A XIII-a Conferinţă Naţională multidisciplinară – cu participare internaţională,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii româneşti",
SEBEŞ, 2013

STUDIUL EXPERIMENTAL AL ACŢIUNII VIBRAŢIILOR MAŞINILOR-UNELTE PORTABILE ASUPRA SISTEMULUI UMAN MÂNĂ-BRAŢ

Anamaria BIRIŞ, Claudiu Alin GLIGOR, Mariana ARGHIR

EXPERIMENTAL STUDY OF THE VIBRATION ACTION OF PORTABLE MACHINE TOOL ON THE HUMAN HAND-ARM SYSTEM

This paper is an experimental study about the importance o vibration action acting on the human operator. For this study were made a series of measurements on different parts of the hand-arm system of a human operator. Were measured the vibrations generated by a hammer drill operating both idle or full load.

Conclusions reguarding this measurements were then generated and the results are presented in the paper below.

Cuvinte cheie: vibraţii mecanice, maşini-unelte portabile, mână-braţ
Keywords: mechanical vibration, machine tools, portable, hand-arm

2. Introducere

Vibraţiile întregului organism uman se produc de obicei în timpul transportului, dar pot fi întâlnite şi în alte locuri în desfăşurarea proceselor industriale. Indiferent de activitatea industrială din care provine, vibraţia acţionează asupra organismului uman şi aceasta poate produce disconfort operatorului, îi poate modifica activitatea sau chiar poate avea efecte mai mult sau mai puţin grave asupra sănătăţii

subiectului uman supus unei activităţi ce presupune acţiunea vibraţiilor asupra întregului organism.

Din punct de vedere medical, este cunoscut faptul că expunerea îndelungată la vibraţii poate duce la apariţia a patru tipuri de afecţiuni şi anume:

1. sindromul osteo-musculo-articular;
2. afecţiuni digestive;
3. sindromul Raynaud;
4. afecţiuni ale sistemului nervos.

3. Principii de măsurare a vibraţiilor maşinilor unelte

Maşinile-unelte aflate în funcţiune expun persoanele care le folosesc la vibraţii mecanice transmise prin mână, acest lucru afectând confortul, eficienţa şi în unele cazuri chiar securitatea operatorului uman.

2.1. Scopul analizării vibraţiilor maşinilor-unelte

Scopurile principale în care se fac măsurătorile de vibraţii produse de maşinile unelte portabile sunt:

- în vederea determinării dozei de vibraţii. Acest lucru se realizează prin combinarea acceleraţiilor vibraţiilor măsurate cu timpul de expunere pe parcursul căruia maşina este utilizată pe durata unei zile normale de muncă. Măsurarea vibraţiilor trebuie făcută în aşa fel încât să reprezinte cât mai îndeaproape posibil o situaţie reală de muncă. În caz de necesitate se pot utiliza mai multe traductoare în diferite poziţii pentru a ţine seama de diferenţele nivelului de vibraţii de-a lungul mânerului sau a zonei de prindere;
- pentru compararea vibraţiilor emise de diferite maşini-unelte, sau a diferitelor modele ale aceleiaşi maşini.

Pentru a obţine o imagine cât mai clară referitor la expunerea medie zilnică la vibraţii trebuie identificate următoarele:

- toate sursele de vibraţii;
- toate modurile de funcţionare a uneltei cu motor (exemplu, mers în gol, mers în sarcină, mai multe viteze de funcţionare etc.);
- toate modificările în condiţiile de funcţionare care pot afecta expunerea la vibraţii (diferenţa în masa şi consistenţa materialului folosit, precizia necesară efectuării operaţiei care poate fi progresivă etc.);
- toate sculele care se inserează maşinii unelte şi care pot afecta expunerea la vibraţii;

- orice informaţie obţinută de la muncitori şi supraveghetori referitoare la situaţiile în care aceştia preconizează apariţia valorilor celor mai mari ale vibraţiilor;

- o estimare în avans a riscurilor potenţiale de vibraţii pentru fiecare operaţie, folosind informaţii furnizate de producători referitor la emisia de vibraţii a fiecărei maşini sau utilizând rezultate obţinute la unele măsurători anterioare sau efectuate pe maşini unelte similare.

