

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN TIMIȘOARA

FACULTATEA DE CONSTRUCȚII

Inginer **PETRU PANTEA**

**CONTRIBUȚII LA STUDIUL ȘI ELABORAREA UNOR NOI
SOLUȚII DE PROTECȚIE PRIN ECRANARE
ANTIVIBRATORIE A CONSTRUCȚIILOR**

TEZĂ DE DOCTORAT

619.475
366. C

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC

PROFESOR DOCTOR INGINER
MARIN PĂUNESCU

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

TIMIȘOARA 1997

MULȚUMIRI

In elaborarea prezentei lucrări, am beneficiat de sprijinul competent și de îndrumarea continuă și de înaltă ținută științifică a domnului profesor doctor inginer MARIN PĂUNESCU, conducătorul științific, căruia îi mulțumesc cu profund respect. Profesorului meu din anii studenției, pe lângă coordonarea științifică a prezentei lucrări de doctorat, îi datorez multă recunoștință pentru modul în care m-a implicat și atras atât în viața universitară, cât și în cercetarea și în rezolvarea unor probleme practice din domeniul dinamicii pământurilor, contribuind astfel la formarea mea pe linie profesională.

Investigațiile experimentale de laborator și de teren, ale căror rezultate sunt prezentate în lucrare, s-au realizat și prin sprijinul competent al domnului profesor doctor inginer VIRGIL HAIDA, directorul Departamentului de Inginerie - Geotehnică și Căi de Comunicații Terestre din Universitatea "Politehnica" din Timișoara, căruia îi mulțumesc.

De asemenea, autorul mulțumește tuturor colegilor din departament și celor de la INCERC București, Filiala Timișoara, cadre didactice și personal tehnic, pentru sprijin și colaborare.

Autorul

CUPRINS

INTRODUCERE

1. Conceptul de ecranare antivibratorie
2. Motivația cercetării întreprinse
3. Ecranarea antivibratorie - între teorie și practică

1 STUDIU DOCUMENTAR PRIVIND PROTECȚIA ANTIVIBRATORIE A CONSTRUCȚIILOR PRIN ECRANARE

- 1.1 Despre acțiunile dinamice asupra terenului de fundare
 - 1.1.1 Clasificarea acțiunilor dinamic
 - 1.1.2 Acțiuni armonice
 - 1.1.3 Acțiuni periodice
 - 1.1.4 Acțiuni aleatoare și tranzitorii
- 1.2. Limite admisibile ale vibrațiilor construcțiilor și efectele lor nocive
 - 1.2.1 Caracteristici fizice cantitative de apreciere a vibrațiilor
 - 1.2.2 Influența vibrațiilor asupra omului
 - 1.2.3 Influența intensității și vitezei vibrațiilor asupra construcțiilor
 - 1.2.4 Efectele dăunătoare ale vibrațiilor asupra construcțiilor apreciate prin mărimea accelerației și deplasării
 - 1.2.5 Efectele dăunătoare ale vibrațiilor terenului de fundare produse de explozii asupra construcțiilor
 - 1.2.6 Limite admisibile ale vibrației construcțiilor
- 1.3 Considerații asupra unor realizări practice de ecrane cu rol de protecție antivibratorie
- 1.4 Clasificarea ecranelor
- 1.5 Despre unele studii experimentale privind protecția antivibratorie cu ecrane deschise
 - 1.5.1 Considerații privind ecranele deschise
 - 1.5.2 Teste de izolare activă
 - 1.5.3 Teste de izolare pasivă
 - 1.5.4 Concluzii privind izolarea activă cu ecrane deschise
- 1.6 Despre unele studii experimentale privind protecția antivibratorie cu ecrane rigide
 - 1.6.1 Considerații privind ecranele rigide
 - 1.6.2 Parametri experimentali
 - 1.6.3 Izolarea câmpului îndepărtat
 - 1.6.4 Ecranarea câmpului apropiat
 - 1.6.5 Concluzii privind protecția antivibratorie cu ecrane rigide
- 1.7 Studii și cercetări ce își propune să realizeze autorul

2 STUDII TEORETICE PRIVIND PROPAGAREA VIBRAȚIILOR PRIN PĂMÂNT

- 2.1 Considerații generale privind propagarea vibrațiilor prin pământ
 - 2.1.1 Ecuația generală a undelor primare
 - 2.1.2 Ecuația generală a undelor secundare
- 2.2 Asupra sistemului de unde elastice la suprafața pământului
 - 2.2.1 Viteza undelor Rayleigh
 - 2.2.2 Deplasările terenului produse de undele Rayleigh
- 2.3 Studii cu privire la propagarea undelor elastice prin pământuri saturate
 - 2.3.1 Ipoteze de bază
 - 2.3.2 Unde de presiune în gaze
 - 2.3.3 Unde de presiune în apă
 - 2.3.4 Despre undele elastice în pământuri saturate
- 2.4 Despre sistemul de unde provenind din surse aflate la suprafața pământului
- 2.5 Cu privire la atenuarea undelor elastice în pământuri omogene
 - 2.5.1 Amortizarea geometrică și de material
 - 2.5.2 Generalizarea calcului amortizării undelor în pământ

3 STUDII TEORETICE PRIVIND PROTECȚIA ANTIVIBRATORIE PRIN ECRANARE

- 3.1 Studii cu privire la reflexia și transmisia undelor pe/prin ecran.
 - 3.1.1 Considerații asupra ecuațiilor lui Zoepritz
 - 3.1.2 Despre coeficienții de reflexie și de transmisie
 - 3.1.3 Cu privire la expresiile generale ale undelor armonice incidente și transmise
 - 3.1.4 Studii privind reflexia și transmisia undelor pe/prin ecran
- 3.2 Studii privind difracția undelor la protecția prin ecranare
 - 3.2.1 Studii privind difracția undelor prin ecran
 - 3.2.2 Studii privind difracția undelor pe la capetele ecranului
 - 3.2.2.1 Influența distanței sursă - ecran
 - 3.2.2.2 Influența deplasării sursei paralel cu ecranul
 - 3.2.3 Studii privind difracția undelor pe sub ecran

4 CERCETĂRI EXPERIMENTALE EFECTUATE PE ECRANE RIGIDE

- 4.1. Cercetări întreprinse pe un ecran din beton armat
 - 4.1.1 Considerații generale privind ecranele din beton
 - 4.1.2 Condiții tehnice de realizare a măsurătorilor
 - 4.1.3 Poligonul experimental
 - 4.1.4 Caracteristicile ecranului
 - 4.1.5 Caracteristicile terenului de fundare
 - 4.1.6 Lanțul de măsură
 - 4.1.7 Rezultate experimentările
 - 4.1.8 Concluzii privind ecranele din beton armat
- 4.2 Rezultate obținute prin experimentările realizate pe un ecran din beton plastic

- 4.2.1 Condiții tehnice de realizare a ecranării
- 4.2.2 Rezultate experimentale
- 4.2.3 Concluzii privind ecranele din beton plastic

5 STUDII ȘI CERCETĂRI EXPERIMENTALE ASUPRA ECRANELOR CELULARE

- 5.1 Considerații asupra ecranelor celulare
 - 5.1.1 Aspecte teoretice care impun folosirea ecranelor celulare
 - 5.1.2 Aspecte tehnice ce impun folosirea ecranelor celulare
- 5.2 Condiții tehnice de realizare a încercărilor
 - 5.2.1 Poligonul experimental
 - 5.2.2 Ecranul și mediul de propagare al vibrațiilor
 - 5.2.3 Sursa de vibrații și lanțul de măsură
- 5.3 Prezentarea și prelucrarea rezultatelor experimentale obținute
 - 5.3.1 Metodologia determinărilor experimentale
 - 5.3.2 Etalonarea lanțului de măsură
 - 5.3.3 Prezentarea și prelucrarea datelor experimentale
 - 5.3.4 Reflexia și transmisia undelor prin ecranul celular
 - 5.3.5 Câteva încercări experimentale asupra tuburilor folosite la realizarea ecranelor
- 5.4 Concluzii privind ecranele celulare

6 CONSIDERAȚII ASUPRA UNOR INSTRUCȚIUNI TEHNICE DE PROTECȚIE ANTIVIBRATORIE PRIN ECRANARE

- 6.1 Soluții de protecție antivibratorie a construcțiilor prin amplasare
 - 6.1.1 Câteva elemente privind poziționarea construcțiilor față de sursa de vibrații
 - 6.1.2 Stabilirea cotei de fundare ținând seama de influența vibrațiilor
 - 6.1.3 Protecția antivibratorie prin separarea fundațiilor de teren
- 6.2 Recomandări cu privire la stabilirea tipului de ecranare și a materialului ecranului
 - 6.2.1 Cu privire la stabilirea tipului de ecranare
 - 6.2.2 Cu privire la alegerea materialului ecranului
- 6.3 Studii și recomandări privind stabilirea formei și dimensiunilor ecranului
 - 6.3.1 Asupra ecranării împotriva unor surse fixe de vibrații
 - 6.3.2 Asupra ecranării împotriva unor surse mobile de vibrații
 - 6.3.3 Stabilirea grosimii ecranului
- 6.4 Recomandări privind alcătuirea constructivă a ecranelor celulare
 - 6.4.1 Cu privire la realizarea constructivă a ecranelor celulare
 - 6.4.2 Câteva încercări experimentale asupra tuburilor folosite la realizarea ecranelor celulare
 - 6.4.3 Recomandări privind corelarea adâncimii ecranului celular cu tipul tuburilor folosite

**7 CONCLUZIILE, CONTRIBUȚIILE ȘI PROPUNERILE AUTORULUI LA TEMA
CERCETATĂ**

- 7.1 Concluzii generale cu privire la ecranarea antivibratorie a construcțiilor
- 7.2 Contribuții prin aplicarea cercetărilor întreprinse
- 7.3 Propuneri pentru continuarea cercetării

BIBLIOGRAFIE

INTRODUCERE

1. Conceptul de ecranare antivibratorie

Dezvoltarea urbanistică din ultimele decenii din întreaga lume și nu în ultimul rând din România, face ca un număr tot mai mare oameni să trăiască în mediul urban. Aceasta duce la creșterea densității populației din orașe, la reducerea tot mai mult a spațiilor disponibile pentru execuția de noi construcții în perimetrul existent al orașelor și, deci, nu de puține ori se ajunge să se execute construcții în apropierea unor străzi intens circulate, linii de tramvai, metrou etc. Pe de altă parte, dezvoltarea transportului urban și mai ales al celui rutier, necesită extinderea rețelei de străzi și lărgirea acestora, străzi care vor ajunge, nu de puține ori, foarte aproape de construcțiile existente, pe care le va afecta, ca urmare a vibrațiilor și zgomotelor produse de trafic. Această necesitate, a extinderii rețelei de drumuri și străzi, este dictată și de creșterea intensității traficului, atât sub aspectul numărului de vehicule, cât și al tonajului acestora. Prin urmare, un număr tot mai mare de vehicule, cu tonaj din ce în ce mai mare, vor circula pe străzile urbane și, prin vibrațiile ce le induc în teren, vor perturba tot mai mult zonele învecinate acestora, afectând construcții, instalații, oameni etc.

