

STUDIUL CONFORTULUI DIN PUNCT DE VEDERE AL TRASMITERII VIBRAȚIILOR ȘOFERILOR DE AUTOMOBILE

Prof. dr. Mihaela PICU, Ing. Ionel POPA
Centrul Regional Interdisciplinar de Cercetare în domeniul Poluării Vibro-Acustice și Calității Ambientale,
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

ABSTRACT This paper studies the automotive drivers' comfort in terms of vibrations transmission. Each person has a different response to whole-body vibration; it depends on the frequency of the vibration, on its acceleration and on the time of exposure. Sperling index was determined for travel comfort. This index was calculated for the measured r.m.s. accelerations: 0.5, 0.8, 1.5, 2 and 2.2 m/s² at the frequencies 4, 6, 16, 31 and 63 Hz. The Sperling index was also calculated for moving vehicles as a function of speed and acceleration. The measurements were made at speeds of 15, 30, 45, 60 and 75 km/h and accelerations of 0.076, 0.275, 0.228, 0.067, 0.22 and 0.198 m/s². Finally we determined the magnitude of vibration perception on Likert scale for moving vehicles, as a function of time. It was found that vibrations may be harmful to drivers who ride for a long period of time. Vibrations perception at frequencies under 20Hz is felt deeper so in order to avoid the negative effects the use of footrests or armrests, the spots through which the vibrations enter the body, is needed.

1. INTRODUCERE

Fiecare persoană are un răspuns diferit la vibrația întregului corp; acesta depinde de frecvența vibrației, de accelerația vibrației și de timpul de expunere (Mansfield, 2005). Conform Organizației de Standardizare Internațională, prin ISO 2631/1:1997÷2631/5:2004 a fost stabilită *Evaluarea expunerii omului la vibrații ale întregului corp* (Griffin, 1990).

Aceste standarde nu sunt suficient de joase deoarece bolile sistemelor muscular și osos apar și în urma expunerii la valori ale vibrațiilor sub nivelul valorilor din standard. Standardul este potrivit doar în cazul oamenilor sănătoși, cu o rutină a vieții normală, care sunt supuși stresului unei zile normale la muncă. Standardul oferă limite numerice pentru expunerea la vibrații transmise de la suprafețe solide către corpul uman, în domeniul de frecvențe 1÷80Hz (Village, 1999).

În cazul oamenilor cu anumite afecțiuni, sub-, sau supraponderali, etc., apar suferințe suplimentare datorate vibrațiilor transmise șoferilor de automobile .

2. DETERMINAREA INDICELUI SPERLING PENTRU CONFORT LA DEPLASARE CONFORM ISO 2631

În vederea micșorării gradului de oboseală în timpul călătoriilor, a fost definit indicele de confort la deplasare a lui Sperling (W_z) (Tab. 1) (Garg și Dukkupati, 1984), (Kim ș.a., 2003).

$$W_z = 10 \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{n_f} W_{Z_i}^{10} \right)} \quad (1)$$

unde n_f este numărul total de frecvențe discrete ale răspunsului accelerației vehiculului identificate de FFT, iar W_{Z_i} este indicele de confort corespunzător celei de-a i frecvență discretă, dată de:

$$W_{Z_i} = 10 \sqrt{a_i^3 B(f_i^2)^3} \quad (2)$$

unde a_i este amplitudinea răspunsului accelerației a celei de-a i frecvență identificată de FFT, iar $B(v_i)$ este un factor de ponderare, dat de:

$$B(v)=k \sqrt{\frac{1,911v^2 + (0,25v^2)^2}{(1 - 0,277v^2)^2 + (1,563v - 0,0368v^3)^2}} \quad (3)$$

unde $k=0,737$ pentru vibrații orizontale și $0,588$ pentru vibrații verticale.

