



A XIX-a Conferință internațională – multidisciplinară  
„Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești”,  
CLUJ NAPOCA, 2019

## **STUDIUL VIBRAȚIILOR CU SCOPUL DE A RECUPERA ENERGIE DE PE CĂILE DE RULARE ALE AUTOVEHICULELOR**

Edmond-Attila KELEMEN

### **STUDY OF THE VIBRATIONS IN ORDER TO HARVEST LOW-LEVEL ENERGY FROM ROADS**

Scientists have developed different technologies for generating electricity, but in most cases, this is achieved by using fossil fuels that can have a detrimental effect on human health and the whole ecosystem, which means global warming and changing climatic and biological balances. To avoid this, we must solve the reduction of the use of fossil fuels and find new methods of generating electricity similar to photovoltaic and wind technologies. Piezoelectric energy harvesting technology has significant advantages over other renewable energy sources such as solar or wind. Using the pressure of vehicles over the road caused by gravity, the method generates electric energy from the deformations of the paving. Although recent research projects have paid attention to this energy harvesting technology, only a few studies have been conducted on-site to determine its feasibility and economic competitiveness. No data are available about how this was realized. Therefore, it is necessary to develop a research framework that enables assessment of the technology of piezoelectric materials for this purpose.

**Keywords:** vibrations, energy harvesting, piezoelectric, electrical energy, roads

**Cuvinte cheie:** vibrații, recuperare de energie, piezoelectric, energie electrică, căi de rulare

## 1. Introducere

Tehnologia piezo este o nouă abordare de a genera energie electrică. Practic, funcționează pe principiul de efect piezoelectric, în care aplicând o presiune pe material, aceasta generează electricitate.

Energia de joasă amplitudine reprezintă o energie care de multe ori nu este luată în considerare, deși există în toate acțiunile desfășurate în viața oamenilor de zi cu zi. Captarea energiei de joasă amplitudine este una dintre cele mai promițătoare tehnici de rezolvare a problemelor energetice globale fără a utiliza resursele naturale. Tehnologiile de recoltare a energiei la nivelul drumurilor reprezintă un nou teritoriu de cercetare care cuprinde: tehnologia de captare a energiilor risipite sau a vibrațiilor care se produce la nivelul drumurilor, acumularea, și stocarea acestora ptr. a putea fi utilizate ulterior [2].

## 2. Stadiul actual al realizărilor și cercetărilor în domeniul temei

Efectul piezoelectric se poate folosi în mai multe aplicații cum ar fi: generare sau detectare de sunete, generare de tensiuni înalte, generare de frecvență electronică, dar cel mai important din punct de vedere a acestei lucrări este că materialele piezoelectrice se pot folosi la convertirea vibrațiilor ambientale în electricitate [3].

Un doctorand la Institutul Politehnic din Virginia pe nume Xiong Haocheng a fabricat mai multe dispozitive de recoltare de energie pe bază de materiale piezoelectrice, care au fost integrate în asfalt la Troutville. La un volum de 4.000 de vehicule pe zi (aproximativ 167 vehicule/oră), cel mai eficient sistem genera o tensiune cuprinsă între 400 și 700 V, și curent electric între 0,2 și 0,35 mA. Puterea corespunzătoare a acestui sistem era între 0,08 și 2,1 W [4].

Patru studenți de la Universitatea Enna Kore din Italia au inventat un dispozitiv având scopul de a recupera energie din vibrațiile produse atât de traficul de vehicule cât și de trenuri pe căi ferate sau de pietoni pe trotuare. În structura dispozitivului, elementul principal este o lamelă piezoelectrică incorporată într-o carcasă și integrată în drum/trotuar așa cum se vede în figura 1.

Pe lamela piezoelectrică este așezată o masă, care să creeze vibrațiile necesare lamelei când dispozitivul este supus unei oscilații (datorite arcurilor de sub acesta), create de vehicule/ pietoni călcând pe partea superioară a dispozitivului. Acest dispozitiv are avantajul că se poate modifica frecvența de oscilație a lamelei prin modificarea greutatei de pe lamelă sau prin modificarea rigidității arcurilor [1].

