

EXPERTIZE – LABORATOR 3

MASURAREA GROSIMII CU AJUTORUL ULTRASUNETELOR

-
1. Introducere
 2. Principii fizice
 3. Schema de principiu a unui aparat de măsurat grosimi
 4. Determinarea coroziunii utilizând aparatul de măsurat grosimi cu ultrasunete
 5. Modul de lucru
-

1. Introducere

Măsurarea grosimii pieselor cu ajutorul ultrasunetelor reprezintă una din primele aplicații posibile de evaluare nedistructivă. Primul aparat care permitea punerea în evidență a discontinuităților de material și care permitea și determinarea grosimilor a fost brevetat în anul 1942 de inginerul american Firestone, aparatul purtând denumirea de „Reflectoscop”. Utilizarea acestui aparat permitea determinarea grosimilor unor piese cu precizia de 5-7%. Dezvoltarea electronicii, apariția microprocesoarelor și a miniaturizării a permis în prezent realizarea de aparate destinate special pentru măsurătorile de grosimi. Aparatele sunt digitale, portabile iar valoarea grosimii este afișată direct pe ecranul aparatului.

2. Principii fizice*2.1. Reflexia și transmisia ultrasunetelor la interfața a două medii diferite*

Fie două medii diferite caracterizate de densitățile ρ_1 și ρ_2 și de vitezele de propagare v_1 și v_2 . Cele două medii au impedanțele acustice Z_1 și Z_2 care se determină cu relația:

$$Z = \rho v \quad (1)$$

Pe interfață unda ultrasonoră care vine din mediul 1, unde are presiunea sonoră P_1 se va reflecta, presiunea undei reflectate fiind P_r și va fi transmisă în mediul 2 unde presiunea undei transmise va fi P_t , figura 1.

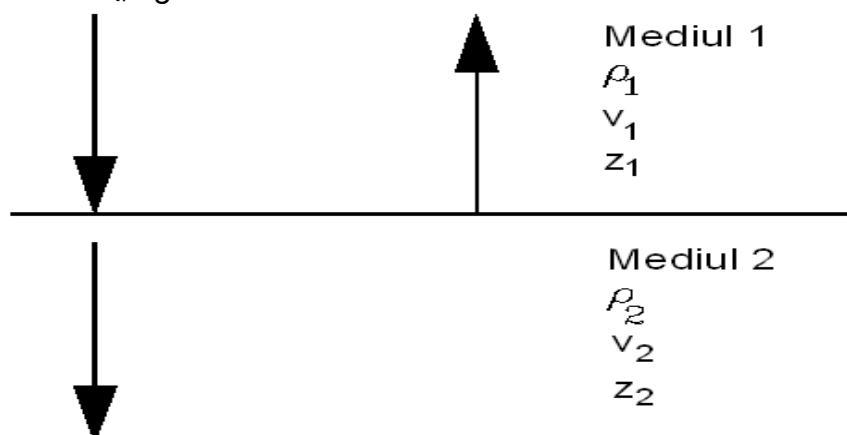


Fig. 1. Reflexia și transmisia undei ultrasonore

Se numește coeficient de reflexie raportul dintre presiunea undei reflectate și cea a undei incidente:

$$R = \frac{P_r}{P_i} \quad (2)$$

Se numește coeficient de transmisie raportul între presiunea undei transmise și cea a undei incidente:

$$D = \frac{P_t}{P_i} \quad (3)$$

Între coeficientul de reflexie și cel de transmisie există relația:

$$D = 1 + R \quad (4)$$

Ambii coeficienți pot fi exprimați în funcție de impedanțele acustice ale celor două medii:

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (5)$$

$$D = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \quad (6)$$

2.2. Determinarea grosimii unei piese cu ajutorul ultrasunetelor

Fie un material solid cu impedanța acustică Z și având grosimea d . Pe o față a sa se așează un palpator de ultrasunete dublu emisie-recepție. O jumătate a palpatorului servește la generarea ultrasunetelor pe baza fenomenului de piezoelectricitate iar cealaltă jumătate servește la recepționarea ultrasunetelor pe baza aceluiași fenomen. Palpatorul se aplică pe piesa de măsurat prin intermediul unui cuplant care poate fi apă, ulei, vaselină, gel de cuplare, etc., figura 2.