2.2. Condiţii generale pentru validarea măsurătorilor

Pentru validarea măsurătorilor trebuie îndeplinite unele condiţii generale:

- măsurătorile trebuie efectuate pe maşini noi, bine unse şi bine întreţinute;
- în timpul măsurătorilor maşina trebuie să funcţioneze conform indicaţiilor producătorului (referitor la alimentare şi regimul de lucru);
- maşina să funcţioneze stabil şi fară vibraţii;
- de obicei braţul operatorului trebuie să fie perpendicular pe mânerul de comandă;
- încercările vor fi efectuate de trei muncitori cu experieţă, fiecare efectuând o serie de încercări. O serie de încercări trebuie să cuprindă cinci cicluri de încercare cu o durată nu mai mică decât 4 s;
- măsurătorile trebuie continuate până se ajunge la o serie validă de încercări, adică până când coeficientul de variaţie a cinci valori ponderate consecutive pentru acelaşi operator este mai mic de 0,15 sau abaterea este mai mică de 0,30 m/s^2 .

Coeficientul de variaţie este calculat cu relatia 3:

$$C_v = \frac{s_{n-1}}{\bar{x}} \qquad (1)$$

unde:

s_{n-1} - abaterea standard;

$\bar{x}$ - valoarea medie a seriei

$$s_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \qquad (2)$$

unde:

$\bar{x}_i$ - reprezintă valoarea măsurată, i

n – reprezintă numărul de valori măsurate.

3. Măsurători efectuate “in situ”

S-au efectuat măsurători în serii de câte 5 încercări, la fiecare încercare maşina rotopercutoare a fost ţinută în poziţia de lucru. Valorile parametrilor studiaţi au fost stocate în memoria internă a vibrometrului SVAN 958, acestea fiind apoi descărcate prin intermediul software-ului SVANPC++.

3.1. Scurtă descriere a maşinii cu rotopercutor

Pentru măsurătorile efectuate a fost folosită o maşină de găurit cu rotopercutor model STERN Austria, având următoarele caracteristici:

- Puterea motorului 710 W;
- Diametrul maxim al burghiului 13 mm;
- Turaţia 0-2400 rot/min.

Trebuie de asemenea specificat faptul că maşina-unealtă este folosită la turaţia maximă cu un burghiu de Φ = 8 mm şi lungimea de 120 mm pentru beton. Măsurătorile au fost efectuate în cazul găuriri unei plăci de beton cu dimensiunile 200x600x150 mm.

3.2. Condiţiile încercării aplicate operatorului uman

Măsurătorile au fost efectuate pe un operator de sex masculin sănătos din punct de vedere clinic, căruia i s-au adus la cunoştinţă toate riscurile la care se va supune în cadrul acestor măsurători de vibraţii.

Subiectul ales are înălţimea de 1,72 m şi greutatea de 85 kg. Măsurătorile s-au efectuat după-masa în intervalul orar 18,00 – 20,00.

3.3. Măsurarea şi analizarea vibraţiilor produse de către maşina cu rotopercutor la funcţionarea în gol/sarcina

În cadrul măsurătorilor efectuate a fost folosit vibrometrul SVAN 958. Pentru preluarea semnalului a fost folosit un accelerometru triaxial montat pe mâna operatorului cu două benzi tip scai astfel încât poziţia acestuia:

- să nu incomodeze operatorul;
- axa unui canal al accelerometrului (în situaţia de faţă canalul 2) să fie suprapusă peste oasele carpiene ale mâini drepte a operatorului conform standardului SR EN ISO 5349-1.

1. Analizând datele şi graficele spectrale rezultate pe timpul măsurătorilor la mersul în gol al maşinii rotopercutoare rezultă