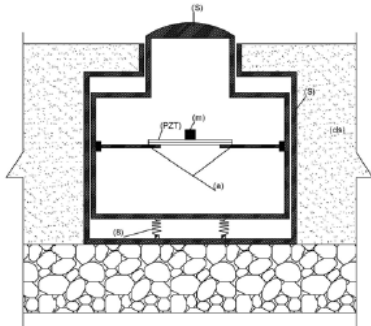


Fig.1 Dispozitiv studiat [1]

### 3. Proiectarea și realizarea unui sistem de captare a energiei mecanice de mică amplitudine (vibrații)

În cadrul acestui capitol se prezintă rezultatele și modul în care acestea au fost obținute. Se urmărește înregistrarea forței cu care o bilă acționează asupra unui material piezoelectric din care se va obține curentul  $I$  și tensiunea  $U$  generat cu ajutorul unui sistem de achiziționare de date Spider8 și cu softwareul folosit CatmanEasy din care va rezulta energia electrică.

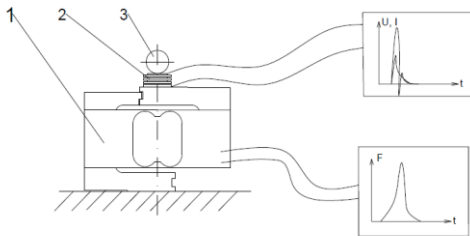


Fig. 2 Principiul de extragere a datelor

- 1- Traductor de forță
- 2- Traductor piezoelectric
- 3- bilă

#### 3.1 Alegerea traductorului piezoelectric

În conformitate cu cele precizate mai sus, în scopul conversiei vibrațiilor în energie electrică este necesar a se utiliza un traductor piezoceramic (piezoelectric).

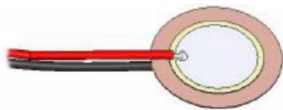


Fig. 3 Element piezoelectric

Elementele piezoelectrice asemănătoare cu cel prezentat în figura 3 sunt cele mai frecvent utilizate în aplicații de captare a vibrațiilor datorită capacității lor de a rezista la deformații mari și datorită acestui fapt, vibrația poate avea amplitudine mai mare, rezultând mai multă energie electrică. Pe de altă parte, au o grosime redusă ceea ce permite legarea a mai multor elemente în paralel fără să ocupe prea mult loc. Acest lucru are avantajul că dacă un element se deteriorează, sistemul poate genera energie în continuare.

## 3.2 Dispozitivul de prindere a traductoarelor piezoelectrice

Ținând cont de forma și dimensiunea traductorului piezoelectric alături de modalitatea de conectare a discurilor din punct de vedere electric, avem nevoie de un dispozitiv de prindere și fixare a acestora. Acesta este necesar să fixeze discurile printr-un ajustaj cu joc mic și să permită realizarea conexiunilor electrice și cel mai important să transmită uniform încărcarea mecanică din partea bilei.

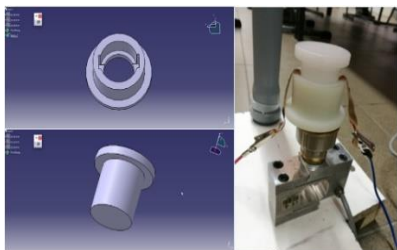


Fig. 4 Dispozitivul de prindere a elementelor piezoelectrice

În prima fază dispozitivul de prindere a fost dimensionată după dimensiunile discurilor piezoelectrice cu ajutorul programului CATIA V5 după care a fost realizat pe strung din poliamidă. A fost ales acest material deoarece are caracteristici mecanice și chimice excelente cu ar fi: rezistență mecanică superioară, rezistență la oboseală, rezistență la uzură, rigiditate, duritate, proprietăți bune de alunecare, bun izolator electric. Poliamida are toate proprietățile necesare pentru a putea fi realizat din ea un dispozitiv care urmează să fie integrat în structura drumurilor peste care trec vehicule cu diferite mase și produc impulsuri imense asupra acestuia. În plus, se prelucrează ușor, ceea ce a fost încă un avantaj, deoarece semifabricatul a fost prelucrat pe strung.

