



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2016 00646**

(22) Data de depozit: **15/09/2016**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **28/06/2024** BOPI nr. **6/2024**

(41) Data publicării cererii:
30/03/2018 BOPI nr. **3/2018**

(73) Titular:
• **UNIVERSITATEA NAȚIONALĂ DE ȘTIINȚĂ ȘI TEHNOLOGIE POLITEHNICĂ BUCUREȘTI, SPLAIUL INDEPENDENȚEI NR.313, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO**

(72) Inventatori:
• **PREDOI MIHAI VALENTIN, CALEA PLEVNEI NR. 94, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **PETRE CRISTIAN CĂTĂLIN, STR. BRUXELLES NR. 19A, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO;**

• **CRAIFĂLEANU ANDREI, STR. P.I.CEAIKOVSKI NR. 1, SC. A, ET. 2, AP. 8, SECTOR 2, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **BOIANGIU MIHAI, BD. BUȚUREȘTII NOI NR. 76, BL. A12, SC. B, AP. 74, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **VASILE OVIDIU, ALEEA MASA TĂCERII NR. 2, BL. A, ET. 3, AP. 43, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
GB 1504083 (A); US 3352376 (A); US 2649550 (A)

(54) **DISPOZITIV DE ADAPTARE A TRADUCTOARELOR
ULTRASONORE PENTRU INSPECȚIA CONDUCTELOR**



RO 132449 B1

1 Invenția se referă la un dispozitiv de adaptare a traductoarelor ultrasonore pentru
inspecția conductelor.

3 Stadiul cunoscut al tehnicii de control cu ultrasunete al conductelor indică faptul că
se folosește uzual o pană din material acrilic sau policarbonat, care trebuie să fie profilată
5 la suprafața aflată în contact cu conducta pentru a transmite undele ultrasonore de la fața
plană a traductorului la suprafața cilindrică a conductei. Apare însă un inconvenient al
7 utilizării penei monobloc profilate: drumul acustic dintre suprafața plană pe care se aplică
traductorul și suprafața conductei este mai scurt pe centrul penei decât la marginile sale. Se
9 produce astfel un defazaj între undele care pătrund în conductă din puncte diferite, ceea ce
conduce la un puls acustic de mai lungă durată, mai mică intensitate și variabil în timp.
11 Aceste modificări ale pulsului acustic reduc sensibilitatea și rezoluția metodei de inspecție
cu ultrasunete.

13 În brevetul **US 2649550 (A)**/1953, (*Reflection absorbing ultrasonic wedge*), autorii
propun mai multe dispozitive de adaptare monobloc de forme diferite, cu scopul reducerii
15 amplitudinii undelor reflectate în interiorul dispozitivului de adaptare. Acestea nu se
adresează însă inspecțiilor conductelor și nu este format din plăcuțe de metal.

17 În brevetul **US 3146412 (A)**/1961, (*Variable ultrasonic delay line*), autorul propune
un dispozitiv de adaptare care să controleze întârzierea semnalului acustic, în mod egal pe
19 toată suprafața plană a traductorului și nu este format din plăcuțe de metal.

21 În brevetul **GB 1504083 (A)**/1978-03-15 (*Ultrasonic transducers and coupling wedges
therefor*), se propun dispozitive de adaptare formate din mai multe lamele de metal, cu
scopul de a rezista la temperaturi ridicate și de a împiedica reflexiile nedorite în dispozitiv.
23 Folosind lamele de diferite dimensiuni dar de grosimi identice, frontul de undă reflectat se
divide în mai multe unde defazate care reduc ecourile parazite, dar invenția nu se referă la
25 suprafețe curbe precum cele ale conductelor și nu se adresează problemei izocronismului
frontului de undă.

27 În brevetul **US 4359905 (A)**/1980 se propune un dispozitiv de adaptare la suprafețele
filetelor interioare, dar nu se poate aplica la conducte.

29 În brevetul **US 5913243 (A)**/1997 (*Ultrasonic transducer for nondestructive testing
of generator field coils of dynamoelectric machines*) se propun dispozitive de adaptare
31 formate din pungi cu silicon pentru adaptarea traductorilor de ultrasunete la suprafața
cilindrică interioară sau exterioară a conductelor, dar acestea nu rezolvă problema
33 sincronismului și nici a temperaturilor ridicate.