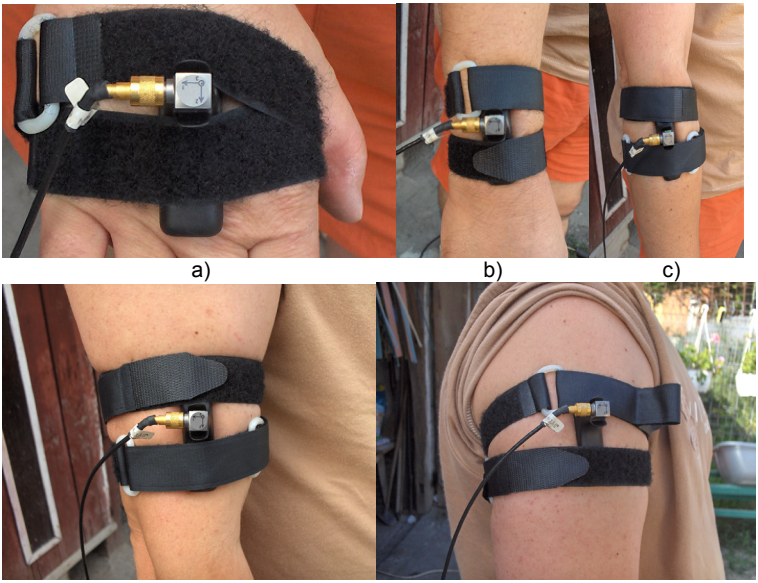

Fig. 1 Poziţionarea accelerometrului pe braţul operatorului
a) pe mână, b) după încheietură, c) înainte de cot, d) după cot,
e) pe partea superioară a braţului

următoarele concluzii generale:

● pe axa *X* respectiv *Y* acceleraţia RMS are valori semnificative la frecvenţe reduse, atenuarea acesteia fiind diferită în punctele de măsură;

● pe axa *Z* se obţin maxime bine definite ale acceleraţiei RMS la frecvenţele de aproximativ 50, 150, 250, 350, 450, 550, şi 650 Hz, aceste valori sunt atenuate diferit până la nivelul cotului, apoi cresc după cot iar la umăr îşi reiau tendinţa de atenuare.

2. Analizând datele şi graficele spectrale rezultate pe timpul măsurătorilor la *mersul în sarcină al maşinii rotopercutoare* se pot desprinde câteva concluzii şi anume:

● *pe axa X*: acceleraţia RMS măsurată are valori semnificative la frecvenţe 50, 150, 250, 350, 450, 550, şi 650 Hz şi este atenuată de mână ramânând un singur maxim la 130Hz, dupa încheietura mâinii acesta se translatează la 136 Hz iar de aici suferă atenuare, dispărând în totalitate după cot;

● *pe axa Y*: se observă un maxim la nivelul mâinii în jurul valorii de 130 Hz, apoi maxime apar la 50 şi 140 Hz după încheietura mâinii care se păstreză până la cot iar după cot se atenuează;

● *pe axa Z*: maximele bine definite ale acceleraţiei RMS la frecvenţele de aproximativ 50, 150, 250, 350, 450, 550, şi 650 Hz generate de maşina sunt atenuate puternic la nivelul mâinii rămânând doar 2 maxime cel la 50 Hz iar al doilea la 140 Hz care de-a lungul braţului vor suferi doar modificări de amplitudine (atenuări sau amplificări);

3. Valorile numerice ale acceleraţiei scad diferit până la nivelul cotului, apoi cresc după cot iar la umăr îşi reiau tendinţa de atenuare;

4. Pe axa *Z*, frecvenţele pentru care se înregistrează maxime ale acceleraţiei RMS sunt aceleaşi ca şi în cazul precedent iar pe axele X şi Y valorile maxime apar datorită mişcării de rotaţie transmisă maşinii-unelte din cauza frecării inconstante a burghiului în material, pe timpul rotirii acestuia.

5. Pentru a putea face o analogie între valorile acceleraţiei RMS respectiv PEAK la mersul în gol respectiv mersul în sarcină a maşinii-unelte, din măsurătorile efectuate au fost colectate datele reprezentate în tabelul1 (Valori medii ale acceleraţiilor RMS şi PEAK, în m/s^2).

Tabelul 1

		Pe mână	După încheietura mâinii	Înainte de încheietura cotului	După încheietura cotului	Înainte de încheietur a umărului
Accelera-ţia RMS mers în gol		13.068	12.796	12.721	17.869	16.612
Accelera-ţia RMS mers în sarcină		14.823	12.281	12.396	26.395	25.72
Accelera-ţia PEAK mers în gol	*Y*	23.868	22.145	24.824	22.546	23.001
	Z	31.037	29.610	32.283	44.623	38.019
	X	23.853	22.233	24.822	22.552	22.995
Accelera-ţia PEAK mers în sarcină	*Y*	25.336	29.151	28.495	23.630	23.179
	Z	36.173	28.831	28.273	56.473	52.814
	X	25.428	23.552	24.609	23.641	23.256