## 3.3 Alegerea echipamentelor pentru înregistrarea datelor

### 3.3.1 Alegerea traductorului de forță

Pentru măsurarea impactului generat de bilă asupra dispozitivului de prindere a discurilor piezoelectrice s-a utilizat un traductor de forță S2 de la HBM.



Fig. 5 Traductor de forță [6]

Traductorul de forță S2 măsoară forțele de tracțiune și compresiune și poate fi utilizat pentru o mare varietate de aplicații statice și dinamice de măsurare. Măsoară foarte precis chiar și forțele mici (cea mai mică forță la care măsoară cu bune precizie (dat de producător)

este de 10 N [6], dar în urma măsurătorilor efectuate s-a dovedit util și la măsurarea greutateașilor de ordinul gramelor), și returnează rezultate extrem de fiabil.

Acest traductor de forță este necesară pentru a măsura impulsul generat de o masă, care în cazul de față a fost o bilă de aproximativ 30 g cu care a fost simulat impactul generat de pneul unui autovehicul și vibrațiile cauzate de acesta, ca ulterior să se poată analiza energia electrică generată în funcție de energia mecanică aplicată.

### 3.3.2 Alegerea sistemului de achiziție de date



#### a) Hardware

Fig. 6 Aparatul Spider 8 [6]

Aparatul folosit pentru achiziționarea de date este un Spider 8 de la HBM [6] care este un sistem electronic complex capabil de achiziție și prelucrare de date, având 8 canale de intrare active. Funcționează cu traductori inductivi sau rezistivi (sau alte tipuri) și permite înregistrarea și prelucrarea diferitelor mărimi de natură mecanică (ca: forță, deplasare, deformații specifice, temperatură, presiune) sau electrică. Prin echiparea cu traductori adecvați poate îndeplini și alte sarcini [38].

**b) Aplicația software.** Programul software folosit pentru achiziționarea datelor a fost CatmanEasy V3.3.5. Software-ul de achiziție de date Catman permite vizualizarea, analiza și stocarea datelor în timp real. Pe lângă capacitatea de a stoca rezultatele în diferite formate, și posibilitatea prelucrării în timp real a rezultatelor sub formă grafică sau prin aplicarea unor anumite funcții de transformare.

### 3.4 Realizarea standului de lansare și ghidare a bilei

În scopul asigurării preciziei de lansare de la înălțimea dorită și a preciziei lovirii a dispozitivului de fixare a elementelor piezoelectrice și în același poziție de către bilă, s-a trecut la proiectarea unui dispozitiv, care să permită ghidarea și lansarea bilei. Sistemul de ghidare și lansare a bilei a fost realizat din tuburi PVC care au un diametru interior cu aproximativ 2 mm mai mare decât diametrul exterior a bilei. În figura 7 este reprezentat întregul sistem.