Tabel 1 Scor calculat folosind metoda lui Sperling cu o scară subiectivă a confortului la deplasare

W_z	Confortul subiectiv la deplasare
1	Vibrațiile sunt doar observabile
2	Vibrațiile sunt în mod clar vizibile
2,5	Vibrațiile sunt mai pronunțate, dar nu neplăcute
3	Vibrațiile sunt puternice, dar încă tolerabile
3,25	Vibrațiile sunt foarte neregulate
3,5	Vibrațiile sunt enervante, o expunere prelungită este intolerabilă
4	Vibrațiile sunt extrem de neplăcute, este nocivă o expunere prelungită

3. CALCULUL INDICELUI SPERLING PENTRU VALORI DETERMINATE ALE ACCELERAȚIEI ȘI FRECVENȚEI VIBRAȚIILOR

Determinările WBV în vederea stabilirii percepției șoferilor asupra vibrațiilor transmise s-au făcut folosind sistemul vibrant Vita Fix Trend (Fig. 1) pentru accelerațiile r.m.s. măsurate: 0,5; 0,8; 1,5; 2 și 2,2m/s², la frecvențele de 4; 6; 16, 31 și 63 Hz. Măsurătorile au fost realizate în laboratorul Centrului Regional Interdisciplinar de Cercetare în domeniul Poluării Vibro-Acustice și Calității Ambientale. Folosind relațiile 1-3, au fost calculați indicii de confort la deplasare a lui Sperling.

a) Pentru $v_1=4\text{Hz}$, $a_1=0,5 \text{ m/s}^2$, factorul de ponderare este:

$$B(v_1)=k \sqrt{\frac{1,911 \cdot 16 + 16}{(1 - 0,277 \cdot 16)^2 + (1,563 \cdot 4 - 0,0368 \cdot 64)^2}} = k \cdot 1,0976$$

Pentru vibrațiile orizontale: $B_{O1}=0,8089$

Pentru vibrațiile verticale: $B_{V1}=0,6453$

Indicele de confort pe cele două direcții este:

$$\text{Pentru vibrațiile orizontale: } W_{O1} = \sqrt[10]{a_1^3 B_{O1}^3} = \sqrt[10]{0,5^3 \cdot 0,8089^3} = 0,76218$$

$$\text{Pentru vibrațiile verticale: } W_{V1} = \sqrt[10]{a_1^3 B_{V1}^3} = \sqrt[10]{0,5^3 \cdot 0,6453^3} = 0,71222$$

Atunci indicele de confort la deplasare a lui Sperling va fi:

$$W_{Z1} = \sqrt[10]{0,76218^{10} + 0,71222^{10}} = 0,79412$$

b) Pentru $v_2=6\text{Hz}$, $a_2=0,8 \text{ m/s}^2$, factorul de ponderare este:

$$B(v_2)=k \sqrt{\frac{1,911 \cdot 36 + 81}{(1 - 0,277 \cdot 36)^2 + (1,563 \cdot 6 - 0,0368 \cdot 216)^2}} = k \cdot 1,3471$$

Pentru vibrațiile orizontale: $B_{O2}=0,9928$

Pentru vibrațiile verticale: $B_{V2}=0,7920$

Indicele de confort pe cele două direcții este:

$$\text{Pentru vibrațiile orizontale: } W_{O2} = \sqrt[10]{a_2^3 B_{O2}^3} = \sqrt[10]{0,8^3 \cdot 0,9928^3} = 0,9332$$

$$\text{Pentru vibrațiile verticale: } W_{V2} = \sqrt[10]{a_2^3 B_{V2}^3} = \sqrt[10]{0,8^3 \cdot 0,792^3} = 0,8720$$

Atunci indicele de confort la deplasare a lui Sperling va fi:

$$W_{Z2} = \sqrt[10]{0,9332^{10} + 0,872^{10}} = 0,97229$$

c) Pentru $v_3=16\text{Hz}$, $a_3=1,5\text{ m/s}^2$, factorul de ponderare este:

$$B(v_3)=k \sqrt{\frac{1,911 \cdot 256 + 64}{(1 - 0,277 \cdot 256)^2 + (1,563 \cdot 16 - 0,0368 \cdot 4096)^2}} = k \cdot 1,9557$$

Pentru vibrațiile orizontale: $B_{O3}=1,6142$

Pentru vibrațiile verticale: $B_{V3}=1,2620$

Indicele de confort pe cele două direcții este:

$$\text{Pentru vibrațiile orizontale: } W_{O3} = \sqrt[10]{a_3^3 B_{O3}^3} = \sqrt[10]{1,5^3 \cdot 1,6142^3} = 1,9535$$

$$\text{Pentru vibrațiile verticale: } W_{V3} = \sqrt[10]{a_1^3 B_{V3}^3} = \sqrt[10]{1,5^3 \cdot 1,262^3} = 1,67834$$