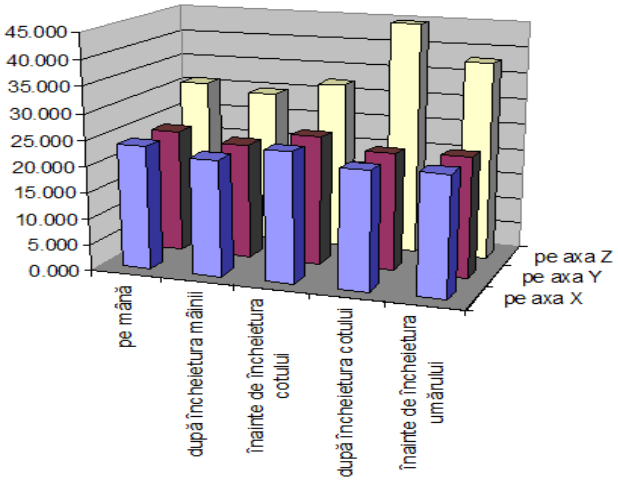

Fig. 2 Variaţia valorilor acceleraţiei PEAK la mersul în gol

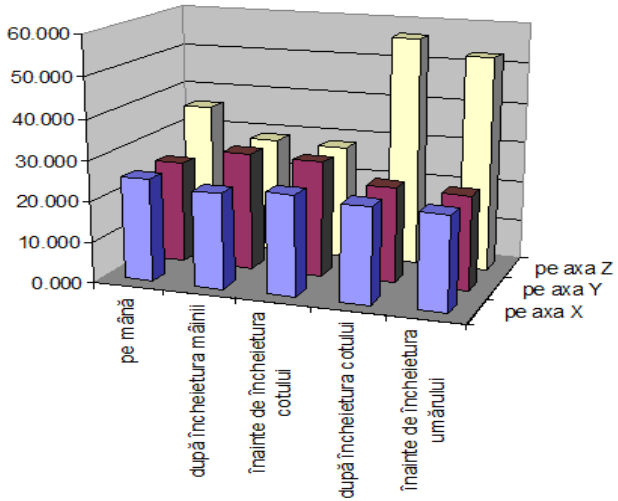

Fig. 3 Variaţia valorilor acceleraţiei PEAK la mersul în sarcină

Din studiul tabelului 1 şi figurilor 2 şi 3 concluzionăm astfel comportamentul acceleraţiei PEAK:

■ la mersul în gol:

- valorile obţinute pe axele *X* şi *Y* sunt foarte apropiate;
- au aceeaşi tendinţă adică, scad după încheietura mâinii, cresc inaintea cotului, scad după cot şi cresc la umăr;
- pe axa *Z* valorile scad după încheietura mâinii, cresc inainte de cot, cresc şi mult după cot apoi reiau tendinţa de scădere;

■ la mersul în sarcină:

- pe axa *Z* acelaşi comportament ca şi la mersul în sarcină dar cu valori mai mari;
- pe axa *X* valori mai mari ca în cazul precedent iar tendinţa este de scădere după încheietura mâinii, creştere înainte de cot apoi scădere după cot şi la umăr;
- pe axa *Y* creşte după încheietura mâinii apoi se atenuează până la umăr.

Diferenţele de valori ale acceleraţiei PEAK dintre axa *Z* si celelalte axe sunt date de existenţa percuţiei, atât la mersul în gol cât şi la mersul în sarcină. La mersul în sarcină valorile sunt mai mari datorită percuţiei ce generează vibraţii mai puternice atunci când se lucrează în material.

Pe axa *X* valorile obţinuite respectă aceeaşi tendinţă şi la mersul în gol cât şi la mersul în sarcină doar cu valori mai mari pentru cazul mersului în sarcină datorită vibraţiilor generate de burghiul care pătrunde în material.

Pe axa *Y* valorile acceleraţiei PEAK sunt mai mari tot din cauza funcţionării în sarcină, iar valoarea crescută a acceleraţiei măsurate după încheietura mâinii, şi atenuată ca în cazul mersului în gol, se datorează construcţiei biologice a acestei încheieturi ce are o mobilitate mai mare pe axa *Y* decât pe axa *X* în situaţia când se ţine în mână o unealtă.

La nivelul cotului (datorită mobilităţii acestuia) acceleraţia PEAK are creşteri considerabile. Măsurătorile efectuate după încheietura cotului prezintă o scădere a valorilor măsurate.