Un alt aspect al problemei este acela că fiecare oraș are tendința și obligația, de altfel, de a-și conserva monumentele și construcțiile ce conferă specificul arhitectural al zonei. Dar, nu de puține ori, căile de acces rutier în aceste zone ale orașului nu pot fi deviate, astfel că vibrațiile și zgomotele produse vor periclita stabilitatea construcțiilor, sau vor perturba viața oamenilor ce își desfășoară activitatea sau trăiesc în aceste zone. În felul acesta se ajunge în situația când zone, străzi sau clădiri izolate, care s-au aflat într-un mediu liniștit, să fie afectate tot mai mult de perturbațiile provenite din traficul rutier, tramvai etc.

Pe de altă parte, azi nici oamenii nu sunt dispuși să accepte prea ușor inconveniente legate de perturbațiile produse de vibrații și zgomote. Înșă, asigurarea unui mediu ferit de aceste perturbații vine în contradicție cu ceea ce am menționat la început, și anume, găsirea unui spațiu corespunzător, ferit de zgomote și vibrații, dar de preferat în zone cât mai apropiate de centrul civic al localităților.

Nu trebuie neglijat, de asemenea, că dotarea locurilor de muncă cu aparatură sensibilă la vibrații (instrumente sensibile, calculatoare, aparatură optică etc.) impune asigurarea unor spații adecvate, lucru care nu este întotdeauna posibil.

Toate aceste aspecte prezentate arată că un număr tot mai mare de oameni vor trăi sau își vor desfășura activitatea în zone cu vibrații în creștere și că tot mai mari părți din zonele urbane vor fi afectate de vibrații.

Protejarea față de aceste vibrații, și ne referim aici în special la cele transmise prin pământ, se face prin luarea unor măsuri ca:

- reducerea traficului prin redistribuirea pe alte căi de acces;

- interzicerea circulației între anumite ore;
- interzicerea circulației vehiculelor grele pe anumite străzi etc.

Toate aceste măsuri nu rezolvă însă problema, vibrațiile terenului, ale construcțiilor și instalațiilor, vor depăși adesea limitele admise, perturbând buna funcționare a utilajelor, folosirea adecvată a aparaturii, degradând treptat clădirile și nu în ultimul rând afectând sănătatea oamenilor.

În aceste cazuri, trebuie luate măsuri de protecție antivibratorie. Acestea pot fi *ecrane* (obstacole) executate în mediul de propagare al vibrațiilor (pământ), cu efect favorabil asupra ansamblului aspectelor de izolare. Se pot lua și măsuri de *izolare mecanică*, când se izolează mașini, componente ale amșinilor sau componente structurale ale construcțiilor, folosind izolatori localizați. Materialele din care sunt confecționați acești izolatori sunt: cauciucul, pâsla, arcuri cu amortizori hidraulici sau pneumatici.

Este important însă de apreciat, în orice situație specifică în care există vibrații, să se facă distincție între problemele de vibrații ce pot fi rezolvate prin izolare mecanică și cele în care aceasta nu poate fi folosită. Pentru acele probleme de vibrații pentru care izolarea mecanică este inadecvată, protecția prin ecranare poate fi soluția optimă de izolare.

Conceptul de izolare cu ecrane se bazează pe reflexia, refractia, dispersia și difracția energiei undei, la întâlnirea ecranului așezat în calea acesteia. **Ecranele pot consta din bariere solide, fluide sau perne de aer, așezate în pământ, în calea undelor.** Ecranul cel mai eficient sub aspect tehnic este acela care transmite minimum de energie de undă.

Deoarece sursele de vibrații care își transmit energia sub formă de unde progresive în pământ au caracteristici diferite, teza va trata numai protecția contra vibrațiilor provenite de la sursele de suprafață, așa cum ar fi: traficul rutier și feroviar, vibrațiile produse de mașinile și instalațiile industriale, explozii etc. Se apreciază că ecranelor cercetate au un efect de ecranare mult mai redus față de undele seismice provenite de la cutremure. Motivul este, pe de o parte, că undele seismice ce afectează construcțiile se transmit de la roca de bază, prin depozitul sedimentar, spre construcție, iar pe de altă parte, lungimile de undă mari nu pot fi oprite să nu afecteze construcțiile prin ecrane de dimensiuni acceptabile din punct de vedere tehnic

Acest aspect, al protecției antiseismice a construcțiilor, face, de altfel, obiectul de studiu și cercetare al ingineriei seismice, de aceea, nu vom mai face, decât întâmplător, referire la el.

O sursă de vibrații aflată la suprafața pământului transmite energie în pământ sub formă de unde primare (P), secundare (S) și unde de suprafață, denumite și unde Rayleigh (R). Acesta este cazul cel mai simplu, când pământul este considerat un semispațiu continuu, omogen și izotrop.

Undele P și S radiază în interiorul pământului după un front de undă sferic, pierzându-și rapid energia prin dispersie geometrică și amortizare. Amortizarea acestor unde este proporțională cu r^{-2} spre interiorul scoarței terestre și cu r^{-1} pentru undele aflate în apropierea scoarței (r fiind depărtarea de sursă).

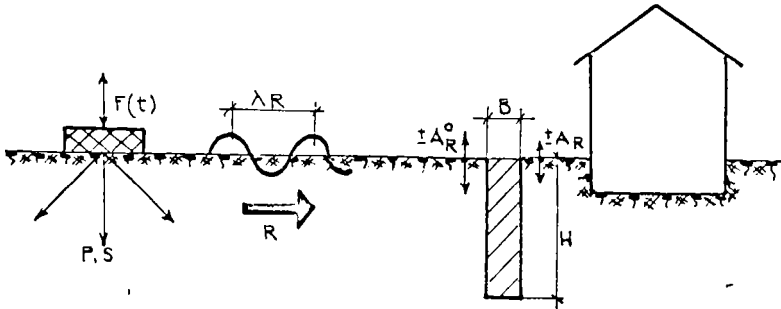


Fig.1 Ecranarea undelor Rayleigh

Undele R se propagă la suprafața scoarței după un front de undă cilindric. Amortizarea lor este foarte slabă (proporțională cu $r^{-0.5}$), transmițându-se, prin urmare, la distanța cea mai mare de sursă. Ele transmit cea mai mare parte din energia sursei (67% după Myller și Pursey, 1954, citați în [101]), iar la o anumită distanță de sursă, vibrațiile terenului se produc exclusiv datorită acestor unde (Woods, 1968 [111], [139]).

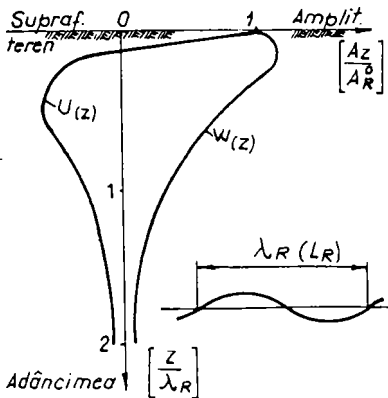


Fig.2 Funcțiile deplasării undelor R

În vedere la oscilații cu lungimi de undă mari, cum sunt, spre exemplu, cele provenite de la cutremure.

Un alt aspect al protecției antivibratorii a construcțiilor, față de vibrațiile ce se transmit prin terenul de fundare, este acela al poziției ecranului față de sursa de vibrații.

Sub acest aspect, protecția antivibratorie se poate realiza prin:

- izolare activă (la sursă, în câmp apropiat);

- izolare pasivă (la obiect, în câmp îndepărtat).

1. Protecția prin izolarea activă (fig.3) presupune executarea ecranului de protecție în apropierea sursei de vibrații. Distanța de sursă a ecranului (R_0) nu va depăși, după Lysmer, 1966 [63], $2,5\lambda_R$. Soluția de protecție prin izolarea activă a

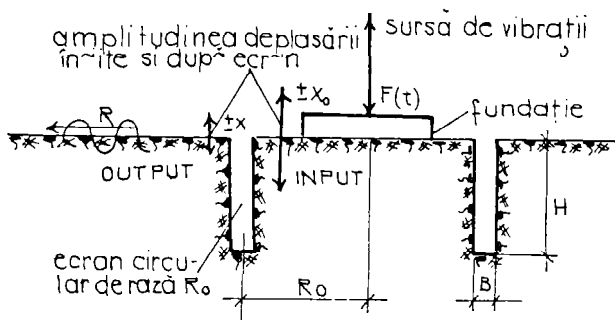


Fig.3 Protecția prin izolare activă

sursei de vibrații este aproape singura soluție posibilă atunci când sursa de vibrații este mobilă (trafic rutier și feroviar), sau atunci când construcțiile sunt deja executate și trebuie luate măsuri ulterioare de limitare a vibrațiilor.

Mărimile care caracterizează eficiența protecției prin ecranare sunt amplitudinile deplasării, vitezei sau accelerației, înainte și după ecranare.

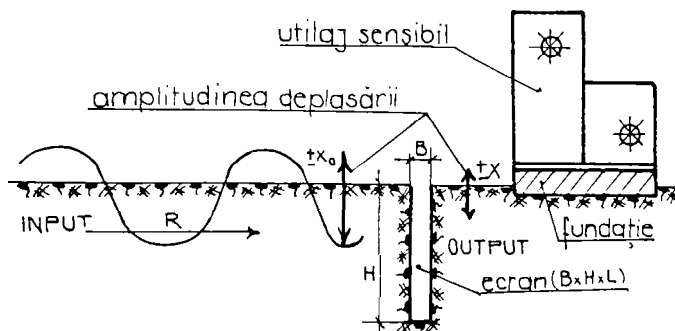


Fig.4 Protecția prin izolare pasivă

2. Protecția prin izolarea pasivă (fig.4) se realizează atunci când ecranul se află la distanță mare de sursa de vibrații, dar aproape de zona în care amplitudinea vibrațiilor trebuie redusă (de obiect). Pe lângă mărimile cinematice ale mișcării terenului din spatele ecranului, importantă este, în acest caz, aria de extindere în plan a suprafeței protejate (conul de "umbră"), având în vedere fenomenele de difracție a undelor pe la capetele ecranului și pe sub ecran.

Variabilele primare cele mai importante, pentru ambele tipuri de izolare, de care trebuie ținut seama la realizarea ecranării, sunt: dimensiunile geometrice ale ecranului (grosimea, adâncimea, lungimea), materialul de execuție (beton, noroi

bentonitic etc.), poziția ecranului față de sursa de vibrații și față de direcția de atac a frontului undelor etc.