35 Problema tehnică pe care o rezolvă invenția se referă la asigurarea transmiterii
sincrone a undelor ultrasonore longitudinale provenite de la suprafața circulară plană a
traductorilor utilizați către suprafața cilindrică a conductelor, pentru întreg fasciculul de unde
37 ultrasonore provenit de la traductor.

39 Dispozitivul de adaptare a traductoarelor ultrasonore pentru inspecția conductelor se
amplasează între traductorul utilizat în inspecțiile nedistructive cu ultrasunete și suprafața
exterioară cilindrică a conductei, și asigură transmiterea undelor longitudinale de la traductor
41 la peretele conductelor, sincron pentru toată suprafața inspectată, deși drumul acustic este
mai scurt pe centrul traductorului față de marginile sale, datorită formei cilindrice a peretelui
43 conduței. Se evită astfel ecourile parazite în semnalul receptat la conducta inspectată.
Această problemă este cu atât mai importantă cu cât conductele au diametru mai mic și
45 grosime de perete mai mare.

47 Dispozitivul este alcătuit dintr-un pachet de plăcuțe metalice de grosimi și lungimi
diferite, calculate conform descrierii prezentei invenții. Între plăcuțe se inserează folii subțiri
din material izolator acustic (spre exemplu: folii de mică). Plăcuțele sunt strânse cu două

RO 132449 B1

șuruburi. Dispozitivul se va prelucra prin așchiere, aducând capetele plăcuțelor la forma cilindrică a conductei pe care se va aplica dispozitivul, iar la capătul opus se va realiza o suprafață plană, pe care se va aplica traductorul de ultrasunete. În această configurație, plăcuțele din centrul dispozitivului asigură un anumit timp de parcurs al ultrasunetelor, drumul acustic fiind mai scurt. Plăcuțele de la marginea dispozitivului asigură o viteză mai mare a ultrasunetelor, care ajung astfel în același timp cu cele din plăcuța centrală pe suprafața conductei, deși drumul acustic este diferit.

Dispozitivul de adaptare a traductoarelor pentru inspecția cu ultrasunete a conductelor, conform invenției, este alcătuit dintr-un pachet de $2n+1$ plăcuțe realizate dintr-un material transparent acustic, având grosimi care scad de la grosimea plăcuței centrale H_0 , către plăcuțele cu grosimea H_n de la marginea pachetului, având lungimile crescătoare de la plăcuța centrală spre margini, plăcuțele fiind dispuse simetric față de plăcuța centrală, iar între plăcuțe fiind inserate foițe izolatoare acustic, subțiri, de mică. Pachetul astfel alcătuit va fi strâns cu două șuruburi cu piulițe și prelucrat prin așchiere, în vederea obținerii formeii suprafeței exterioare a conductei de inspectat și realizării unui contact adecvat cu aceasta, asigurându-se astfel o transmitere sincronă a undelor ultrasonore provenite de la suprafața circulară plană a traductorului, prin plăcuțele dispozitivului de adaptare, spre suprafața cilindrică a conductei.

Avantajele invenției revendicate sunt următoarele:

- asigură un mai bun transfer al energiei pulsului ultrasonor provenit de la traductor spre conductă, îmbunătățind calitatea inspecției cu ultrasunete, atât pentru determinarea grosimii peretelui conductei, cât și la inspecția cordoanelor de sudură;

- dispozitivul se poate folosi chiar la temperaturi ridicate ale conductelor, de până la 500°C , deoarece dispozitivul este realizat din materiale metalice, spre deosebire de cele uzuale care sunt realizate din material acrilic sau policarbonat.

Se dă, în continuare, un exemplu de realizare a dispozitivului conform fig. 1-5, care reprezintă:

- fig. 1, dependența vitezei de grup de produsul frecvență grosime plăcuță;

- fig. 2, dispozitivul de adaptare **2** dintre traductorul **1** și conducta **3**;

- fig. 3, pachetul de plăcuțe de grosimi $H_0 \dots H_n$, strânse cu șuruburile **4**, alcătuiesc dispozitivul de adaptare **2**;

- fig. 4, vedere în perspectivă a dispozitivului de adaptare conform invenției;

- fig. 5, vedere în perspectivă a dispozitivului de adaptare conform invenției, prelucrat pentru utilizarea la inspecția cordoanelor de sudură.