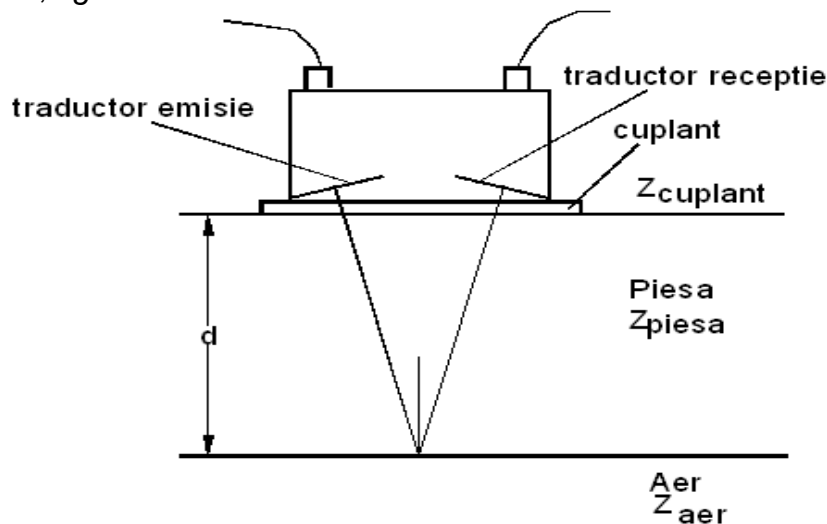


Fig. 2. Emisia-recepția undelor ultrasonore de către palpator

Dacă presupunem că piesa de măsurat este din oțel și cuplarea are loc cu ajutorul unui strat extrem de subțire de apă, la interfața apă-oțel se poate scrie:

$$R_{apa-otel} = \frac{Z_{otel} - Z_{apa}}{Z_{otel} + Z_{apa}} \quad (7)$$

$$D_{apa-otel} = \frac{2Z_{otel}}{Z_{otel} + Z_{apa}}$$

În cazul undelor longitudinale, impedanța acustică a apei este $Z_{apa}=1,5 \cdot 10^6 \text{ NSm}^{-3}$ iar impedanța acustică a oțelului este $Z_{otel}=45 \cdot 10^6 \text{ NSm}^{-3}$. Coeficienții de reflexie și transmisie la interfața apă-oțel vor avea valorile:

$$R_{apa-otel} = \frac{45 \cdot 10^6 - 1,5 \cdot 10^6}{45 \cdot 10^6 + 1,5 \cdot 10^6} = 0,935 \quad (8)$$

$$D_{apa-otel} = \frac{2 \cdot 45 \cdot 10^6}{45 \cdot 10^6 + 1,5 \cdot 10^6} = 1,935$$

Conform relațiilor (8), ultrasunetele se vor transmite în piesa de oțel, unde presiunea lor va fi de 1,935 ori mai mare ca presiunea pe interfață.

Pe fața opusă, adică la interfața oțel-aer putem scrie:

$$R_{otel-aer} = \frac{Z_{aer} - Z_{otel}}{Z_{aer} + Z_{otel}} \quad (9)$$

$$D_{otel-aer} = \frac{2Z_{aer}}{Z_{aer} + Z_{otel}}$$

Impedanța acustică a aerului este $Z_{aer}=4 \cdot 10^2 \text{ NSm}^{-3}$ astfel încât putem scrie:

$$R_{otel-aer} = \frac{4 \cdot 10^2 - 45 \cdot 10^6}{4 \cdot 10^2 + 45 \cdot 10^6} = -1 \quad (10)$$

$$D_{otel-aer} = \frac{2 \cdot 4 \cdot 10^2}{4 \cdot 10^2 + 45 \cdot 10^6} = 2 \cdot 10^{-5}$$

Relațiile (10) arată că la interfața oțel-aer unda ultrasonoră se reflectă aproape complet, ajungând la interfața piesă-cuplant, adică la interfața oțel-apă. Pentru această interfață se poate scrie:

$$R_{otel-apa} = \frac{Z_{apa} - Z_{otel}}{Z_{apa} + Z_{otel}} = -0,935 \quad (11)$$

$$D_{otel-apa} = \frac{2Z_{apa}}{Z_{apa} + Z_{otel}} = 0,065$$

Unda transmisă în apă, a cărei presiune reprezintă doar 0,065 din presiunea unde pe interfață va fi recepționată de traductorul de recepție.