Protecția antivibratorie a construcțiilor față de vibrațiile transmise prin terenul de fundare se poate face nu numai prin izolare ci și prin poziționarea construcției față de sursele de vibrații (atunci când acest lucru este posibil). Se are în vedere, aici, clădirile sensibile la vibrații, ce urmează a fi executate, la care definitivarea amplasamentului va ține seama de aceasta. Așa după cum s-a arătat, reducerea amplitudinii undelor în pământ se face prin **amortizare geometrică**, mărime dependentă exponențial de depărtarea de sursă, dar și prin **amortizare de material**, așa după cum se va arăta, mărime ce depinde de natura și caracteristicile pământului străbătut de unde. Uneori, acești factori pot fi hotărâtori în stabilirea amplasamentului unei viitoare construcții.

2. Motivația cercetării întreprinse

Studiile efectuate în catedră timp de peste 30 de ani au fost orientate în bună parte pe probleme de folosire a tehnicii vibrării în lucrări de fundații [77], [74], [85], [88]. Ne referim aici în special la cercetări în domeniul înfîngurii piloților și palplanșelor prin vibrare [86], la îmbunătățirea terenurilor slabe de fundare prin folosirea utilajelor vibratoare, la executarea de piloți, ploturi, ștanțări ale gropilor de fundații etc., lucrări executate în majoritatea cazurilor prin tehnica vibrării [126], [128].

Aceste studii și cercetări au fost concretizate printr-o serie de contracte cu diverși beneficiari aflați în aproape toate zonele țării, precum și prin editarea a diferite normative, îndrumătoare, publicare de cărți și, nu în ultimul rând, prin diferite articole publicate în țară și în străinătate, care, toate au adus un bun prestigiu colectivului din care și autorul tezei face parte. Tot în acest domeniu, un alt aspect al cercetărilor a fost axat pe influența vibrațiilor terenului de fundare asupra modificării caracteristicilor fizico-mecanice, statice și dinamice ale acestuia [44], pe găsirea de noi materiale de izolare a fundațiilor de mașini [13], sau de execuție a sondajelor geotehnice folosind tehnica vibrării.

Experiența acumulată de colectiv în acest domeniu a permis abordarea unei astfel de teme, temă ce privește izolarea antivibratorie prin ecranare a ansamblului fundațiilor unei clădiri, sau, după caz, numai a unei singure fundații.

Cercetarea abordată este destul de complexă și implică domenii conexe geotehnicii, cum sunt geofizica, ingineria seismică, geodinamica, acustica etc. De aceea, teza conține *o parte de cercetare teoretică*, prezentată în capitolele 2 și 3, care sunt legate de problema propagării vibrațiilor prin pământ, respectiv de reflexia undelor pe ecran, precum și de transmiterea prin refracție și difracție a energiei undelor în spatele ecranului.

Totodată, teza conține și *o parte de cercetare aplicativă*, prezentată în capitolul 4, care încearcă să arate, prin măsurători directe, rezultatele ce se obțin prin folosirea ecranelor rigide din beton sau din beton plastic. Capitolul 5 conține *o cercetare aplicativă originală*, realizată prin **soluția nouă propusă de autor, de protecție antivibratorie cu ecrane celulare**. Această soluție încearcă să se

constituie într-o metodă mai ieftină, mai ușor de executat și mai eficientă, față de soluțiile de ecranare existente, folosite până în prezent. Măsurătorile din laborator sau de pe teren, făcute pe ecranele celulare propuse, vin în sprijinul acestor afirmații, măsurători prezentate pe larg în capitolul 5.

Un alt motiv și totodată obiectiv al cercetării întreprinse de autor este acela de a oferi o metodologie de calcul a unei lucrări de ecranare antivibratorie, care să completeze un domeniu gol, puțin cunoscut și folosit la noi în țară până în prezent.

Încercările de ecranare efectuate până în prezent, în țară, au avut un caracter mai mult sau mai puțin empiric, s-au bazat mai mult pe cercetările efectuate în străinătate în acest domeniu și nu au beneficiat de aportul unor măsurători și realizări proprii.

Sub acest aspect, capitolul 6 face o încercare de sumare a unor norme de proiectare, strict necesare pentru elaborarea unor aplicații de ecranare antivibratorie.

Considerăm că studiile prezentate în teză vin să completeze cercetările efectuate în străinătate, aducând totodată la cunoștința specialiștilor geotehnicieni din țară, și nu numai lor, o metodă nouă, actuală și de perspectivă pentru protejarea mediului împotriva vibrațiilor.

3. Ecranarea antivibratorie - între teorie și practică

Așa după cum a arătat Lord Rayleigh în 1885, citat în [113] și după aceea Lamb în 1904, citat în [111], adâncimea în teren până la care undele R produc

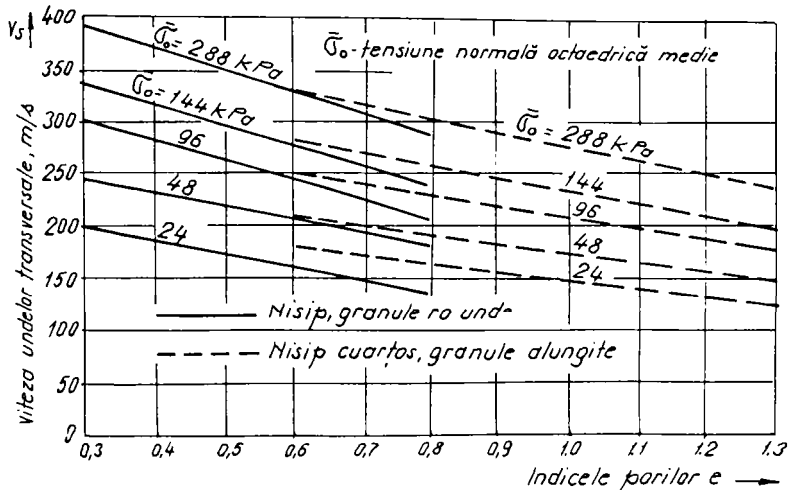


Fig.5 Viteza undelor de forfecare în nisipuri [49]

deplasări semnificative este de $1,4\lambda_R$, iar sub $2\lambda_R$ adâncime, aceste unde nu se mai resimt. Componentele orizontale și verticale ale deplasărilor se pot vedea în fig.2, prin cele două funcții ale deplasării - orizontală $U(z)$ și verticală $V(z)$. După cum se va vedea în sinteza documentară din capitolul 1, recomandările diferiților autori de realizare a ecranelor deschise (Woods, 1968 [139], Hall și Richard, 1974 [111] ș.a.)

sau a ecranelor rigide (Prange, Haupt, 1978 [51], [52], [102], sunt ca acestea să aibă adâncimea de cel puțin $0,6\lambda_R$ pentru cele realizate în câmp apropiat și $1,4\lambda_R$ pentru ecranarea în câmp îndepărtat.

Sintetizând acțiunile dinamice asupra terenului de fundare, V.Perlea, 1984 [94], le reprezintă grafic, în funcție de frecvență (vezi fig.1.1). După cum rezultă din acest grafic, traficul rutier, vibrațiile mașinilor tehnologice, exploziile, baterea piloților și patțial compactarea cu cilindri vibrocompactori au frecvențe ce depășesc, în general, 10 Hz. Din contră, cutremurele și valurile (desigur cu acțiune mult mai restrânsă) au, în general, frecvențe sub 10 Hz.

Pe baza cercetărilor efectuate de Hardin și Richard, 1963 [49], viteza undelor de forfecare, de exemplu, pentru nisipuri cu forme geometrice diferite este cuprinsă între 150 și 400 m/s, fiind în funcție de indicele porilor (e) și de efortul unitar normal octaedric (σ_0), (fig.5). Considerând domeniul de frecvențe de 10...300Hz și vitezele undelor S de 150...300 m/s, undele R având viteza $v_R = 0,91v_S$, când coeficientul lui Poisson $\nu = 1/4$ (vezi cap.2), lungimile de undă λ_R vor avea valorile prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1 Adâncimea de realizare a ecranelor în izolare activă și pasivă

Frecvența Hz	Viteza v_R m/s	λ_R m	$0,6\lambda_R$ m	$1,4\lambda_R$ m
10	145	14,50	8,70	20,30
10	300	30,00	18,00	42,00
20	145	7,25	4,40	10,15
20	300	15,00	9,00	12,60
50	145	2,90	1,74	4,06
50	300	6,00	3,60	8,40
100	145	1,45	0,87	2,03
100	300	3,00	1,80	4,20
200	1,45	0,725	0,44	1,01
200	300	1,50	0,90	2,10
300	1,45	0,48	0,29	0,67
300	300	1,00	0,60	1,40

Analizând acest tabel, putem trage următoarele concluzii:

1. La pământuri compacte și frecvențe mici ale solicitării dinamice, pentru ca ecranarea să devină eficientă, ecranul ar trebui să aibă cel puțin 18 m adâncime, lucru greu de realizat în practică.

2. La frecvențe de peste 20 Hz, indiferent de starea de compactare a pământului, ecranele devin eficiente dacă au o adâncime de cel puțin 10 m.

3. Când sursa perturbatoare trece de 100 Hz, ecranele de 4m adâncime realizează o ecranare corespunzătoare.

4. Sub frecvența de 10 Hz, când lungimea de undă trece de 30 m (cum sunt, de exemplu, undele seismice la care lungimea de undă poate ajunge de ordinul

sutelor de metri sau a kilometrilor), nu se mai pune problema izolării construcțiilor prin ecranare, realizările practice de ecrane fiind imposibile, din cauza necesității unei adâncimi mari.

De aceea, izolarea construcțiilor față de undele seismice se face prin măsuri de reducere a energiei induse în structură, folosind fundații cinematice, stâlpi pendulari la nivelul parterului sau se vor lua măsuri de disipare a energiei induse în structură folosind amortizori izolați sau legături care ies din lucru (fig.6).

De asemenea, din figură rezultă și încadrarea izolării antivibratorii a infrastructurii construcțiilor, prin ecrane interpușe între construcție și sursa de vibrații, în pământ, corelat cu celelalte măsuri, specifice ingineriei seismice.