Acceleraţia RMS prezintă următoarea evoluţie de-a lungul sistemului mână-brat, aşa cum este reprezentată în figura 4 cu ajutorul datelor din tabelul1, astfel:

■ la mersul în gol:

- scade după încheietura mâinii;

- continuă scăderea înainte de cot (scădere mai lină);
- după cot creşte destul de mult;
- prezintă tendinţa de scădere la umăr;

■ la mersul în sarcină:

- valori mai mari decât în cazul precedent;
- scade după încheietura mâinii;
- creşte uşor înainte de cot;
- după cot creşte mult;
- la umăr reia tendinţa de scădere.

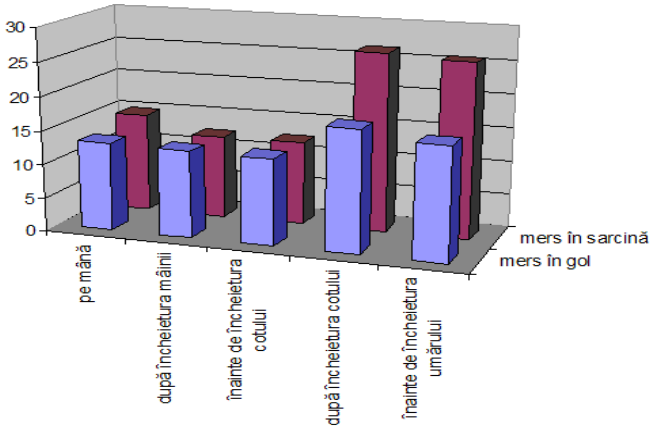

Fig. 4 Variaţia valorilor acceleraţiei RMS

4. Concluzii

■ Putem afirma că acceleraţia RMS suferă atenuări până la nivelul încheieturii cotului. La nivelul acestei încheieturi valoarea numerică a acceleraţiei este mult mai mare, fiind superioară chiar celei obţinute pe mâna operatorului. La nivelul umărului aceasta se atenuează dar are, în continuare, o valoare mai mare decât cea măsurată pe mână.

■ Din analiza tuturor date şi graficelor obţinute pe timpul măsurătorilor reiese faptul că vibraţia produsă de către maşina rotopercutoare este o sumă de vibraţii de diferite frecvenţe şi amplitudini.

■ Aceste vibraţii se transmit, de-a lungul sistemului mână-braţ al operatorului, diferit în funcţie de frecvenţa acestora şi de construcţia biologică a acestui sistem şi anume:

- atenuările apar datorită amortizărilor ce au loc în cadrul sistemului mână-braţ;
- amplificările apar datorită apropierii de frecvenţa proprie a elementelor din compunerea sistemului, respectiv din cauza creşterii mobilităţii acestuia în anumite puncte.

NOTĂ: Această lucrare a beneficiat de suport financiar prin proiectul "*Creşterea calităţii studiilor doctorale în ştiinţe inginereşti pentru sprijinirea dezvoltării societăţii bazate pe cunoaştere*", contract: POSDRU/107/1.5/S/78534, proiect cofinanţat din Fondul Social European prin Programul Operaţional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013.

BIBLIOGRAFIE

[1] Harris, C., M., *Harris' shock and vibration handbook*, ISBN: 0-07-137081-1, 2002.
[2] * * * SR ISO 2631-1:2001, *Evaluarea expunerii umane la vibraţiile globale ale corpului. Partea 1. Condiţii generale*. 2001.
[3] * * * SR ISO 2631-3:1997, *Evaluarea expunerii umane la vibraţii globale verticale ale corpului pe axa z în domeniul de frecvenţă de la 0,1 Hz până la 0,63 Hz.* 1997.
[4] * * * SR EN ISO 5349-1, *Vibraţii mecanice. Măsurarea şi evaluarea expunerii umane la vibraţii transmise prin mână*. Partea 1: Cerinţe generale. 2003.
[5] * * * SR CR 12349: 2000, *Vibraţii mecanice. Ghid pentru efectele vibraţiilor asupra sanatăţii corpului uman*.
[6] * * * SR EN ISO 28927-5, 2010 *Maşini portabile manuale cu motor – Metode de încercare pentru evaluarea emisiei de vibraţii*. Partea 5: Maşini de găurit şi maşini de găurit cu percuţie, 2012.

Drd. Ing. Anamaria BIRIŞ
Drd. Ing. Claudiu Alin GLIGOR
Prof. Dr. Ing. Mariana ARGHIR
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
e-mail: ani_glig@yahoo.com, ro.gilg@yahoo.com, marianaarghir@yahoo.com
telefon: 0264 401759, 0264 401657
membri AGIR