Atunci indicele de confort la deplasare a lui Sperling va fi:

$$W_{Z3} = \sqrt[10]{14,1953^{10} + 6,7834^{10}} = 1,8549$$

d) Pentru $v_4=31\text{Hz}$, $a_4=2\text{m/s}^2$, factorul de ponderare este:

$$B(v_4)=k \sqrt{\frac{1,911 \cdot 961 + 240,25}{(1 - 0,277 \cdot 961)^2 + (1,563 \cdot 31 - 0,0368 \cdot 29791)^2}} = k \cdot 3,2395$$

Pentru vibrațiile orizontale: $B_{O4}=2,3875$

Pentru vibrațiile verticale: $B_{V4}=1,9048$

Indicele de confort pe cele două direcții este:

$$\text{Pentru vibrațiile orizontale: } W_{O4} = \sqrt[10]{a_4^3 B_{O4}^3} = \sqrt[10]{1,5^3 \cdot 2,3875^3} = 2,5930$$

$$\text{Pentru vibrațiile verticale: } W_{V4} = \sqrt[10]{a_4^3 B_{V4}^3} = \sqrt[10]{1,5^3 \cdot 1,9048^3} = 2,1222$$

Atunci indicele de confort la deplasare a lui Sperling va fi:

$$W_{Z4} = \sqrt[10]{0,76218^{10} + 0,71222^{10}} = 2,4122$$

e) Pentru $v_5=63\text{Hz}$, $a_5=2,2\text{ m/s}^2$, factorul de ponderare este:

$$B(v_5)=k \sqrt{\frac{1,911 \cdot 3969 + 992,25}{(1 - 0,277 \cdot 3969)^2 + (1,563 \cdot 63 - 0,0368 \cdot 250047)^2}} = k \cdot 5,1093$$

Pentru vibrațiile orizontale: $B_{O5}=3,7655$

Pentru vibrațiile verticale: $B_{V5}=3,0042$

Indicele de confort pe cele două direcții este:

Pentru vibrațiile orizontale:

$$W_{O5} = \sqrt[10]{a_5^3 B_{O5}^3} = \sqrt[10]{2,2^3 \cdot 3,7655^3} = 3,87$$

25

Pentru vibrațiile verticale:

$$W_{V5} = \sqrt[10]{a_5^3 B_{V5}^3} = \sqrt[10]{2,2^3 \cdot 3,0042^3} = 3,60$$

55

Atunci indicele de confort la deplasare a lui Sperling va fi:

$$W_{Z5} = \sqrt[10]{3,8725^{10} + 3,6055^{10}} = 3,7041$$

Din Fig. 1 se vede că, pentru accelerațiile r.m.s. măsurate: 0,5; 0,8; 1,5; 2 și 2,2m/s², la frecvențele de 4; 6; 16, 31 și 63 Hz, indicele Sperling $W_Z \in (0,8-3,7)$; conform Tab. 1, se constată că au fost acoperite toate valorile indicelui Sperling, de la vibrații doar observabile,

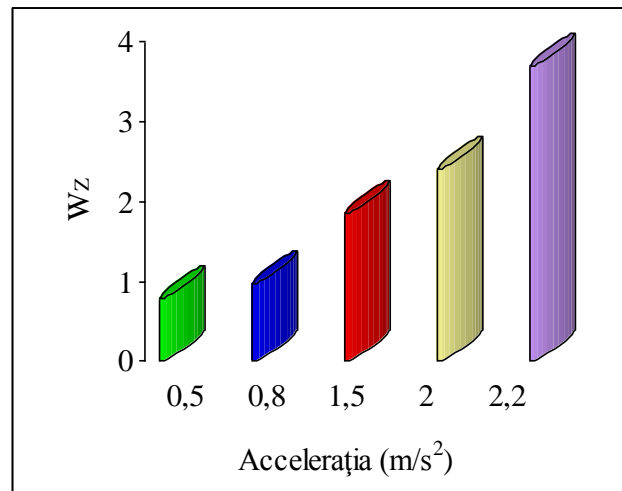


Fig. 1 Indicele Sperling pentru valori determinate ale accelerației și frecvenței vibrațiilor
■ – 4 Hz; ■ – 6 Hz; ■ – 16 Hz; ■ – 31 Hz; ■ – 63 Hz

până la vibrații extrem de neplăcute.