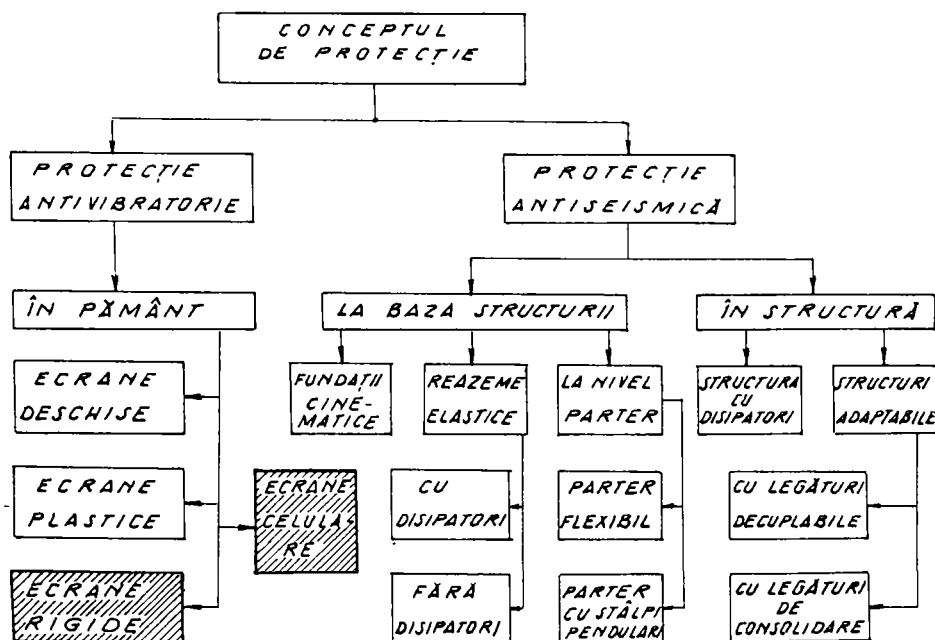


Fig. 6 Conceptul de protecție antivibratorie a construcțiilor

Din această figură se observă că ecranarea cuprinde domeniul măsurilor de protecție realizate în pământ și, deci, aceasta presupune, în general, izolarea întregului sistem de fundații.

Cercetările prezentate în teză se vor referi la metodele de protecție ce se realizează în terenul de fundare, în general, și în particular la folosirea ecranelor rigide și plastice. De asemenea, teza propune, așa cum s-a mai arătat, o soluție nouă de protecție antivibratorie prin ecranele celulare, ecrane concepute și experimentate de autor.

CAPITOLUL I

STUDIU DOCUMENTAR PRIVIND PROTECȚIA ANTIVIBRATORIE A CONSTRUCȚIILOR PRIN ECRANARE

1.1 DESPRE ACȚIUNILE DINAMICE ASUPRA TERENULUI DE FUNDARE

1.1.1 Clasificarea acțiunilor dinamice

Există o mare diversitate de acțiuni dinamice asupra terenului de fundare care, deosebindu-se prin diagramele amplitudine-timp caracteristice, conduc la răspunsuri diferite ale masivului de pământ, fiind posibilă sau nu, asimilarea comportării lor neliniare, printr-un model liniar-elastic. Durata de aplicare a încărcării are, pe de altă parte, o influență determinantă asupra deformațiilor remanente și, implicit, asupra aspectelor calitative și cantitative de comportare a terenului.

a. După natura lor, acțiunile dinamice asupra terenului de fundare pot fi clasificate în [8], [34], [50], [64], [68], [94], [119]:

- *naturale* (cutremur, valuri, vânt etc.);

- *artificiale* (explozii, activități de construcții, trafic, mașini și instalații cu mase neechilibrate sau care provoacă șocuri etc.).

b. După cum parametrii cinematici ai acțiunii - deplasări, viteze, accelerații - pot fi sau nu exprimați prin anumite relații matematice, care să arate desfășurarea lor în timp, acțiunile dinamice pot fi *deterministe* și *aleatoare*.

c. După variația în timp a parametrilor cinematici, acțiunile deterministe pot fi *periodice* și *neperiodice*. Acțiunea *armonică* este aceea la care deplasarea, viteza și accelerația se exprimă printr-o singură funcție de sinus sau cosinus.

d. După caracterul matematic al ecuațiilor diferențiale care descriu acțiunea, acțiunile dinamice pot fi *liniare* sau *neliniare*.

În figura 1.1, după V. Perlea [94], sunt prezentate, în mod aproximativ, domeniile de frecvență ale vibrațiilor induse în teren de diferite acțiuni dinamice. Se observă că exploziile, traficul, utilajele, acționează în domeniul frecvențelor înalte (peste 10 Hz); cutremurele de pământ în domeniul frecvențelor medii (0,1...10 Hz), iar valurile în domeniul frecvențelor joase (sub 0,5 Hz).

Deoarece în lucrarea de față nu se pune problema izolării construcțiilor față de vibrațiile transmise prin pământ ce provin din surse seismice, referirea la aceasta va fi pur întâmplătoare. Prin urmare, nu va fi cercetat acest aspect al problemei, considerându-se că aceasta constituie o problemă de studiu a ingineriei seismice.

1.1.2 Acțiuni armonice

A. Cinematica acțiunilor armonice

Acțiunile armonice se numesc și acțiuni periodice simple, deoarece pot fi exprimate prin funcții trigonometrice simple (de sinus sau cosinus), variabile în timp. Mărimea acțiunii este caracterizată de amplitudinea A , iar caracterul ciclic de perioada T , frecvența f sau pulsația ω .

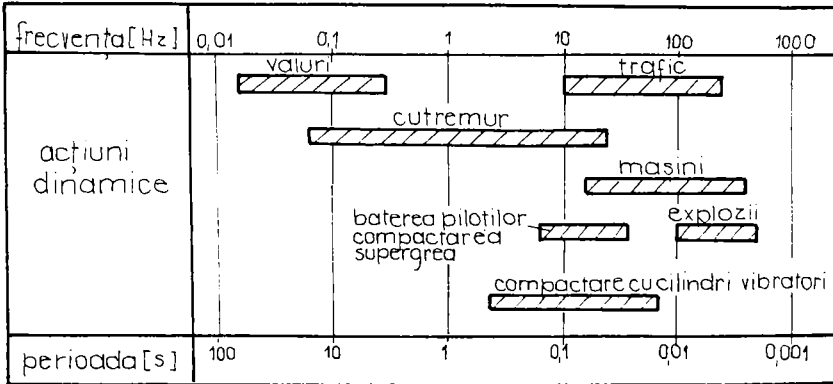


Fig.1.1 Domeniul de frecvență corespunzător diferitelor acțiuni dinamice [94]

Ecuția acțiunii armonice, a cărei grafic este prezentat în figura 1.2a [3], [50], [93], [94], este dată prin variația elongației (z) în timp:

$$z = A \sin(\omega t + \varphi), \quad (1.1)$$

cu faza inițială $\varphi \in [-\pi, \pi]$.

Viteza:

$$v = \frac{dz}{dt} = \dot{z} = \omega A \cos(\omega t + \varphi) = \omega A \sin\left[\frac{\pi}{2} + (\omega t + \varphi)\right], \quad (1.2)$$

- $\omega A \leq v \leq \omega A$, este defazată cu $\pi/2$ înainte față de elongație.

Accelerația:

$$a = \dot{v} = \ddot{z} = -\omega^2 A \sin(\omega t + \varphi) = \omega^2 A \sin(\pi + \omega t + \varphi), \quad (1.3)$$

- $\omega^2 A \leq a \leq \omega^2 A$, este defazată cu π față de elongație.

Reprezentarea grafică a funcțiilor (1.2) și (1.3), cu variabila independentă timpul (t), este dată în figura 1.2b.

Cele patru mărimi (f, z, v, a) sunt perfect determinate dacă se cunosc două dintre ele. Diagrama de dependență între valorile curente ale frecvenței, elongației, vitezei și accelerației este reprezentată în figura 1.2d.

B. Reprezentarea vectorială a mărimilor armonice [50], [54]

i. *Reprezentarea fazorială* (Fresnel) a unei mărimi armonice se face prin proiecția pe o axa a unui vector (fazor), de modul A , care se rotește în sens trigonometric cu viteza unghiulară ω (fig.1.2c). Analog, viteza și accelerația sunt

date în fiecare moment de proiecțiile vectorilor de modul (ωA) și $(\omega^2 A)$, defazați cu $\pi/2$ respectiv π față de vectorul amplitudine.

În reprezentarea fazorială, fazorul asociat mărimii sinusoidale este un vector fix, de modul egal cu valoarea mărimii sinusoidale și de argument egal cu faza

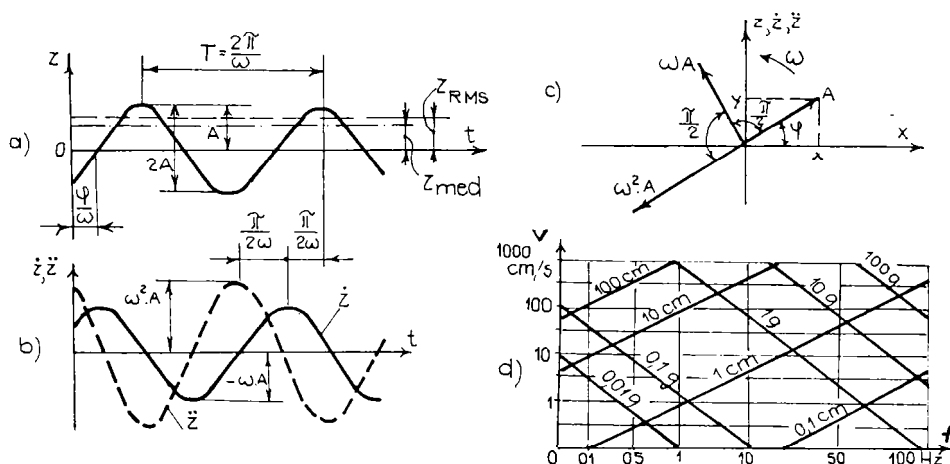


Fig.1.2 Reprezentarea grafică a mărimilor armonice [94]: a, b - funcțiile z, v și a , în funcție de timp; c - reprezentare fazorială; d - dependența vitezei de frecvență

inițială (φ) a mărimii.

Fazorul conservă din mărimea sinusoidală numai elementele care îl individualizează în raport cu ceilalți fazori, care reprezintă mărimi sinusoidale de aceeași frecvență, dar cu valoarea efectivă și fază inițială care pot fi diferite.