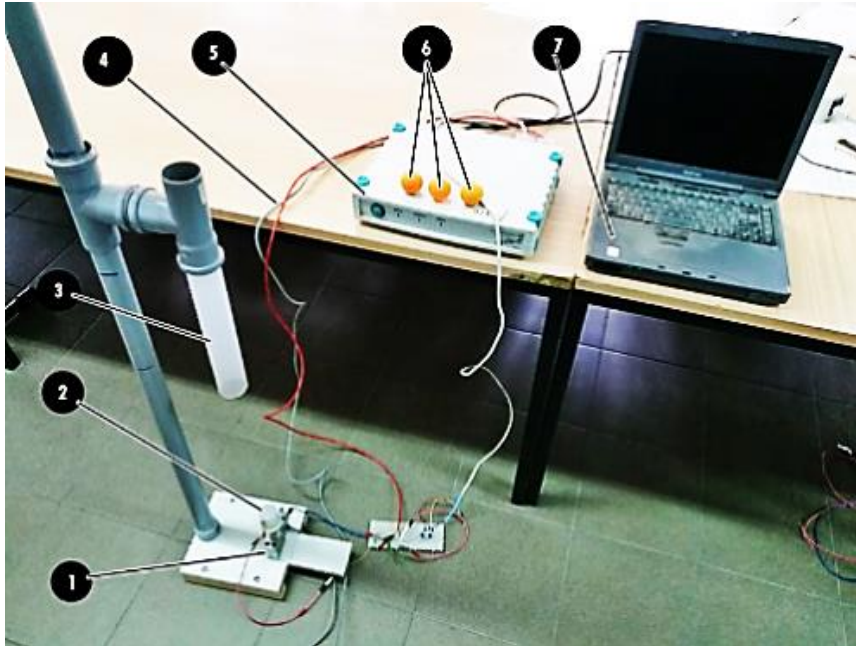


Fig. 7 Sistemul de monitorizare și achiziție de date experimentale  
 1-traductor de forță, 2- Dispozitiv de prindere, 3-Stad pentru ghidarea bilei, 5- Sistem de achiziție de date Spider8, 6-Bile, 7-Unitate Pc pentru analiza datelor experimentale

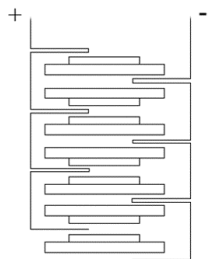
#### 4. Încercări experimentale

Încercările experimentale constau din lansarea unei bile cu greutate de 33,734 g de la o înălțime de 0,4 m peste dispozitivul special în care se află discurile piezoelectrice, și sub care este și traductorul de forță pentru a măsura mărimea impulsului forței, respectiv a tensiunii și a curentului generat de elementele piezoelectrice.

##### 4.1. Principiul de lucru

Au fost efectuate încercări cu elemente piezoelectrice legate în paralel și în serie dar din cauza faptului că la elemente legate în serie se obține numai tensiune mare, nu și curent, și pentru că dispozitivul de înregistrare a datelor Spider8

Fig. 8 Mod de legare



limitează valoarea maximă a tensiunii la 13 V, valorile experimentului în cazul elementelor legate în serie nu vor fi prezentate.

În figura 8 este reprezentată modul de conexiune a elementelor piezoelectrice în paralel. Au fost realizate măsurători cu 1 disc piezoelectric, și cu 2 până la 7 discuri legate în paralel după următorul circuit electric:

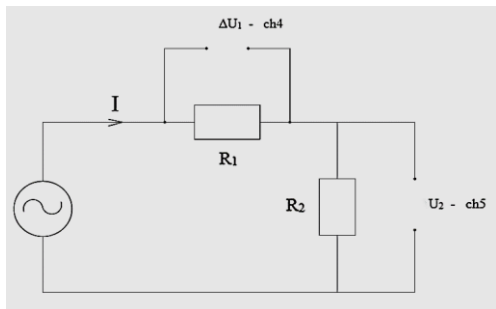


Fig. 9 Circuitul electric în cazul elementelor piezoelectrice legate în paralel

- $R_1=2.0833 \ \Omega$  – rezistor
- $R_2=5.6 \text{ k}\Omega$  – rezistor
- $U=U_2$  – tensiune
- $I= \frac{\Delta U_1}{R_1}$  – curentul
- $P=U \cdot I$  – putere electrică
- $E_{el}=P \cdot t$  – energia electrică

Cu ajutorul softwareului CatmanEasy au fost înregistrate semnalele reprezentate în figura 10 în care se observă caracterul capacitiv a senzorilor utilizați dar și vibrațiile produse de bilă în momentul impactului din alura semnalului forței.

