și Oy.

În același mod s-au calculat și pentru alte mărimi corelative (Ay/COMy; Fz/At; COFx/COFy) și se poate concluziona că prin măsurarea parametrilor posturii (arie de stabilitate, forță pe direcția Oz, variația COM și COF) cu ajutorul plăcii de forțe Kistler se pot evalua influențele dezvoltate de efectul vibrator al uneltelor și dispozitivelor, asupra organismului uman.

Astfel prin determinarea coeficienților de corelație tip Spearman și Pearson se pot extrage concluzii referitoare la alegerea poziției celei mai corecte (așezat/picioare, sprijin pe mâna dreaptă/stângă etc.) pentru derularea unei activități în care sunt implicate unelte și dispozitive vibratorii. Valorile coeficienților menționați, mai apropiate de zero, implică o corelare slabă între parametrii aleși, iar cele mai apropiate de valorile +/-1 o corelare bună. În acest sens, în exemplul prezentat în tabelul 1, postura corpului uman cea mai potrivită pentru executarea operațiilor de găurire în lemn este asigurată de poziția în picioare și sprijin al uneltei cu ambele mâini (Figura 5), această postură oferind subiectului cea mai bună și ergonomică manevrabilitate.

REFERINȚE

- [1] S. Chervak - „Hand-Arm Vibration Threshold Limits”, DoD Ergonomics, Issue 55, August 2006,
- [2] Gh.Buzdugan et al. - „Masurarea vibratiilor”, Editura Academiei, Bucuresti, 1979;
- [3] A. Darabont, S. Pece - „Protectia muncii”, Editura Didactica și Pedagogica, București, 1996.
- [4] Standard international SR ISO 8727;
- [5] *** arhiva personala, 2013.
- [6] *** <http://www.socscistatistics.com>, accesat dec.2013.