4. CALCULUL INDICELUI SPERLING LA DEPLASAREA AUTOMOBILELOR, CA FUNCȚIE DE VITEZĂ ȘI ACCELERAȚIE

În această situație, măsurătorile au fost realizate în teren, cu 10 șoferi, cu 10 automobile. Determinările au fost făcute la vitezele de 15; 30; 45; 60 și 75 km/h și la accelerațiile de 0,076; 0,275; 0,228; 0,067; 0,22 și 0,198 m/s². Rezultatele sunt prezentate în Fig. 2 și 3.

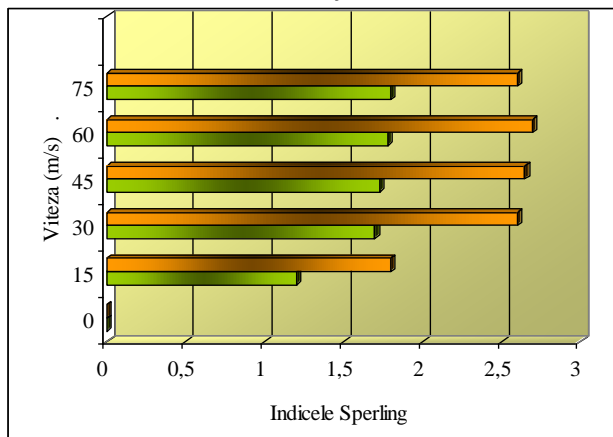


Fig. 2 Indicele Sperling funcție de viteza automobilelor
■ – Asfalt; ■ - Macadam

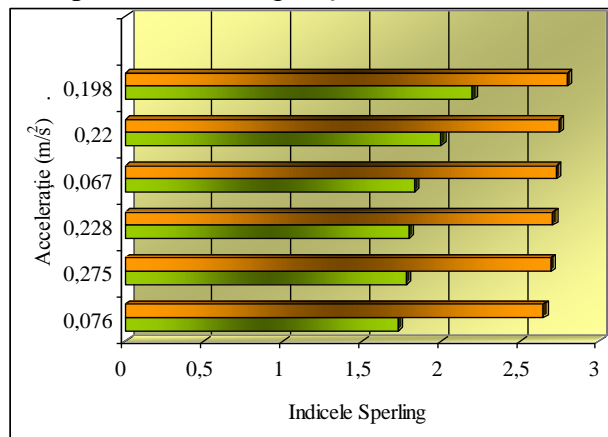


Fig. 3 Indicele Sperling funcție de accelerația automobilelor
■ – Asfalt; ■ – Macadam

Din Fig. 2 și 3 se constată că cea mai mare valoare a W_z este 2,7, la viteza de 60km/h și de 2,8, la accelerația de 0,198m/s². Conform scorului calculat folosind metoda lui Sperling (Tab. 1), aceste valori se înscriu în zona: „Vibrațiile sunt mai pronunțate, dar nu neplăcute” și „Vibrațiile sunt puternice, dar încă tolerabile”, ceea ce înseamnă că se confirmă faptul că șoferii nu lucrează întotdeauna în condiții de siguranță și sunt expuși uneori la vibrații puternice.

Analizând cele două dependențe ale indicelui Sperling funcție de viteza și de accelerația automobilelor, se poate face o estimare a modului în care variază acest indice:

- estimarea indicelui Sperling W_z funcție de viteza automobilelor

■ Asfalt $W_z=0,0319v^3-0,4811v^2+2,3334v-1,8557$ ($R^2=0,9924$) (4)

■ Macadam $W_z=0,0481v^3-0,7356v^2+3,5842v-2,8671$ ($R^2=0,9954$) (5)

- estimarea indicelui Sperling W_z funcție de accelerația automobilelor

■ Asfalt $W_z=0,024a^2-0,0819a+1,811$ ($R^2=0,9754$) (6)

■ Macadam $W_z=0,0007a^2+0,0213a+2,638$ ($R^2=0,9511$) (7)

În mod uzual, interpretările în cazul automobilelor, se fac în funcție de viteza acestora, și mai puțin în funcție de accelerație. Din acest motiv, a fost aleasă doar varianta estimării indicelui Sperling W_z funcție de viteza automobilelor, pentru a constata la ce valori ale vitezei, indicele capătă valori mari.