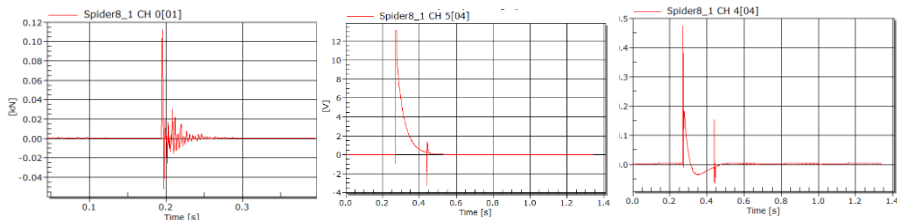
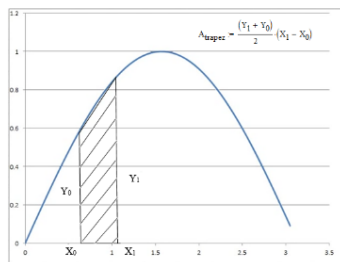


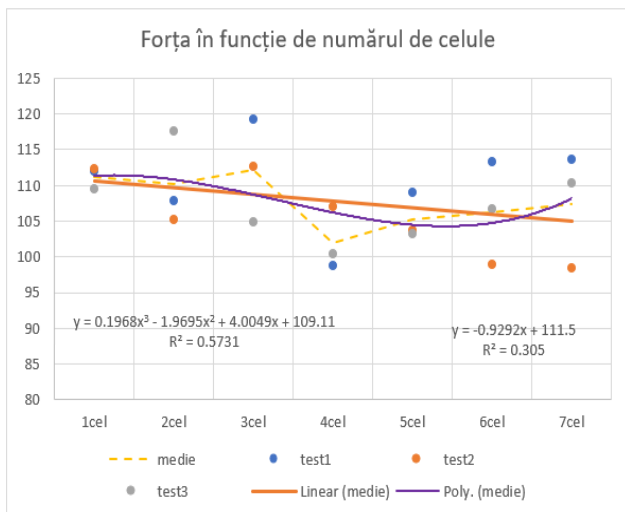
Fig. 10 Alura semnalului a) forței, b) curentului, c) tensiunii

Fig. 11 Modul de calcul a ariei de sub curbă

Calculul energiilor din semnale a fost realizat prin împărțirea ariei semnalului în trapeze și calculat suma tuturor ariilor acestora (figura 11) cu ajutorului softwareului Microsoft Excel. În cazul impulsului, aria de sub curbă a și rezultat energia mecanică. Energia electrică a fost calculată prin calculul curentului și a tensiunii și prin înmulțirea acestora cu ajutorul



softwareului CatmanEasy a rezultat puterea electrică ca fiind tot un semnal, iar aria de sub acest semnal a rezultat energia electrică.



## 4.2 Interpretarea rezultatelor

Fig.12 Graficul de variație a forței în funcție de numărul de celule

În urma încercărilor experimentale au fost extrase mai multe informații pe baza căreia s-au obținut rezultate prezente

mai jos pentru forță/ vibrații, putere electrică și energie electrică.

**Forță [N].** În figura 12 se poate observa o tendință de scădere a forței măsurate la traductorul de forță dacă creștem numărul de elemente

piezoelectrice. Acest lucru se datorează faptului, că datorită benzii de cupru cu care celulele au fost conectate în paralel, apare o mică distanță între acestea,