Dacă pe traductorul de emisie se aplică un impuls de câmp electric, se va genera un impuls ultrasonor care se transmite în piesa de controlat prin intermediul cuplantului. Pe fața opusă are loc o reflexie aproape completă iar impulsul transmis prin interfața oțel-apă este recepționat de traductorul de recepție, având o întârziere în raport cu impulsul de emisie Δt . În timpul Δt impulsul ultrasonor parcurge de două ori grosimea piesei cu viteza de propagare v_1 . Ca urmare, se poate scrie:

$$\begin{aligned} 2d &= v_1 \cdot \Delta t \\ \text{sau} \\ d &= \frac{1}{2} v_1 \Delta t \end{aligned} \quad (12)$$

Relația (12) servește la determinarea grosimii materialelor solide măsurând întârzierea între impulsul de emisie și cel recepționat și cunoscând viteza de propagare a undelor longitudinale în materialul respectiv.

3. Schema de principiu a unui aparat de măsurat grosimi

Schema de principiu a unui aparat digital de măsurat grosimi cu ajutorul ultrasunetelor este prezentată în *figura 3*. Un clock generează impulsuri dreptunghiulare de frecvență mare, în mod obișnuit 10MHz. Impulsurile sunt apoi divizate într-un divizor de impulsuri care furnizează un impuls la ieșire, la fiecare 10000 de impulsuri aplicate la intrare. Ca urmare, frecvența de repetiție a impulsului de ieșire este de 1kHz. Aceste impulsuri acționează un generator de impulsuri care furnizează impulsuri de aceeași frecvență dar cu amplitudine de 150-250V care se aplică părții de emisie a palpatorului. La fiecare astfel de impuls de emisie se pornește numărătorul de impulsuri prin aplicarea unei comenzi de Start. Traductorul de emisie furnizează un impuls ultraacustic care se propagă în materialul de examinat suferind o reflexie pe fața opusă a piesei. Impulsul reflectat este recepționat de partea de recepție a palpatorului, este amplificat și format. Acest impuls se aplică intrării Stop a numărătorului. Între comanda Start și Stop, numărătorul va număra, să presupunem, n impulsuri, ceea ce corespunde unui interval de timp $\Delta t = n \frac{1}{10^7}$ [sec.]. În acest interval de timp impulsul ultrasonor a parcurs în piesă o distanță $2g$, viteza de propagare fiind v_1 .

În aceste condiții se poate scrie:

$$2g = v_1 \Delta t$$

sau

$$g = \frac{1}{2} v_1 \cdot n \frac{1}{10^7}$$

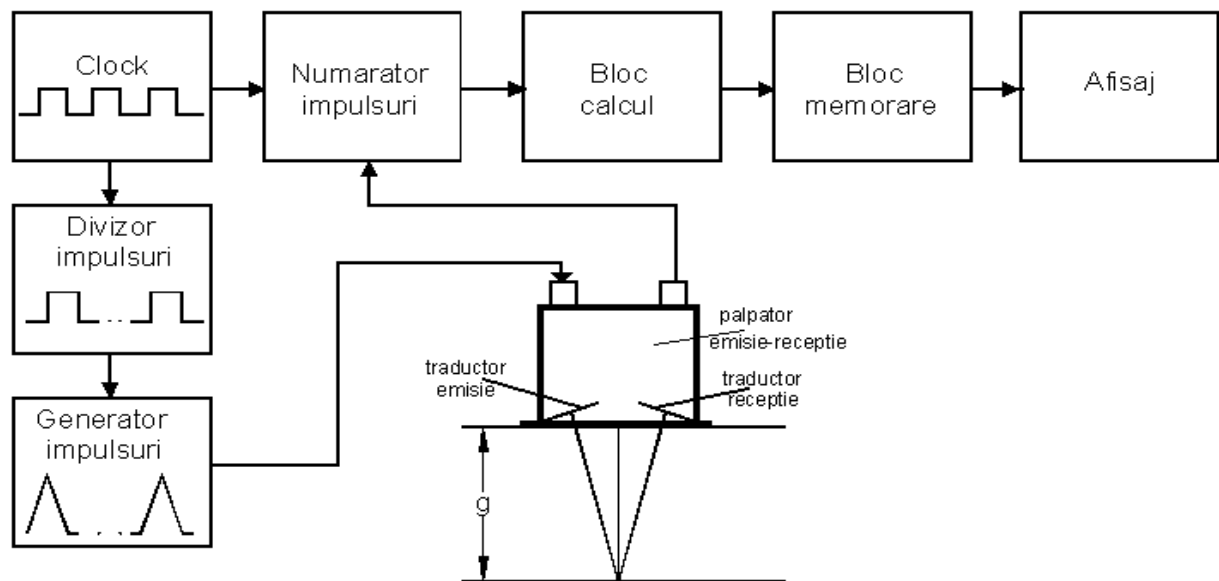


Fig.3. Schema de principiu a unui aparat de măsurat grosimi

Blocul de calcul realizează operația de multiplicare a numărului de impulsuri n cu mărimea $\frac{1}{2} v_1 \frac{1}{10^7}$ rezultând la ieșire direct grosimea piesei g care este memorată pe afișajul digital. Deoarece v_1 variază în funcție de compoziția chimică, de modul de prelucrare a piesei de controlat și de temperatura acesteia, este necesară echilibrarea echipamentului. Acest lucru se realizează măsurând o piesă de calibrare confecționată din același material cu cel de controlat și având grosimea cunoscută. Se acționează butoanele de calibrare până când grosimea afișată corespunde grosimii piesei de calibrare, memorându-se astfel viteza de propagare a ultrasunetelor în materialul respectiv. Viteza se memorează chiar dacă aparatul

se încheie. Sistemul digital de numărare a impulsurilor permite, în principiu, o numărare cu o precizie de ± 1 impuls. Dacă piesa a cărei grosime se măsoară este confecționată din oțel în care viteza de propagare a ultrasunetelor este de 5900 m/s, rezultă că eroarea în determinarea grosimii va fi:

$$\Delta g = \pm \frac{1}{2} \cdot 5900 \cdot 1 \cdot \frac{1}{10^7} = \pm 2,9 \cdot 10^{-4} \text{ m} = \pm 0,29 \text{ mm}$$

Eroarea poate fi redusă dacă frecvența de clock va fi mai mare. Astfel, dacă frecvența de clock este de 100 MHz, eroarea absolută de determinare a grosimii va fi de $\pm 0,029$ mm.

4. Determinarea coroziunii utilizând aparatul de măsurat grosimi cu ultrasunete

Se numește coroziune fenomenul de distrugere în timp a materialelor ca urmare a acțiunii chimice și/sau electrochimice a mediilor tehnologice și înconjurătoare.

Mediile în care se produce coroziunea se numesc medii corozive iar factorii fizici, chimici și biologici capabili să modifice aspectul sau caracteristicile unor materiale supuse acțiunii lor se numesc agenți de atac. Intensitatea cu care se manifestă acțiunea mediilor corozive asupra unui anumit material definește agresivitatea mediului respectiv.

Viteza de coroziune este dată de grosimea materialului afectată de procesul de coroziune în unitatea de timp. Viteza de coroziune se exprimă în mm/an. Se estimează că anual, aproximativ 20% din producția de oțel se pierde prin coroziune. Fenomenul de coroziune trebuie supravegheat pentru a se evita pagube determinate de distrugerea utilajelor, structurilor, etc. O metodă de supraveghere a coroziunii o reprezintă măsurarea grosimii de material rămas necorodat. Cunoscând acest lucru și efectuând calculele de rezistență care se impun, ne putem da seama dacă piesa sau elementul de structură trebuie înlocuit sau nu. Cea mai ușoară metodă de măsură a grosimii o reprezintă utilizarea ultrasunetelor. Va apare o interfață suplimentară între materialul necorodat și producții de coroziune ceea ce implică o reflexie. Dacă palpatorul aparatului de măsurat grosimi se aplică pe o față a piesei care nu este supusă coroziunii, aparatul va indica grosimea de material necorodată. Făcând un carioaj al piesei de examinat putem determina în diverse puncte grosimea materialului necorodat și astfel putem construi harta coroziunii.

5. Modul de lucru

Proba avută la dispoziție se constituie dintr-o placă dreptunghiulară din oțel, care are o față finisată iar cealaltă față a fost prelucrată astfel încât reprezintă o suprafață complexă.

Rezultatul acestei lucrări îl constituie afișarea în Xcell a suprafeței tridimensionale prelucrate a probei pe baza măsurătorii grosimii.