Interdependența celor trei mărimi (z , v și a) se obține prin eliminarea timpului, iar prezentarea lor grafică este dată, în funcție de frecvență, în figura 1.2d.

ii. *Reprezentarea complexă* a mărimilor armonice se face plecând de la considerentul că o armonică poate fi reprezentată prin oricare din ecuațiile:

$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi) \quad \text{sau} \quad y(t) = \sin(\omega t + \varphi) \quad (1.5)$$

Considerând că aceste funcții reprezintă proiecțiile pe axe, într-un planul complex, ale unui vector de modul A , se poate scrie [13],[24],[50],[94],[122]:

$$z(t) = x(t) + iy(t) = A[\cos(\omega t + \varphi) + i\sin(\omega t + \varphi)] \quad (1.6)$$

În baza formulelor lui Euler date în [50],[54],[137]:

$$e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta; \quad e^{-i\theta} = \cos \theta - i \sin \theta, \quad (1.7)$$

putem scrie:

$$z = Ae^{i\theta} = |z|e^{i \arg z}; \quad |e^{i\theta}| = 1, \quad (1.8)$$

unde :

$$A = |z| = \sqrt{x^2 + y^2}; \quad \arg z = y/x; \quad \theta = \omega t + \varphi.$$

Dacă privim acum fazorii din figura 1.2c ca reprezentând numere complexe, putem scrie:

$$x = A \cos(\omega t + \varphi) = \operatorname{Re}\{A e^{i(\omega t + \varphi)}\} = \operatorname{Re}\{\bar{A} e^{i\omega t}\}, \quad (1.9)$$

unde:

$$\bar{A} = A e^{i\varphi}; |\bar{A}| = A; |e^{i\varphi}| = 1;$$

\bar{A} numindu-se amplitudine complexă, a cărei modul este amplitudinea reală, iar argumentul ei este faza inițială (φ).

Derivarea mărimilor sinusoidale în raport cu timpul revine la înmulțirea lor cu $i\omega = \omega e^{i\pi/2}$, adică la înmulțirea lor cu ω și defazarea cu $\pi/2$ înainte.

Astfel, viteza complexă va fi:

$$\bar{v} = \dot{\bar{x}} = i\omega \bar{A} e^{i\omega t} = i\omega \bar{x} = \omega \bar{A} e^{i(\omega t + \pi/2)} = \omega A e^{i(\omega t + \varphi + \pi/2)} \quad (1.10)$$

de unde viteza reală:

$$v = \operatorname{Re}\{\omega A e^{i(\omega t + \varphi + \pi/2)}\} = \omega A \cos(\omega t + \varphi + \pi/2) \quad (1.11)$$

Accelerația complexă:

$$\bar{a} = \dot{\bar{v}} = i\omega \bar{v} = i\omega \dot{\bar{x}} = -\omega^2 \bar{x} = -\omega^2 \bar{A} e^{i\omega t} = \omega^2 A e^{i(\omega t + \varphi + \pi)}, \quad (1.12)$$

de unde accelerația reală:

$$a = \operatorname{Re}\{\omega^2 A e^{i(\omega t + \varphi + \pi)}\} = \omega^2 A \cos(\omega t + \varphi + \pi). \quad (1.13)$$

B. Caracteristicile acțiunilor armonice [9], [17], [24], [50], [122]

Frecvența acțiunilor armonice depinde numai de proprietățile sistemului oscilant care produce acțiunea dinamică și nu depinde de amplitudinea și faza oscilațiilor.

Amplitudinea acțiunii depinde de condițiile inițiale ale sistemului oscilant, adică de elongația și viteza sistemului la momentul inițial dat.

Valoarea medie a acțiunii armonice este definită prin relația:

$$F_{med} = \frac{1}{a-b} \int_a^b |F| dt = \frac{1}{T} \int_0^T |F| dt, \quad (1.14)$$

unde: $F = F_0 \sin(\omega t + \varphi)$.

Valoarea efectivă, efecace sau rădăcina medie pătratică (root mean square) este definită prin:

$$F_{RMS} = F_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T F^2 dt}. \quad (1.15)$$

Intre mărimile respective, precizate mai sus, există relațiile :

$$F_{ef} = \frac{F_0}{\sqrt{2}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} F_{med} = 1,11 F_{med} = F_f F_{med}; \quad (1.16)$$

$$F_{med} = \frac{2}{\pi} F_0 = 0,636 F_0 = 0,9 F_{ef} = \frac{F_0}{F_c}, \quad (1.17)$$

unde F_c și F_f sunt denumiți "factor de creastă" și respectiv "factor de vârf", definiți prin relațiile [26]:

$F_c = F_0 / F_{RMS}$; $F_f = F_{RMS} / F_{med}$,
care, pentru mărimile armonice au valorile:

$$F_c = \sqrt{2} (\cong 3dB) \quad \text{și} \quad F_f = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} (\cong 1dB).$$

Cunoașterea uneia dintre cele două mărimi implică automat și posibilitatea aflării celeilalte.

C. Energia transmisă de acțiunile armonice

Energia cinetică (E_c), potențială (E_p) și totală (E), a unui sistem care transmite acțiune armonică este [24], [50], [54]:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \varphi); \quad (1.18)$$

$$E_p = \frac{1}{2} k A^2 \cos^2(\omega t + \varphi) = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \cos^2(\omega t + \varphi); \quad (1.19)$$

$$E = E_c + E_p = \frac{1}{2} m (v^2 + \omega^2 x^2) = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 = \frac{1}{2} k A^2. \quad (1.20)$$

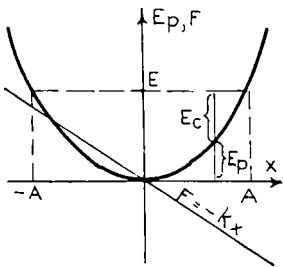


Fig. 1.3 Dependența energiei și forței de elongație

Energia totală este constantă (se conservă) și este proporțională cu pătratul amplitudinii și cu pătratul frecvenței.

Dependența energiei potențiale de elongație este parabolică (fig. 1.3), iar forța:

$$F = -dE_p / dx = -kx, \quad (1.21)$$

este liniar dependentă și se anulează acolo unde energia potențială este minimă.

Valorile medii ale energiei cinetice și potențiale se pot determina plecând de la relația de calcul a valorii medii [54]:

$$E_{cmed} = \langle E_c \rangle = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \langle \sin^2(\omega t + \varphi) \rangle = \frac{1}{4} m \omega^2 A^2 = \frac{E}{2}; \quad (1.22)$$

$$E_{pmed} = \langle E_p \rangle = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \langle \cos^2(\omega t + \varphi) \rangle = \frac{1}{4} m \omega^2 A^2 = \frac{E}{2}, \quad (1.23)$$

deoarece:

$$\langle \sin^2 \alpha \rangle = \frac{1}{2} (1 - \langle \cos 2\alpha \rangle) = \frac{1}{2} \quad \text{și} \quad \langle \cos^2 \alpha \rangle = \frac{1}{2} (1 + \langle \cos 2\alpha \rangle) = \frac{1}{2},$$

iar valorile medii ale sinusului și cosinusului pe o perioadă T sunt, evident, nule.

D. Cazuri practice de acțiuni armonice

a. *Încărcările dinamice transmise de utilajele vibrocompactoare*, folosite în lucrările de construcții, se caracterizează printr-o diagramă de încărcare de tipul

cele prezentate în figura 1.4. Solicitarea terenului este dată de o încărcare statică, de tipul unei presiuni statice sau încărcare liniară, peste care se suprapune presiunea dinamică dată de masele neechilibrate ale vibratorului.

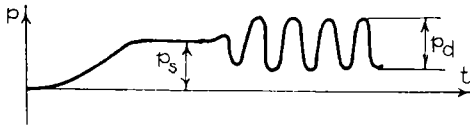


Fig. 1.4 Încărcarea transmisă de utilajele vibrocompactoare [94]

Frecvența utilajelor vibratoare (plăci, cilindri) este în domeniul 33...55 Hz, iar amplitudinea vibrațiilor $A = 0,4...0,8$ mm. Raportul dintre presiunea dinamică (p_d) și cea statică (p_s) definește coeficientul dinamic [29]:

$$\psi = p_d / p_s, \quad (1.24)$$

care, la utilajele compactoare, poate ajunge la valori de până la 3.

b. *Încărcările dinamice transmise de mașinile unelte* pot fi de tip armonic când mașinile au componente neechilibrate ce se rotesc (roți, arbori etc.), sau natura procesului tehnologic implică o astfel de acțiune. Pentru exemplificare prezentăm încărcările transmise terenului de o mașină de găurit cu ax orizontal, la diferite regimuri de funcționare, fig.1.5. Se observă că după cum pulsația excitatoare se apropie sau se îndepărtează de rezonanța a ansamblului fundație-mașină, amplitudinea oscilațiilor terenului de fundare

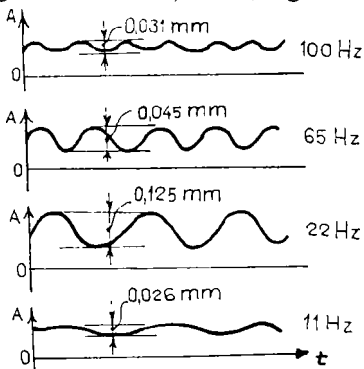


Fig.1.5 Solicitare transmisă de o mașină de găurit [50]

val cu o anumită amplitudine, pentru o anumită asigurare, din graficul de dependență (histograma) întocmit pe o perioadă de mai mulți ani (fig.1.6c). Asigurarea se ia în funcție de clasa de importanță a construcției ce urmează a fi calculată.

1.1.3 Acțiuni periodice

A. Cinematica acțiunilor periodice

Acțiunile periodice se caracterizează prin aceea că se repetă după un interval minim de timp (perioada T), figura 1.7. [17], [26]. Caracteristicile cinematice ale mișcării periodice (perioadă, frecvență etc.) au aceleași semnificații cu ale acțiunilor armonice.

c. Acțiunea dinamică a valorilor

Valurile acționează asupra terenului de fundare și a elementelor de construcție cu care vin în contact sub forma unei încărcări prezentate în diagramele din figura 1.6 [94], [106]. Urmărirea încărcărilor date de valuri în timp, se face sub forma unui grafic de dependență a amplitudinii vibrațiilor de timp, așa cum este prezentat în figura 1.6a, și 1.6b. Stabilirea valului de calcul se face luând un

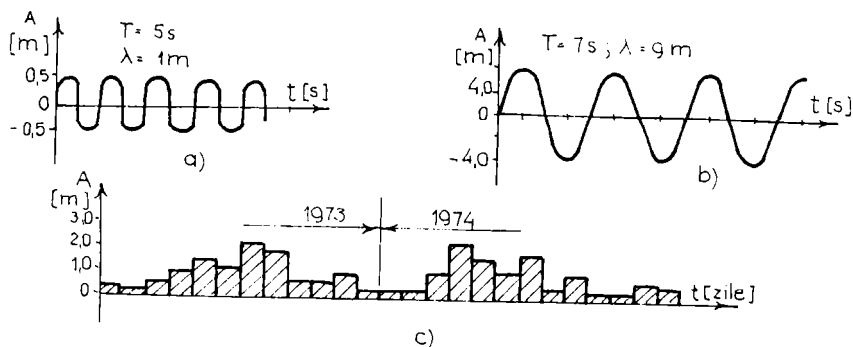


Fig. 1.6 Incărcarea dinamică a valurilor [106]: a,b - dependența amplitudinii de timp; c - curba diferențială

Funcțiile care aproximează acțiunile periodice pot fi descompuse în mișcări armonice, prin analiza spectrală Fourier.