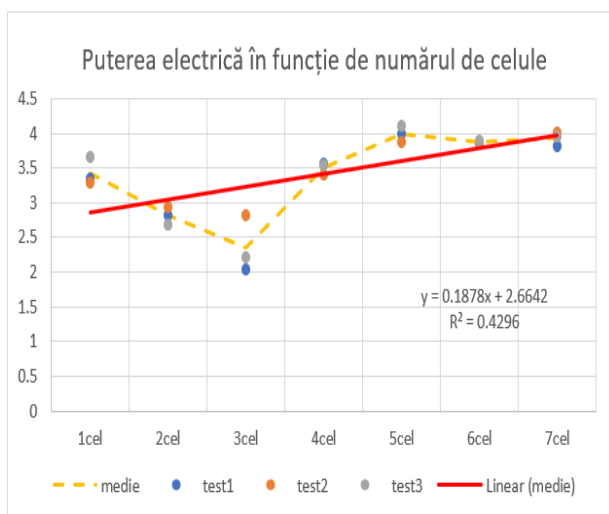


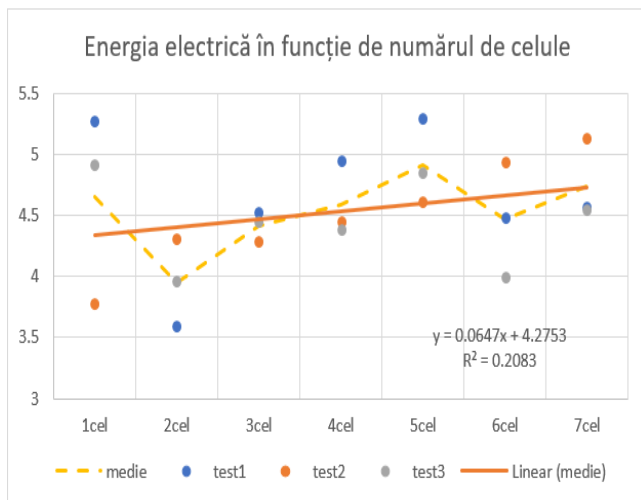
Fig. 13 Tendința de creștere a puterii electrice în funcție de numărul de celule



cea ce amortizează forța aplicată asupra acestora.

Se observă tendința (cu linie continuă roșie), cea așteptată, însă aceasta variantă are valoarea de încredere  $R^2$  doar 30,5 %, timp ce cealaltă (polinomială de ordinul 3 reprezentată cu linie continuă mov) are o valoare de încredere mai mare. Aceasta conduce la concluzia, că este o sursă de erori în cadrul încercărilor experimentale realizate, fie în cadrul măsurătorilor, fie în cadrul sistemului mecanic.

**Puterea electrică [W].** Variația puterii electrice corespunde așteptărilor, deoarece cu creșterea numărului de elemente piezoelectrice aceasta are o tendință de creștere.



### Energia electrică [mWh]

Fig. 14 Graficul de variație a energiei electrice în funcție de numărul de celule

La fel și la energia electrică, unde este remarcabil faptul că a fost obținută o

cantitate de energie electrică de maxim 5,3 mWh și media fiind 4,7 mWh.

## 4.2 Calculul teoretic a energiei necesare pentru iluminarea unui indicator rutier

În cele ce urmează va fi discutată cantitatea necesară de energie electrică pentru un panou (indicator) rutier și suprafața necesară pe calea de rulare pe care trebuie montate dispozitivele de captare a energiei mecanice pentru transformarea acestuia în energie electrică în scopul de a distribui cantitatea necesară de energie electrică pentru a ilumina acel indicator rutier.

Se alege indicatorul rutier reprezentat în figura 15 cu următoarele caracteristici: 3x  $\phi 70$  lămpi, 3x30 LEDs, consum de energie 5 kWh/lună.



Fig. 15 Indicator rutier [5]

Conform unor date înregistrate [7], pe intrarea vestică din orașul Cluj-Napoca (Calea Florești, la vest de nodul N), se înregistrează în fiecare zi lucrătoare 58.660 vehicule (2 bande/sens). Se consideră că 75 % dintre șoferi aleg banda a 2-a de circulație, rezultând 43.995 de vehicule.