Dispozitivul de adaptare propus are o geometrie bine definită a plăcuțelor pentru fiecare aplicație practică, exprimată prin diametrul conductei inspectate și tipul de traductor de unde longitudinale utilizat, definit prin frecvența sa centrală și raza feței traductorului. Undele ultrasonore se pot propaga prin blocuri de materiale elastice precum oțelul sau policarbonatul (folosit la dispozitivele de adaptare) ca unde longitudinale (prin tensiuni de întindere-compresiune) sau transversale (prin tensiuni de forfecare). Pentru un oțel slab aliat, vitezele celor două unde sunt $c_L = 5960$ m/s pentru undele longitudinale și $c_T = 3235$ m/s pentru cele transversale.

Când undele ultrasonore se propagă în lungul unei plăci de grosime H , apar așa-numitele moduri ghidate Lamb simetrice și antisimetrice. Pentru prezenta metodă interesează numai modurile simetrice, deci se va calcula numai viteza de grup a primului

RO 132449 B1

1 mod simetric, notat S_0 (fig. 1), viteză care se obține din rezolvarea ecuației:

$$\frac{\tanh\left(\frac{\beta H}{2}\right)}{\tanh\left(\frac{\alpha H}{2}\right)} = \frac{4\alpha\beta k^2}{(k^2 + \beta^2)^2}$$

9 unde $\omega = 2\pi f$; $k = \frac{\omega}{c_{S0}}$; $\alpha^2 = k^2 - \frac{\omega^2}{c_L^2}$; $\beta^2 = k^2 - \frac{\omega^2}{c_T^2}$ reprezintă pulsația,

11 numărul de undă și pătratele componentelor transversale ale numerelor de undă, iar notația *tanh* reprezintă funcția tangență hiperbolică. Pentru fiecare pulsație ω se determină numărul
13 de undă k și se obține o curbă a cărei pantă reprezintă viteza de grup: $c_g = \frac{d\omega}{dk}$.

15 Vitezele de grup sunt dependente de frecvență și reprezintă vitezele de propagare ale
17 pachetelor de undă (pulsurile ultrasonore ale traductoarelor). Ca exemplu, este trasată în
19 fig. 1 viteza de grup pentru o placă de oțel slab aliat (densitate: 7850 kg/m³, modul Young
21 $E = 205$ GPa, coeficient Poisson $\nu = 0,28$) de grosime $H = 1$ mm, pentru frecvențe până la
4000 kHz. Dintre aceste curbe, vom utiliza pentru prezentul dispozitiv de adaptare ramura
descendentă a curbei vitezei de grup a modului S_0 . Se constată că pentru un produs
frecvență-grosime între $f \cdot H = 1260$ kHz · mm și 1860 kHz · mm, viteza de grup pentru acest
material scade de la 5000 m/s la 4000 m/s.

23 Principalul obiectiv al acestei invenții este de a asigura ca timpul de parcurs al
25 undelor ultrasonore de la un traductor circular cu fața plană, până la suprafața cilindrică a
unei conducte, să fie același pentru unde pornind din orice punct al suprafeței traductorului.
27 Obiectivul este atins prin dimensionarea adecvată a unui pachet de plăcuțe, cu grosimi care
scad de la centru spre marginile dispozitivului de adaptare **2** (fig. 2, 3, 4, 5). Pachetul realizat
este apoi strâns cu șuruburile **4** (fig. 2, 3, 4, 5) și prelucrat prin aschiere pentru a ajunge în
29 contact cu toate plăcuțele sale, pe suprafața cilindrică a conductei (fig. 2-5).

Etapele de calcul al dimensiunilor plăcuțelor dispozitivului:

31 Etapa 1. Pentru o conductă de rază exterioară R_e și un traductor de ultrasunete de
33 rază r , se determină diferența de drum acustic d . Conform fig. 2, între distanțele parcurse de
fasciculul ultrasonor în lungul axei traductorului aflată într-un plan central ce include axa
35 conductei și distanța parcursă de unde provenind de la marginea fasciculului de rază r apare
o diferență de drum:

$$d = R_e - \sqrt{R_e^2 - r^2} \quad (1)$$

37 Etapa 2. Se alege materialul metalic al plăcuțelor, spre exemplu oțel. Pentru o clasă
39 largă de oțeluri este valabilă curba din fig. 1 a vitezelor de grup funcție de produsul grosime-
frecvență. Cunoscând frecvența centrală a traductorului (notată f) care va fi folosit, din curba
41 trasată în fig. 1 pentru modul S_0 se aleg vitezele de grup minimă (c_{\min}) și maximă (c_{\max}) din
domeniul în care curba este descrescătoare. Se recomandă o diferență $C_{\max} - C_{\min} = 1000$
43 m/s. Se determină apoi lungimea plăcuței centrale. Dacă undele ultrasonore au pe centrul
traductorului viteza de grup c_{\min} și pe margine c_{\max} , impunem că undele să parcurgă în
45 același timp cele două drumuri. Timpul de parcurgere comun celor două drumuri va fi:

$$t = \frac{L}{c_{\min}} = \frac{L + d}{c_{\max}} \quad (2)$$

RO 132449 B1

Rezultă de aici lungimea minimă L (fig. 2) a piesei de adaptare, capabilă să asigure sincronismul incidenței undelor la centru și la marginea fascicului ultrasonor: 1

$$L = d \frac{c_{\min}}{c_{\max} - c_{\min}} \quad (3) \quad 3$$

Etapa 3. Se determină grosimile plăcuței centrale H_{\max} și ale plăcuțelor de la marginea pachetului H_{\min} , pentru o frecvență centrală a traductorului de ultrasunete: 7
Se vor determina din abscisa curbei din fig. 1, produsele $(f \cdot H_{\max})$ și $(f \cdot H_{\min})$ ale plăcuțelor din pachet pentru valorile c_{\min} și c_{\max} , care să asigure condiția de sincronism (2): 9

$$c_{\min} \rightarrow f \cdot H_{\max} \quad (4) \quad 11$$
$$c_{\max} \rightarrow f \cdot H_{\min} \quad 13$$

Cunoscând frecvența centrală f a traductorului de ultrasunete, rezultă H_{\max} și H_{\min} . 15

Etapa 4. Determinarea numărului și a grosimilor plăcuțelor din pachet se face astfel:

Pe centrul pachetului de plăcuțe se pune plăcuța de grosime H_{\max} și lungime L măsurată în sensul drumului acustic. Simetric față de plăcuța din centru se pregătesc câte n plăcuțe, unde $n = 2 \cdot r / (H_{\max} + H_{\min} + \varepsilon)$, în care ε este grosimea unei foi subțiri izolatoare acustic. Fiecare pereche i ($i = 1 \dots n$) de plăcuțe va avea grosimea H_i , care se calculează astfel: 17

a) distanța d_i se recalculază din formula (1) pentru fiecare pereche de plăcuțe plasate la distanța $r_i = \frac{H_0 + H_i}{2} + \varepsilon + \sum_{k=1}^{i-1} (H_k + \varepsilon)$, în care H_i se estimează inițial că 23

scade liniar cu ordinul plăcuței. Se calculează viteza c_i prin fiecare plăcuță din condiția de izocronism (2), înlocuind în formula (2) $d = d_i$. Lungimea corespunzătoare a perechii de plăcuțe este $L_i = L + d_i$. 25

b) Conform relației (4) se extrag produsele $f \cdot H_i$ din fig. 1 și rezultă grosimea H_i a plăcuțelor din perechea i . Se reiterează pasul a de mai sus, cu grosimea H_i determinată pentru a avea o valoare mai precisă a grosimii plăcuțelor respective. 29

c) Se reiau pașii (a...c) până la atingerea sau ușoara depășire a razei traductorului, pentru a asigura contactul cu dispozitivul a întregii suprafețe a traductorului. 31

Practic, se va realiza un dispozitiv format dintr-un pachet de $2n + 1$ plăcuțe de grosimi H_i și lungimi L_i , izolate acustic între ele prin foi subțiri de mică (grosime $\varepsilon \leq 0,1$ mm, fig. 3), pentru aplicațiile la temperaturi ridicate, sau folii din materiale uzuale (exemplu: hârtie, polietilenă etc.) pentru temperaturi normale de lucru. Lățimea P a pachetului (fig. 3) va depăși diametrul $2r$ al traductorului folosit, astfel că fasciculus ultrasonor să nu fie afectat de șuruburile **4** (exemplu M3) și de piulițe (fig. 2-5), care strâng pachetul de plăcuțe al dispozitivului. 33