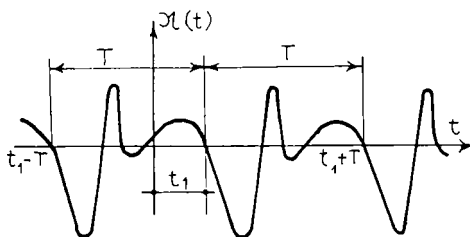


Fig. 1.7 Acțiunea periodică [26]

B. Analiza spectrală a funcțiilor periodice [24], [50], [55], [99], [131].

Funcțiile periodice care pot reprezenta acțiuni sau vibrații, întâlnite în probleme de dinamică, pot fi reprezentate printr-o serie armonică Fourier, care reprezintă o sumă de armonice ale căror frecvențe sunt multipli ai frecvenței fundamentale.

Amplitudinile componentelor armonice sunt cunoscute sub denumirea de coeficienți Fourier (A_n). Funcția se exprimă matematic astfel:

$$f(t) = \sum_{n=0}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cos(n\omega t + \alpha_n), \quad (1.25)$$

unde coeficienții dezvoltării a_n și b_n se obțin înmulțind această dezvoltare cu $\cos k\omega t$ și $\sin k\omega t$, și integrând pe o perioadă $T=2\pi/\omega$.

Deoarece:

$$\int_0^T \cos n\omega t \sin k\omega t dt = 0; \quad \int_0^T \cos n\omega t \cos k\omega t dt = \frac{T}{2} \delta_{nk};$$

$$\int_0^T \sin n\omega t \sin k\omega t dt = \frac{T}{2} \delta_{nk},$$

unde δ_{nk} este simbolul Kroneker, rezultă următoarele formule pentru coeficienții Fourier:

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt = \langle f(t) \rangle, \quad (\text{valoarea medie a funcției } f(t)); \quad (1.26)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n\omega t dt; \quad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin n\omega t dt; \quad (1.27)$$

$$A_n = (a_n^2 + b_n^2)^{1/2}. \quad (1.28)$$

Dacă funcția $f(t) = f(-t)$ ea este o funcție pară, seria va avea numai termeni în cosinus, iar pentru funcția impară numai termeni în sinus.

Folosind reprezentarea complexă, dezvoltarea Fourier se poate scrie cu ajutorul funcțiilor exponențiale [26], [50], [74], [137]:

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{in\omega t}; \quad c_n = \frac{1}{2}(a_n - ib_n), \quad (1.28)$$

$$c_n = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f^2(t) e^{-in\omega t} dt = c_n(i\omega t), \quad (1.29)$$

unde T este perioada fundamentală.

Graficul $|c_n(i\omega t)|$ se numește *spectru de frecvențe* al funcției $f(t)$; pentru funcțiile periodice acesta este un spectru de linii discret.

Puterea medie pe o perioadă T este egală cu valoarea medie pătratică a funcției $f(t)$:

$$\langle f^2(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f^2(t) dt = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |c_n|^2 \quad (1.30)$$

Reprezentarea mărimilor în funcție de pulsațiile $n\omega_0$ (ω_0 - pulsația fundamentală) dă spectrul puterii funcției $f(t)$.

Expresia (1.30) se poate scrie și sub forma:

$$\langle f^2(t) \rangle = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[\frac{|c_n|^2}{\Delta\omega} \right] \Delta\omega = \sum_{n=-\infty}^{\infty} S_{(n\omega)} \Delta\omega, \quad (1.31)$$

unde $S(n\omega)$ este densitatea spectrală a mediei pătratice sau *densitatea spectrală de putere* a funcției $f(t)$.

Analiza spectrală are scopul de a determina coeficienții dezvoltării Fourier (A_n) și a unghiurilor de fază (α_n). În dezvoltarea unei funcții într-o serie Fourier se presupune că forma undei se repetă identic cu cea din perioada T și deci, toate frecvențele componentelor sunt determinate dacă acestea se determină pe o perioadă T . Atunci când se face o analiză Fourier a unei funcții, în practică se obișnuiește să se aleagă o parte tipică a funcției, care se consideră că reprezintă funcția pe timpul unei perioade. Consecințele acestei alegeri sunt:

- perioada de timp aleasă determină frecvențele liniei spectrale rezultante, chiar dacă aceste frecvențe nu sunt cele reale ale funcției;
- funcția inițială $f(t)$ se presupune formată dintr-o sumă de componente armonice pure.

C. Reprezentarea mărimilor periodice prin spectre de linii

Rezultatele analizei privitoare la o mărime periodică pot fi rezumate prin trasarea frecvențelor discrete și a amplitudinilor corespunzătoare (fig. 1.8).

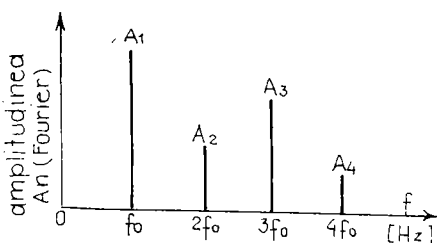


Fig. 1.8 Spectrul de linii al unei funcții periodice

Amplitudinile pot reprezenta deplasări, forțe, presiuni, viteze, accelerații etc. Reprezentarea prin spectrul de linii (sau spectrul discret de frecvență) are dezavantajul că nu dă lămuriri asupra unghiurilor de fază ale armonicelor reprezentate în spectru. În situațiile practice însă, sunt rareori necesare date asupra fazei, astfel că această reprezentare este suficientă. Amplitudinile frecvențelor reprezentate sunt coeficienții A_n din dezvoltarea Fourier. Determinarea lor în cazul unei funcții cunoscute (prin înregistrare analogă, de exemplu) se face folosind tabele, prin calcule numerice, prin aparate numite analizoare armonice (Coradi, Harvey), sau prin analiza spectrală folosind filtrul de bandă îngustă.

D. Exemple de acțiuni periodice

a. *Încărcările transmise de utilajele de construcții* sunt, în general, periodice, mai ales la cele acționate de un grup motor-pompă sau de alte subsamblă cuplate. La utilajele folosite pentru înfigerea palplanselor sau piloților prin vibrare, acțiunea dinamică este compusă din armonicile date de generatorul de vibrații și cele ale motorului de acționare al utilajului. De exemplu, grupul motor-pompă al excavatorului S 1201, transmite terenului de fundare o încărcare după graficul dat în figura 1.9. [18].

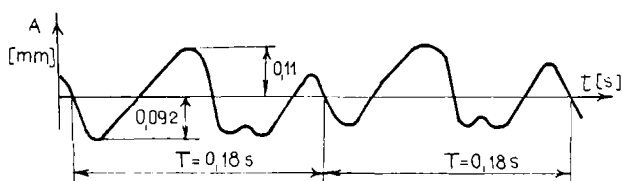


Fig. 1.9 Încărcare dată de excavatorul S1201 [18]

b. *Încărcările transmise de ciocanele*

de forjă

În timpul funcționării unui ciocan de forjă, măsurătorile făcute la nivelul șabotei, al blocului de fundare, al cuvei sau al terenului, arată o amplitudine care variază în timp după o lege ca cea prezentată în figura 1.10 [16]. Perioada, frecvența și amplitudinea, transmise de ciocan terenului de fundare, depind de tipul acestuia (masa berbecului, modul de acționare etc.), precum și de realizarea constructivă a amortizării. Curba de variație în timp a deplasării, prezentată în figura 1.10, este aceea a unui ciocan de 10 kN, la 1,8 m de fundația acestuia, la care șabota este așezată pe grinzi de stejar de 30x30 cm, fundația fiind așezată într-o

cuvă din beton armat, pe arcuri din oțel cu amortizori. Frecvența fundamentală f_0 este de 9 Hz.

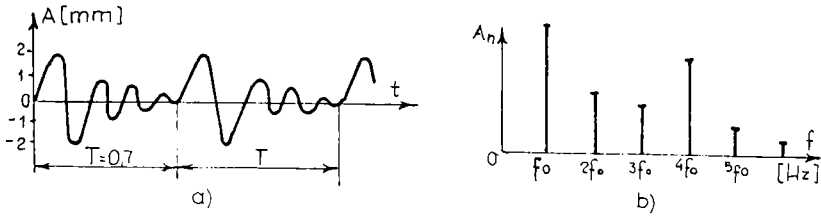


Fig. 1.10 Încărcările transmise de un ciocan de forjă[16]: a - diagrama elongației; b - spectrul de frecvențe

1.1.4 Acțiuni aleatoare și tranzitorii

Acțiunile aleatoare se caracterizează prin aceea că nu se poate prevedea evoluția acestora în timp, prin urmare mărimea acțiunii nu poate fi caracterizată printr-o funcție deterministă, diagrama caracteristică a acestora nu se repetă identic în timp (fig. 1.11a) [16], [94], [131]. Sunt tipice pentru această categorie de acțiuni cutremurele de pământ, exploziile, încărcările dinamice generate de circulația rutieră și feroviară etc.

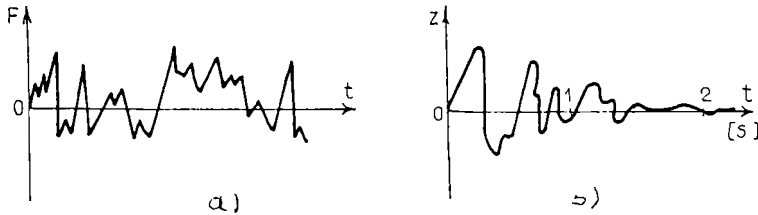


Fig. 1.11 Acțiuni aleatoare și tranzitorii [94]: a - acțiuni aleatoare; b - acțiuni tranzitorii

O categorie distinctă de acțiuni aleatoare sunt acțiunile tranzitorii (fig. 1.11b), caracterizate prin aceea că, după încetarea acțiunii unui impuls, vibrațiile își reduc rapid amplitudinea, până când sistemul solicitat revine la situația de echilibru anterioară acțiunii impulsului. Astfel de acțiuni sunt urmarea unor șocuri, respectiv a aplicării unor forțe pentru un timp scurt (căderi de pietre, impactul exploziilor, baterea piloților, compactarea supergrea, mișcările seismice etc.).

Mișcările care caracterizează aceste acțiuni nu pot fi definite la un moment dat decât pe baze probabilistice. Amplitudinea unei astfel de acțiuni, la un moment t_1 , este o variabilă aleatoare, caracterizată de ansamblul statistic al valorilor ei la momentul t_1 , în toate realizările posibile ale procesului aleator. Acest ansamblu de valori se modifică în timp, deci amplitudinea poate fi considerată ca o funcție aleatoare de timp. Mărimile de ansamblu, definite de funcțiile aleatoare ale

amplitudinilor (deplasări, viteze, accelerații etc.) vor permite caracterizarea în timp a acțiunilor aleatoare pentru un moment dat al mișcării.