Se determină viteza de propagare a undelor ultrasonore prin material pe baza a două dimensiuni calibrate existente pe probă. Viteza de propagare se memorează automat. Suprafața finisată trebuie curățată cu grijă înainte de începerea măsurătorilor. Se aplică cuplantul pe suprafața finisată. Se cuplează palpatorul dublu emisie-recepție la aparat și se apasă butonul pornit-oprit pentru alimentarea autonomă. Se selectează ca unitate de măsurare a grosimilor „mm”. Pentru calibrare și determinarea vitezei se procedează în felul următor:

- se apasă CAL. Se așează palpatorul pe grosimea calibrată. Pe baza butoanelor GAIN și RANGE se modifică valorile până când pe ecranul aparatului apare o imagine de forma celei din *figura 4*;

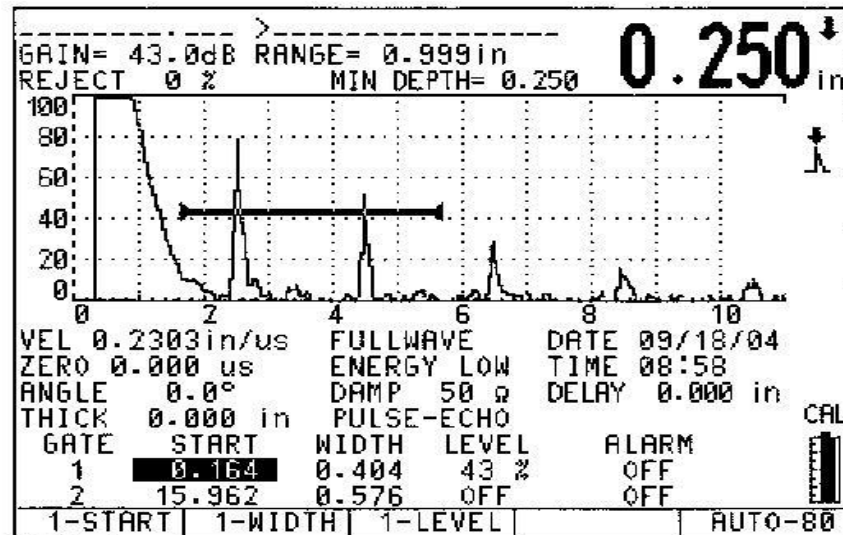


Fig. 4. Imaginea de pe ecranul aparatului

- se apasă pe ZERO OFFSET și se introduce valoarea cunoscută a grosimii calibrate în fereastra ce apare pe ecran;
- se poziționează palpatorul pe a doua grosime cunoscută. Se va avea în vedere ca pe ecran să se mențină simbolul CAL. Pe baza butoanelor GAIN și RANGE se modifică valorile până când pe ecranul aparatului apare o imagine de forma celei din figura 4;
- se apasă pe butonul VEL și se introduce valoarea cunoscută a celei de-a doua grosimi calibrate în fereastra ce apare pe ecran;
- se apasă ENTER pentru a reveni din starea de calibrare.

În acest fel, se memorează viteza pe care undele ultrasonore o au prin materialul piesei studiate.

Se aplică palpatorul în fiecare din punctele determinate de șablonul ce culisează în puncte fixe de-a lungul piesei determinările făcându-se astfel în puncte aflate pe un caroiaj, figura 5.