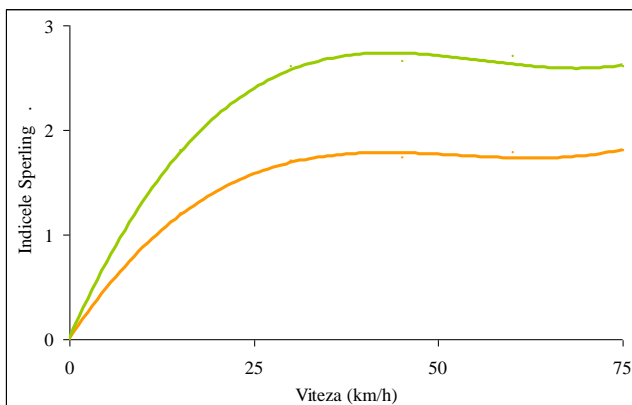


Fig. 4 Estimarea indicelui Sperling funcție de viteză
■ – Asfalt; ■ – Macadam

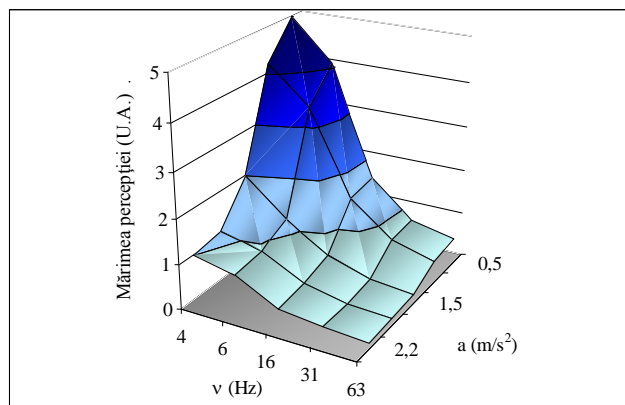


Fig. 5 Mărirea percepției față de vibrațiile transmise de sistemul vibrant Vita Fix Trend

○ – 0÷1 U.A.; □ – 1÷2 U.A.; ■ – 2÷3 U.A.;
 ■ – 3÷4 U.A.; ■ – 4÷5 U.A.

Din Fig. 4 se vede că maximul valorilor indicelui Sperling se obține pentru intervalul 45-75 km/h, deci maximul disconfortului se regăsește în această plajă de valori a vitezelor. Explicația ar putea rezulta din faptul că, după un anumit prag al vitezei, implicit al vibrațiilor, organismul începe să se obișnuiască, adică să nu mai perceapă cu aceeași intensitate, eventualul disconfort.

5. DETERMINAREA MĂRIMII PERCEPȚIEI VIBRAȚIILOR PE SCALA LIKERT LA DEPLASAREA AUTOMOBILELOR, CA FUNCȚIE DE TIMP

Mărimea percepției a fost evaluată cu scala Likert (în unități arbitrare U.A. de la 1-5).

	Nedetectabil	Slab	Moderat	Puternic	Foarte puternic
Evaluarea	1	2	3	4	5

Evaluările s-au făcut în două cazuri: a) în laborator, în teren

a) În această situație, estimările au fost realizate în laborator, cu vibrațiile generate de sistemul Vita Fix Trend. Determinările au fost făcute pentru $a_{r.m.s.}$ măsurate: 0,5; 0,8; 1,5; 2 și 2,2m/s², la frecvențele de 4; 6; 16; 31 și 63 Hz, pentru timpi de vibrație de 10 min. Rezultatele sunt prezentate în Fig. 5, de unde se vede că percepția a fost cea mai intensă la valori mici ale frecvențe și accelerației, ceea ce confirmă faptul că frecvența de 4Hz este frecvența de rezonanță a corpului.

b) În această situație, estimările au fost realizate în teren, cu 10 șoferi, cu 10 automobile cu timp de mers cuprins între 10÷100 min. Rezultatele sunt prezentate în Fig. 6.

În acest caz, șoferii au avut estimări total diferite de cele întâlnite în cazurile anterioare, în care timpul de mers era de 5-10 min.

Majoritatea șoferilor nu au simțit nimic tot timpul experimentului; ceilalți au putut spune că percep vibrațiile, abia după 60 min de mers, dar mărimea acestei percepții este extrem de mică și s-ar putea datora faptului că știau că se află sub observație și că trebuie să răspundă la chestionar.