Orice funcție ce descrie o acțiune aleatoare poate fi exprimată printr-o suprapunere de componente sinusoidale, fiecare dintre ele având o anumită amplitudine și fază. Această suprapunere este determinată de spectrul Fourier cu ajutorul căruia se află amplitudinile și fazele componentelor sinusoidale în care poate fi descompusă funcția. Problema este analoagă componentelor Fourier ale unei funcții periodice care are însă componente discrete, iar funcția compusă se obține prin suprapunerea componentelor. Dimpotrivă, spectrul Fourier pentru o funcție aleatoare este o funcție continuă de frecvență, deci un spectru continuu: seria Fourier trece în integrala Fourier.

A. Acțiuni produse de traficul rutier și feroviar

Așezarea unui atelier cu mașini de precizie lângă o cale ferată sau stradă cu trafic rutier greu, sau instalarea unor aparate de laborator într-o zonă în care funcționează mașini grele, sunt exemple de situații în care vibrațiile transmise prin teren ridică probleme serioase. Numărul parametrilor care apar într-o astfel de problemă este foarte mare și există puține măsurători făcute în acest domeniu, care să servească drept ghid în aprecierea mișcării terenului de fundare în diferite cazuri particulare.

În general, acțiunile dinamice transmise de vehicule se determină prin metoda pseudostatică, a forței statice înlocuitoare, forță ce se obține de la un vehicul etalon (A_{13}) care transmite pe osia din spate 9,1 tf, la o presiune de 5 at, pe o amprentă cu diametrul de 34 cm. Coeficientul dinamic $\Psi = 1,0 \dots 1,3$, astfel că forța maximă transmisă este [29]:

$$P = \Psi p s = 1,3 \times 5 \times 10^3 \times \pi \times 0,34^2 / 4 \cong 60 \text{ kN} \cong 6 \text{ tf},$$

iar forța statică este de 4,5 tf, astfel că rezultă o componentă dinamică de 1,5 tf, a cărei viteză de aplicare este în funcție de viteza de deplasare a vehiculului. Așa cum s-a arătat, calculul este făcut pentru un vehicul etalon; pentru vehicule de tonaj mai mare, acestea se echivalează cu vehicule etalon, încărcarea transmisă sistemului rutier este mai mare, iar succesiunea încărcărilor transmise de osii, corelată cu viteza de deplasare și rigiditatea sistemului rutier, pot da fenomene de amplificare

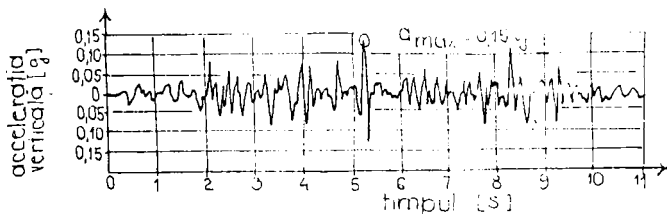


Fig.1.12 Vibrații provenite din traficul rutier[50]

de amplificare a vibrațiilor transmise stratului suport.

Pentru informare prezentăm în figura 1.12 accelerația orizontală și verticală a pământului la 1,8 m de distanțe de mar-

ginea unei șosele relativ netede, în timpul trecerii unui grup autotractor-remorcă, încărcat, pe firul de circulație exterior cu o viteză de 15,5 m/s (56 km/h) [50]. Curbele au fost înregistrate cu un accelerometru de tip seismic cu reluctanță

variabilă (inductiv), prevăzut cu un sistem de înregistrare având un răspuns constant pe un domeniu de frecvențe cuprins între 0 și 100 Hz.

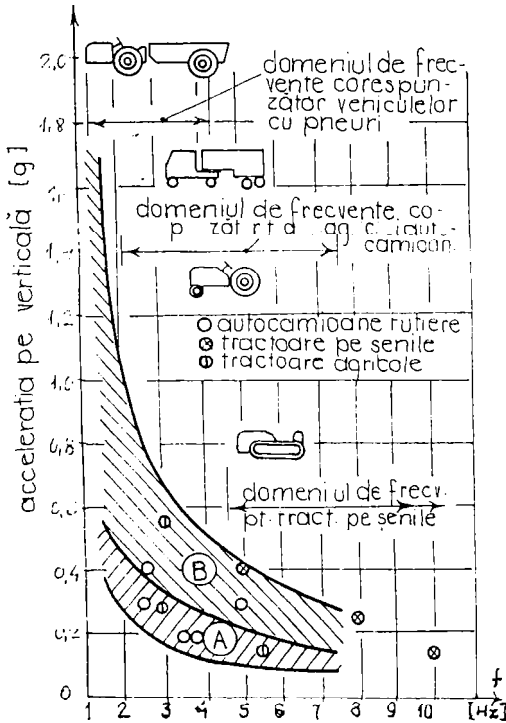


Fig. 1.13 Acceleratii medii verticale pentru diferite vehicule [50]

valoarea minimă este de 0,1 g;

(b) pe de altă parte, cu cât crește greutatea acestor vehicule frecvența vibrațiilor mașinii scade, apropiindu-se de 1 sau 2 Hz.

Se poate face totuși observația că aceste mărimi (accelerații și frecvențe) sunt înregistrate pe șasiul vehiculului și nu pe calea de rulare, prin urmare ele pot fi luate în considerare ca frecvențe ale sursei perturbatoare.

Echipamentul feroviar prezintă o serie de probleme în ce privește șocurile și vibrațiile, deoarece puține vehicule circulă pe un drum atât de neted. Într-adevăr o cale ferată cu denivelări de 6 mm este considerată accidentată, iar o denivelare de 12 mm trebuie imediat remediată [50]. Totuși, deoarece șina - care este foarte elastică - are lungime finită, cu joante care produc discontinuități ale căii de rulare, precum și din cauza altor neuniformități ale acesteia, există surse de vibrații care se transmit terenului înconjurător și față de care, în anumite situații, trebuie luate măsuri speciale de protecție.

Principala sursă de vibrații a vehiculelor de cale ferată transmise terenului de fundare este produsă de impactul roților locomotivelor sau vagoanelor cu șina.

Acceleratiile medii măsurate pentru diferite vehicule rutiere, ce se deplasează pe drumurile publice, sunt prezentate în figura 1.13 [16], [50].

Domeniul A corespunde limitelor accelerațiilor întâlnite la autocamioane ce se deplasează pe drumurile naționale, în cazul remorcării vehiculelor rutiere cu pneuri și în cazul utilajelor agricole.

Domeniul B corespunde accelerațiilor vehiculelor când se deplasează pe drumuri de proastă calitate, pe drumuri pietruite sau din pământ.

Din analiza acestor date se observă că:

(a) pe de o parte accelerațiile produse de vehiculele rutiere scad cu creșterea calității drumului, cele maxime nu depășesc 0,6 g. la vehiculele ce circulă pe drumurile naționale

Vibrațiile ce iau naștere pot fi atât pe direcție verticală cât și orizontală. Geometria căii de rulare, împreună cu bandajul roții strunjit conic, pentru menținerea pe șină și ghidarea la curbe, este principala sursă de vibrații orizontale. Neuniformitatea suprafeței căii și discontinuitatea de la joante, reprezintă principala sursă de vibrații verticale.

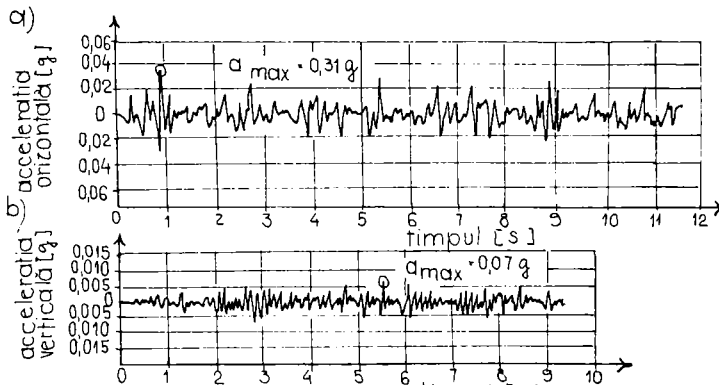


Fig. 1.14 Vibrații produse de traficul feroviar [50]: a - la 1,8m de cale; b - la 14m de cale

În figura 1.14a se prezintă accelerația verticală măsurată la 1,8 m de o cale ferată principală, bine întreținută, în timpul trecerii unor vagoane de pasageri cu o viteză de 19,4 m/s (aproximativ 70 km/h). Accelerometrul a fost prins de un bloc de beton puternic ancorat în pământ. Figura 1.14b prezintă accelerația orizontală a pământului măsurată la 14 m de calea ferată amintită, în cazul trecerii cu aceeași viteză a unei locomotive diesel - electrice. Datele prezentate pot fi direct comparate cu măsurători de accelerații produse la explozii sau la cutremure.

Din analiza acestor date rezultă că accelerația poate lua valori destul de mari ($a_{max} = 0,31 g$) chiar la o cale ferată bine întreținută. Această accelerație scade însă semnificativ la 14 m distanță de sursă ($a_{max} = 0,07 g$), chiar în condițiile creșterii excitației sursei perturbatoare, după cum s-a întâmplat în cazul prezentat.

B. Acțiuni produse de explozii

i. Considerații generale

Exploatarea carierelor de suprafață, derocarea unor porțiuni de teren în vederea deschiderii unor cariere, dezafectarea unor clădiri vechi etc., se face de regulă prin explozie. Efectele acestor explozii se manifestă prin:

- unde de tip seismic;
- suflu și aruncări de rocă.

Apropierea exploatărilor miniere de platformele industriale și așezările omenești pune problema solicitării și protejării construcțiilor din vecinătate față de acțiunea șocurilor determinate de explozii. Spre deosebire de cutremure, care reprezintă o acțiune extraordinară pentru construcție și care permite ca aceasta să ajungă în domeniul post-elastic, exploziile din cariere sunt, pentru construcțiile

apropiate, încărcări permanente (pentru o exploatare minieră funcționând normal trebuie contat pe 150-200 explozii pe an) [48]. În consecință, construcțiile solicitate de acest tip de acțiuni trebuie să se comporte elastic pe toată durata vieții lor, incursiunile în domeniul post-elastic (fisuri, crăpături etc.) nu pot fi admise. Aducerea construcțiilor în acest domeniu însă se poate face numai prin luarea unor măsuri de protecție, măsuri printre care interpunerea unui ecran între sursă și construcție poate rezolva această problemă. Uneori, ecranarea poate fi luată ca o măsură preventivă, când se așteaptă ca eventuala construcție să fie supusă la astfel de solicitări în viitor. Alteori, acest tip de solicitări, având un caracter permanent, pot fi reduse încă din faza de proiectare, prin executarea în prealabil a unui ecran de protecție.