După ce se strânge pachetul de plăcuțe **2** (fig. 2), o prelucrare mecanică (exemplu: frezare și rectificare) va asigura un bun contact cu suprafața exterioară a conductei **3** (fig. 2) și va respecta lungimile calculate ale plăcuțelor. Dispozitivul de adaptare se poate utiliza și pentru inspecție cu unde înclinate față de suprafața conductei, spre exemplu pentru inspectarea cordoanelor de sudură, profilarea fiind de tipul celei din fig. 5. 37

Exemplu de realizare a dispozitivului 45

Se consideră ca exemplu un dispozitiv de adaptare pentru determinarea grosimii peretelui unei conducte de oțel cu raza exterioară $R_e = 19$ mm, folosind un traductor de 47

RO 132449 B1

1 ultrasunete cu frecvența centrală $f = 1$ MHz și raza suprafeței active $r = 12,7$ mm. Se
determină, conform etapelor descrise anterior:

3 1. Diferența de drum geometric calculată: $d = 4,868$ mm.

5 2. Se alege $c_{\min} = 4000$ m/s $c_{\max} = 5000$ m/s. Plăcuța din centrul pachetului va avea
lungimea $L = d \frac{c_{\min}}{c_{\max} - c_{\min}} = 19,47$ mm.

7 3. Rezultă din fig. 1: $H_{\max} = 1,86$ mm și $H_{\min} = 1,25$ mm. Plăcuța din centrul pachetului
va avea deci grosimea $H_0 = H_{\max} = 1,86$ mm. Se poate estima un număr de plăcuțe de o
9 parte a planului de simetrie: $n = 2r/(H_{\max} + H_{\min} + \varepsilon)$ unde ε este grosimea foii subțiri de
izolator acustic. Pentru acest exemplu: $\varepsilon = 0,1$ mm și rezultă prin rotunjire în jos $n = 7$. Se
11 poate determina un pas aproximativ de grosime între plăcuțe succesive: $\Delta h = (H_{\max} - H_{\min})/n$
 $= 0,09$ mm.

13 4. Prima pereche de plăcuțe are planul median plasat la distanța
15 $r_1 = H_0 - \frac{\Delta h}{2} + \varepsilon = 1,92$ mm. Din (1) rezultă $d_1 = 0,1$ mm. Condiția de izocronism
impune o viteză de grup $c_1 = \frac{L + d_1}{L} c_{\min} = 4,02$ mm / μ s

17 Din fig. 1 rezultă $f \cdot H = 1855$ kHz · mm, adică o grosime a plăcuței $H_1 = 1,86$ mm.

19 Pentru mai multă precizie, se reia calculul cu această grosime în
21 $r_1 = \frac{H_0}{2} + \frac{H_1}{2} + \varepsilon = 1,96$ mm și rezultă după această iterație $H_1 = 1,85$ mm. Metoda
converge rapid după o singură iterație. Analog se fac calculele pentru restul de 6 perechi de
23 plăcuțe, care vor avea grosimile: $H_2 = 1,83$ mm; $H_3 = 1,80$ mm; $H_4 = 1,74$ mm; $H_5 = 1,65$ mm;
 $H_6 = 1,50$ mm; $H_7 = 1,26$ mm. Aceste grosimi se pot realiza prin tehnologia de rectificare, cu
precizie de $\pm 0,01$ mm.

25 Dispozitivul din acest exemplu va conține $2n + 1 = 15$ plăcuțe astfel: o placă centrală
de grosime $H_0 = 1,86$ mm și șapte perechi de plăcuțe de grosimi $H_1 \dots H_7$, indicate mai sus,
27 separate cu foi de $0,1$ mm grosime, din material izolator acustic. Grosimea totală a
pachetului este $H_{\text{tot}} = 26,54$ mm și permite aplicarea transductorului de ultrasunete pe capetele
29 plăcuțelor, prelucrate ca suprafață plană. Înălțimea pachetului este între $L = 19,47$ mm pe
centru și $L + d = 24,3$ mm la margini, formând un pachet cu plăcuțe de lățime $P > H_{\text{tot}}$ (fig. 2)
31 strâns cu șuruburi **4** (fig. 2, 3), care va fi prelucrat mecanic (frezare și rectificare) pentru a
obține o suprafață cilindrică în acord cu suprafața exterioară a conductei inspectate. Forma
33 finală tridimensională a dispozitivului este indicată în fig. 4 pentru determinări de grosime de
perete ale conductelor și în fig. 5 pentru inspectarea cordoanelor de sudură ale conductelor.