Dacă se consideră: lățimea unei benzi de circulație fiind 3,5 m standard pentru un drum național european cu 4 benzi de circulație, iar diametrul unui dispozitiv de prindere a elementelor piezoelectrice este de 0,047 m, lățimea petei de contact 0,195 m iar lungimea 0,125 m pentru un pneu cu dimensiuni 195/50R15 -> un autovehiculul cu 2 axe va apăsa în medie 36 de dispozitive dacă aranjarea dispozitivelor pe drum este conform figurii 16.

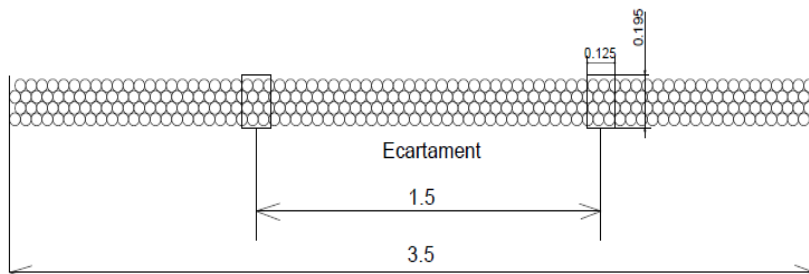


Fig. 16 Schița de amplasare a dispozitivelor

Se consideră aceeași energie electrică generată de fiecare dispozitiv (7 elemente piezoelectrice legate în paralel generează în medie 0.0047 Wh).

Făcând calculele, rezultă: 32 (dispozitive apășate de un vehicul cu 2 axe) x 0,0047 Wh x 43.995 (vehicule/zi/banda a doua) = 6616,848 Wh/zi

6616,848 x 20 (zile lucrătoare) = 132336,96 Wh/lună = 132,336 kWh/lună

**Observație:** Cu această energie se poate alimenta nu un indicator rutier, ci 26.

Valoarea rezultată este pentru o încărcare de aproximativ 30 g, nu pentru cazul estimat a unui autovehicul, care oferă o încărcare dinamică pe o roată de  $0,85 \cdot 300 = 255$  kg, cazul unui autovehicul cu o masă medie de 1200 kg.

## 5. Concluzii

- Pe baza rezultatelor obținute, metoda s-a dovedit funcțională
- Metoda piezoelectric este o sursă alternativă de energie la nivelul drumurilor unde asigurarea energiei electrice nu este posibilă sau este costisitoare și nu se merită.
- Deși calculând randamentul eficienței sistemului asta rezultă o valoare medie de aproximativ 1 %, cantitatea de energie obținută prin amplasarea în modul reprezentat mai sus a dispozitivelor piezoelectrice pe calea de rulare a autovehiculelor rezultă a cantitate neașteptat de mare de energie electrică.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Antonio Messineo, Andrea Alaimo, Mario Denaro, Dario Ticali. *Piezoelectric bender transducers for energy harvesting applications*. Engineering and Architecture Faculty, University of Enna Kore, Cittadella Universitaria, Enna, 94100, Italy.
- [2] Cook-Chennault K.A., Thambi N., Sastry A.M., *Powering MEMS portable devices—a review of non-regenerative and regenerative power supply systems with emphasis on piezoelectric energy harvesting systems*. Smart Mater. Struct. 17, 043001 (2008)
- [3] Priya S., *Advances in energy harvesting using low profile piezoelectric transducers*. J.Electroceram. 19, 167–184 (2007)
- [4] Xiong, H. (2014). “*Piezoelectric Energy Harvesting for Public Roadways*”. Dissertation submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Civil Engineering, December.
- [5] \* \* \* Alternative Pure Energy, <http://alternativepureenergy.ro>

- [6] \* \* \* HBM, <https://www.hbm.com/en/>  
[7] \* \* \* Tehnocultura SciCast, <https://tehnocultura.ro>

Edmond-Attila KELEMEN  
Departamentul de Autovehicule Rutiere și Transporturi,  
Facultatea de Autovehicule Rutiere, Mecanică și Mecatronică,  
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca  
e-mail: kelemenedmond@yahoo.com