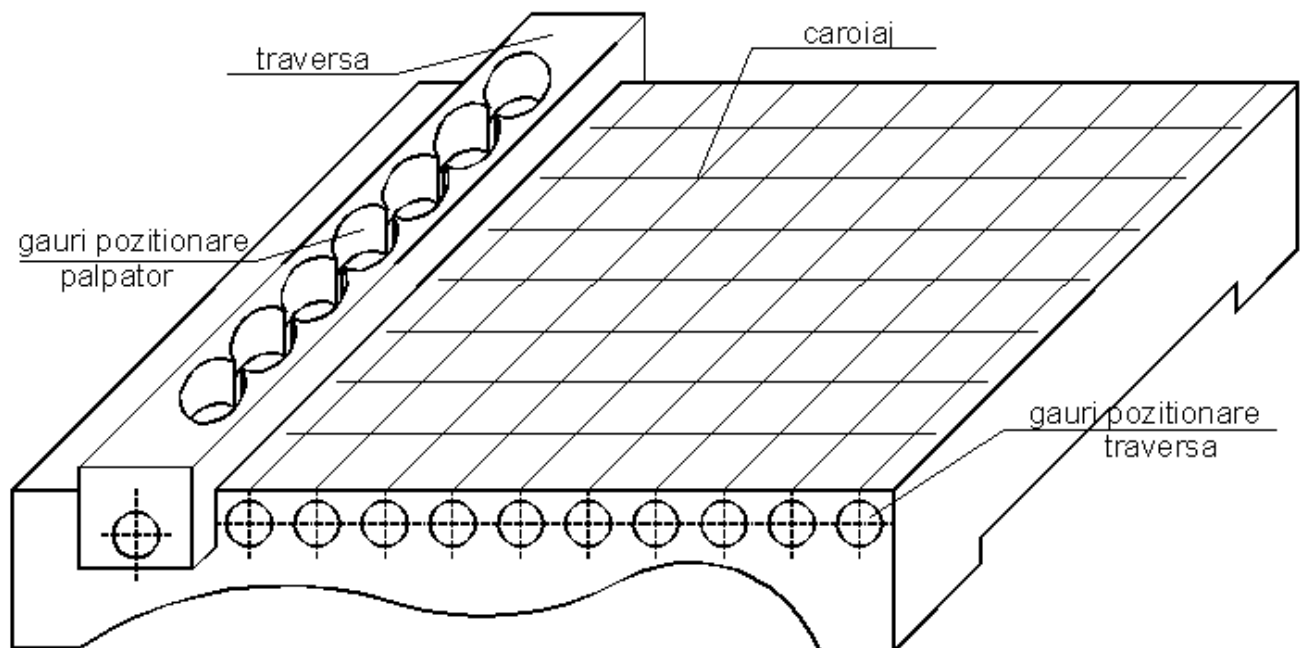


Fig. 5. Piesa cu sablon pentru masurarea pe caroiaj

Se citesc grosimile afișate pe ecran și se trec într-un tabel de tip matrice pentru identificarea cu ușurință a valorilor citite.

Cu ajutorul facilităților oferite de programul Xcell și pe baza datelor tabelare obținute se trasează suprafața tridimensională a feței prelucrate, *figura 6*.

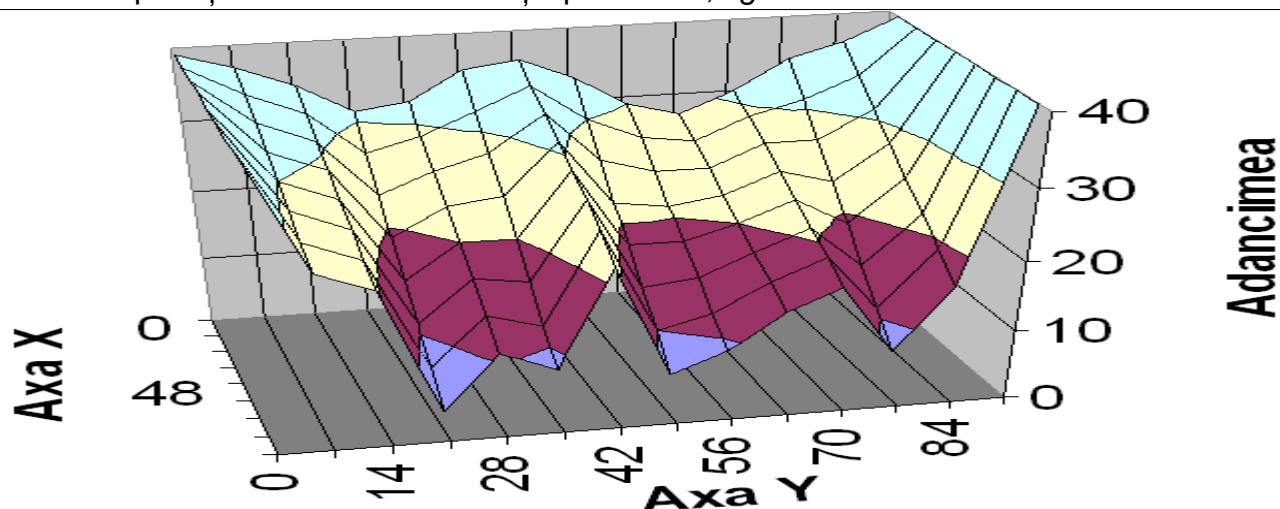


Fig. 6. Suprafața determinată prin măsurarea adâncimii

În același mod se poate proceda la determinarea suprafețelor invizibile, ale rezervoarelor, conductelor care își schimbă forma în timpul funcționării datorită coroziunii, acțiunii agenților chimici, etc.