RO 132449 B1

Revendicare

1

Dispozitiv de adaptare a traductoarelor ultrasonore pentru inspecția conductelor, **caracterizat prin aceea că**, este alcătuit dintr-un pachet de $(2n + 1)$ plăcuțe, realizate dintr-un material transparent acustic, având grosimi care scad de la grosimea plăcuței centrale H_0 către plăcuțele cu grosimea H_n de la marginea pachetului, cu lungimi crescătoare de la plăcuța centrală spre margini, plăcuțele fiind dispuse simetric față de plăcuța centrală H_0 , iar între două plăcuțe succesive fiind inserate niște folii **(5)** izolatoare acustic, subțiri, pachetul astfel alcătuit va fi asamblat cu două șuruburi cu piulițe **(4)** și prelucrat prin așchiere, în vederea obținerii formei suprafeței exterioare a conductei **(3)** de inspectat și realizării unui contact adecvat cu aceasta, asigurându-se astfel o transmitere sincronă a undelor ultrasonore provenite de la suprafața circulară plană a traductorului **(1)**, prin plăcuțele dispozitivului de adaptare **(2)**, spre suprafața cilindrică a conductei **(3)**.

13

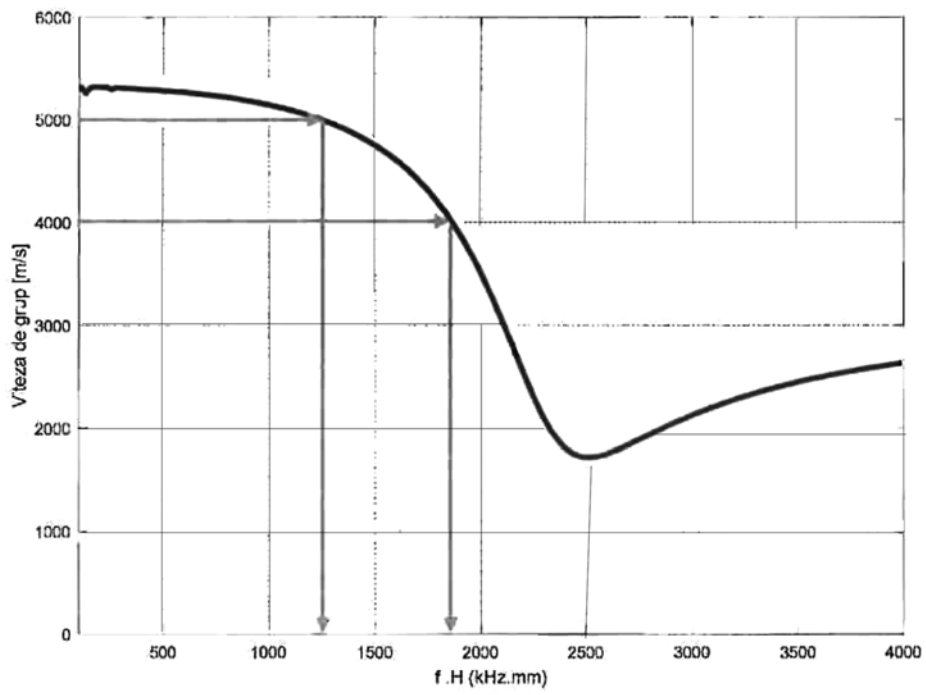


Fig. 1

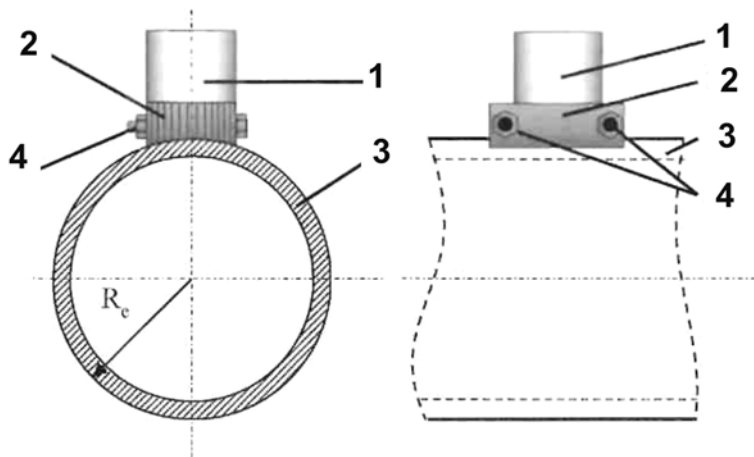


Fig. 2

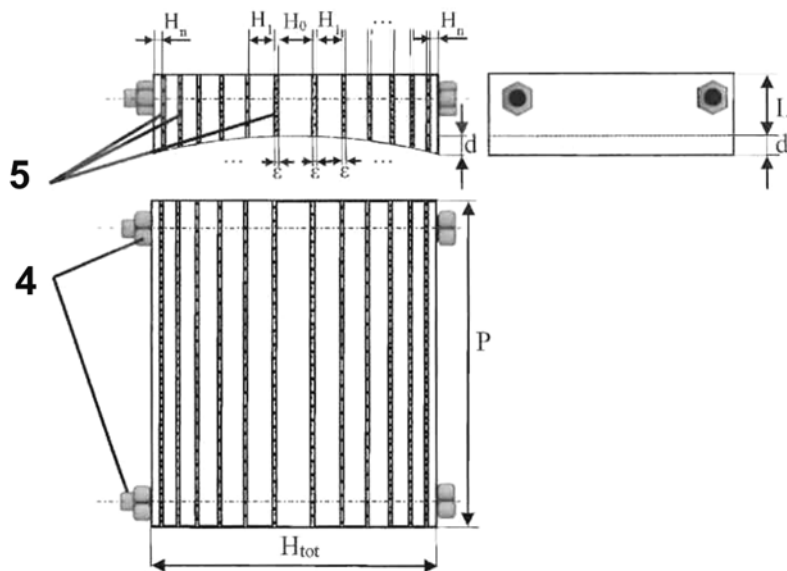


Fig. 3

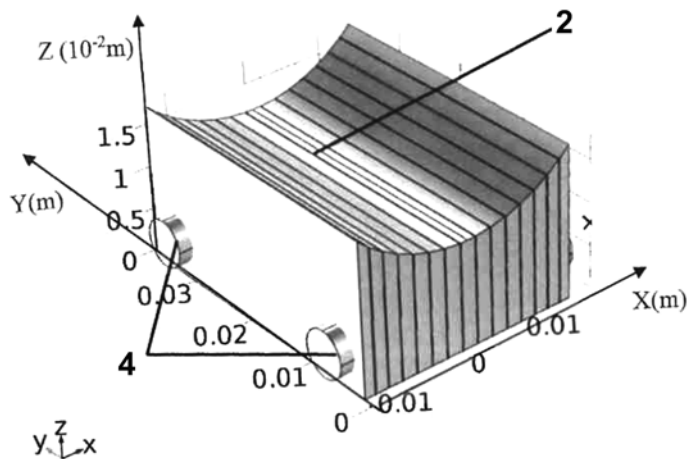


Fig. 4

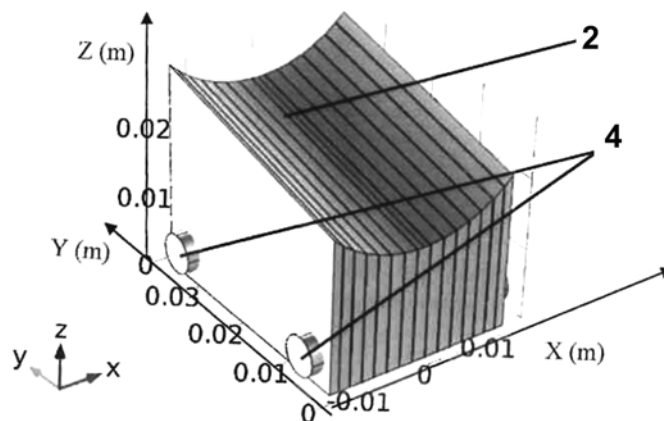


Fig. 5