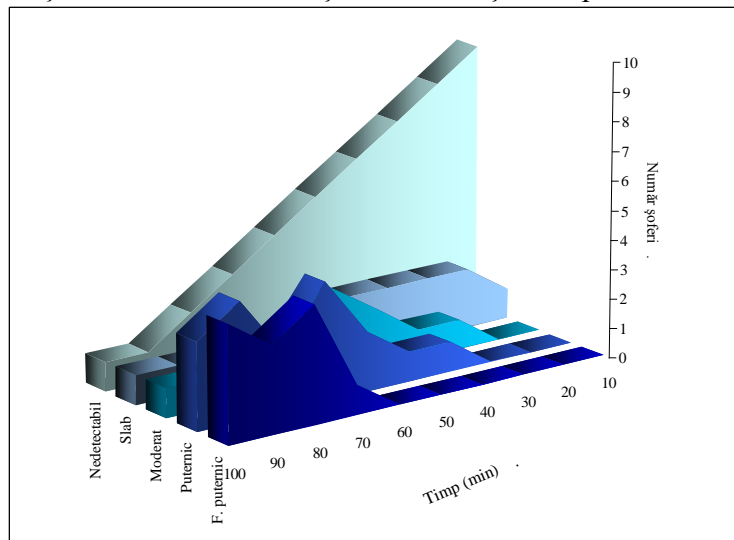


Fig. 6 Estimarea vibrațiilor

○ Nedetectabil, □ Slab, ■ Moderat,
 ■ Puternic, ■ Foarte puternic

Analizând cele două dependențe ale percepției disconfortului ca funcție de accelerația și frecvența vibrațiilor, se poate face o estimare a modului în care variază această percepție:

	Accelerația (m/s ²)	Intensitatea percepției (I.P.)		
○ Nedetectabil	0,04	I.P. = -0,2949·lnv + 1,251	(R ² = 0,9870)	(8)
□ Slab	0,06	I.P. = -0,40781·lnv + 1,7378	(R ² = 0,9702)	(9)
■ Moderat	0,16	I.P. = -0,8067·lnv + 3,5106	(R ² = 0,9980)	(10)
■ Puternic	0,25	I.P. = -0,9723·lnv + 4,7468	(R ² = 0,9796)	(11)
■ Foarte puternic	0,40	I.P. = -1,3187·lnv + 6,4466	(R ² = 0,9955)	(12)

Dacă se face o mediere a acestor dependențe, se obține:

$$I.P. = -0,5213 \cdot \ln v + 2,358 \quad (R^2 = 0,9857) \quad (13)$$

Această mediere poate ajuta la determinarea modului în care se percep vibrațiile: pentru frecvențe mai mari sau egale cu 25 Hz, acestea nu mai sunt considerate deranjante pentru șofer.

6. CONCLUZII

S-a constatat că vibrațiile pot fi dăunătoare persoanelor care lucrează într-un astfel de mediu, deci și șoferilor care conduc o lungă perioadă de timp; percepția vibrațiilor pe cele 3 direcții se face în mod diferit (Bratu, 1982). 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 (Cherian, 1990).

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 (Morioka și Griffin, 2008).

7. BIBLIOGRAFIE

- [1] Bratu, P., Izolarea și amortizarea vibrațiilor la utilaje de construcții, *Editura Institutul de Cercetări în Construcții și Economia Construcțiilor*, București, 1982.
- [2] Cherian, T., Characteristics of vibration transmission in the hand–arm system, *Biosystems Engineering*, Vol. 100, Issue 4, 535-546, 1990.
- [3] Garg, V.K. și Dukkipati, R.V., Dynamics of railway vehicle systems. London: *Academic Press Inc. Ltd.*, 1984.
- [4] Griffin, M.J., Handbook of Human Vibration, San Diego CA: *Academic Press Inc*, 1990.
- [5] Kim, Y.G., Kwon, H.B., Kim, S.W., Park, C.K. și Park, T.W., Correlation of ride comfort evaluation methods for railway vehicles. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F - Journal of Rail and Rapid Transit*, 217(2), 73-88, 2003.
- [6] Mansfield, N.J., *Human response to vibration*, CRC Press, 2005.
- [7] Morioka, M. și Griffin, M.J., Thresholds for perception of fore-and-aft, lateral and vertical vibration by seated persons, *Acoustics 08*, June 29-July 4, Paris, 2008.
- [8] Village, J., Morrison, J. B. și Leong, D. K., Whole-body vibration in underground load-haul-dump vehicles. *Ergonomics*, 32(10), 1167-1183, 1999.