Nu există normative pentru calculul construcțiilor solicitate la acțiunea exploziilor repetate [48],[50]. Efectele acestor explozii, manifestate prin unde de tip seismic, depind de o mulțime de parametri, ca de exemplu cantitatea de explozibil, adâncimea de burare a găurilor, distanța de la focar la construcție, natura terenului prin care se propagă undele etc. Calculul structurilor supuse la astfel de solicitări s-ar putea face ca la acțiuni seismice, considerând că se cunoaște mărimea accelerațiilor care acționează la baza fundațiilor. Aceasta presupune însă măsurători pe o perioadă mai lungă de timp, care să prindă influența tuturor factorilor care condiționează accelerațiile rezultante.

În lipsa unor astfel de date, literatura de specialitate prezintă criteriile de apreciere a pericolului de avarie a clădirilor, în funcție de mărimile caracteristice ale mișcării pământului (deplasări, viteze, accelerații, frecvențe), determinate experimental sau analitic pentru fiecare caz în parte.

b. Energia eliberată în timpul unei explozii

Gutenberg și Richter au stabilit în 1956, după cum se arată în [48]și [113], o relație între magnitudine (M) și energia (E) în ergi, eliberată în focar, de forma:

$$\log E = 9,4 + 2,14 M - 0,054 M. \quad (1.32)$$

Conform acestei formule rezultă că într-o explozie minieră, la care cantitatea de explozibil nu depășește 50 t, nu se vor înregistra cutremure cu magnitudinea $M > 3$, care în principiu nu ar trebui să provoace avarii structurale. În funcție de viteza de propagare a undelor seismice în pământ, intensitatea șocului provocat de explozie, însă, poate ajunge până la gradul 8 pe scara MM.

În vederea determinării cantității de explozibil sau a distanței (r - raza admisibilă) la care o explozie să producă un seism de intensitate acceptată pentru construcție, D. Enescu (1968), citat în [48], definește noțiunea de magnitudine aparentă (M_Q) :

$$M_Q = 0,67 \left(\log v_{\max}^2 T + 3 \log r + \log 4 \rho v + 11,8 \right), \quad (1.33)$$

unde:

v_{\max} este viteza maximă de oscilație a particulelor pământului;

T - perioada acestor oscilații;

ρ - densitatea rocii prin care se propagă undele seismice;

v - viteza maximă de propagare a acestor unde;

r - distanța de la focar la construcția studiată.

Din relația (1.33) se poate calcula distanța r la care se obține o intensitate seismică I , pentru o magnitudine aparentă M_Q cunoscută:

$$\log r = \frac{1}{3} (1,5M_Q - \log v_0^2 T - \log 4\rho v + 11,8), \quad (1.34)$$

unde v_0 este viteza de oscilație a terenului corespunzătoare unui cutremur de intensitate dată, viteză ce variază între 0,2...48cm/s (vezi tabelul 1.1) pentru

Tabelul 1.1 *Viteza de oscilație a terenului, v_0*

Intensitatea seismică	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10...12
v_0		0,2-	0,4-	0,8-	1,5-	3,0-	6,0-	12,0-	24,0-	
cm/s	0,2	0,4	0,8	1,5	3,0	6,0	12,0	24,0	48,0	48,0

cutremure de intensitate 1...12 grade de intensitate seismică [48], iar v este viteza de fază a undelor rezultate în urma exploziei.

C. Vibrațiile pământului produse de explozii

Literatura de specialitate stabilește o serie de relații de calcul pentru determinarea mărimii accelerațiilor, vitezelor și deplasărilor terenului în funcție de parametrii exploziei (cantitatea de explozibil, adâncimea de îngropare, raza admisibilă etc.).

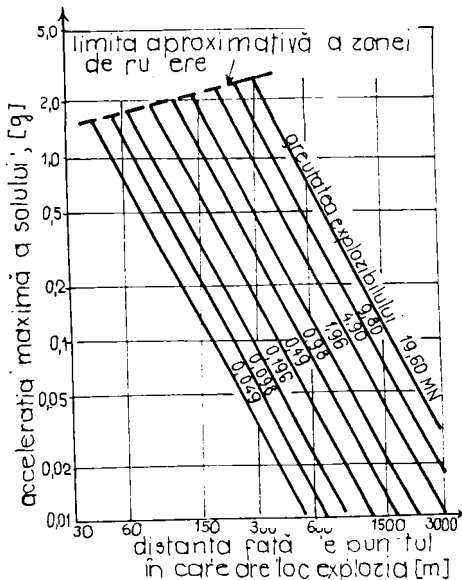


Fig. 1.15 Dependenta accelerației pământului de distanța la locul exploziei [50]

Calculul accelerației (a) provocate de explozie, după E.D. Hudson (1961) se face cu relația [48]:

$$a = 877,952 \frac{Q^{3,4}}{r^2}, \quad (1.35)$$

în care:

Q este cantitatea de explozibil (în tone);

r - distanța de la explozie la punctul de măsură.

După D.S. Carder și W.K. Cloud, 1959, citați în [48], [50], prezentăm accelerațiile maxime ale terenului de fundare, în funcție de distanța la focar și greutatea explozibilului (fig. 1.15). Limita aproximativă a zonei de rupere, în interiorul căreia roca fisurază, în cazul unor explozii puternice, este [50]:

$$d = 371Q^{1/3}, \quad (1.36)$$

iar relația între greutatea explozibilului (Q), distanța (d) și accelerația maximă (a) este dată în unități de (g) de relația:

$$a = 279500Q^{3/4}d^2, \quad (1.37)$$

relație folosită la construcția graficului din figura 1.15[50].

Viteza maximă a vibrațiilor pământului, după A. O. Awjobi, 1974, dată în [48], este:

$$v = kr^{-1}Q^{0.55} \exp \left[4,62 \left(\frac{H}{r} \right)^{0.1} \right], \quad [\text{m / s}] \quad (1.38)$$

în care:

k este un coeficient dependent de condițiile de teren, determinat experimental prin măsurarea unei explozii de parametri cunoscuți;

H - adâncimea de îngropare a explozibilului, în metri, celelalte mărimi având semnificațiile anterioare.

Amplitudinea deplasării vibrațiilor pământului, după P.B.Attewel, 1965 dată în [48], este:

$$A = 7,15 \left(\frac{Q}{50} \right)^{0.75} \left(\frac{94,5}{r} \right)^2, \quad [\text{m / s}] , \quad (1.39)$$

mărimile având semnificația anterioară.

S. Medvedev, 1964, prezentat în [48], [67], dă următoarea relație de calcul a razei admisibile (r) pentru o explozie de intensitate acceptată:

$$r = k_c k_e k_c R_c \sqrt[3]{Q}, \quad (1.40)$$

unde: k_c este un coeficient ce caracterizează tipul exploziei (instantanee sau cu micro-întârzieri) și locul unde se produce (la suprafață, subterană sau combinată), conform tabelului 1.2;

Tabelul 1.2 *Influența tipului exploziei*

Tipul exploziei	Tipul exploataării	k_c
Instantanee	Suprafață	1
	Combinată	0,91
	Subterană	0,72
Întârziată	Suprafață	0,80
	Combinată	0,83
	Subterană	0,63

k_c - coeficient ce caracterizează starea construcțiilor aflate la distanța r de focar și intensitatea seismului admis, conform tabelului 1.3

Tabelul 1.3 *Influența stării clădirii*

Starea clădirii	Intensitatea, grade	k_c
Satisfăcătoare	6	1
Cu degradări	5	1,6
Veche	4	2,5

k_t - coeficient ce ține seama de influența condițiilor de teren asupra oscilațiilor provocate de explozii, tabelul 1.4.

Tabelul 1.4 *Valorile coeficientului k_t*

Tipul și calitatea terenului	k_t
Roci stâncoase, compacte	0,5
Roci stâncoase, fisurate	0,7
Roci semi stâncoase (marne, gresii, gips)	0,8
Pământ argilos, apa subterană la peste 10 m	1,0
Pământ argilos, apa subterană la 5...10 m	1,2
Pământ argilos, apa subterană la 0...5 m	1,4
Terenuri moi, turbă	1,8

R_r - distanța redusă în funcție de intensitatea seismică, tabelul 1.5.

Tabelul 1.5 *Distanța redusă, R_r*

Intensitatea seismică	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10...12
R_r	100	63-100	40-63	25-40	16-25	10-16	6,3-10	4-6,3	2,5-4	2,5

1.2. LIMITE ADMISIBILE ALE VIBRAȚIILOR CONSTRUCȚIILOR ȘI EFECTELE LOR NOCIVE

Vibrațiile ce se transmit prin terenul de fundare ajung adesea în contact cu infrastructura construcțiilor cărora le cedează o parte din energia transportată sub formă de vibrații, energie ce se induce în structura acestora. Solicitățile dinamice produse de om, care ajung la construcții prin intermediul terenului de fundare, nu sunt, în general, atât de puternice încât să afecteze rezistența și stabilitatea acestora. Aceasta nu înseamnă însă că vibrațiile construcțiilor nu vor avea efecte defavorabile asupra exploatării acestora. Vibrațiile au acțiune defavorabilă mai ales asupra activității ce se desfășoară în clădiri și în special asupra instalațiilor, aparatelor și nu în ultimul rând asupra oamenilor ce își desfășoară activitatea sau trăiesc în ele.

Studiile întreprinse asupra efectelor nocive provocate de vibrații asupra clădirilor, instalațiilor, oamenilor etc. au permis evaluarea și cuantificarea acestor efecte, stabilindu-se, după caz, limite admisibile. Aceste limite sunt exprimate prin diferite mărimi fizice (acelerații, deplasări etc.), depășirea cărora devine periculoasă pentru om, dar, așa cum s-a amintit, și pentru instalațiile din interior sau chiar clădirea însăși.

1.2.1 Caracteristici fizice cantitative de apreciere a vibrațiilor

Aprecierea valorilor unor mărimi fizice oscilatorii, face necesară stabilirea unor unități de măsură specifice, prin care ele să fie măsurate. Majoritatea studiilor, prezentate în literatura de specialitate, caracterizează vibrațiile prin mărimile lor cinematice sau prin frecvențe. Pentru vibrații armonice, cele trei mărimi (viteză, accelerație și amplitudinea deplasării) sunt legate între ele, așa cum s-a arătat în paragraful 1.1. Pentru alte tipuri de vibrații se recomandă folosirea valorilor eficace sau efective [15], [16], [17], [26] (vezi și 1.1.2):

$$F_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T F^2(t) dt}, \quad (1.41)$$

unde:

F_{ef} poate reprezenta accelerație, viteză sau deplasare;

T este perioada vibrației;

$F(t)$ - valoarea instantanee a variabilei.

Energia unitară introdusă de Koch, prezentată în [15], [17], reprezintă energia cinetică a unității de masă pe un sfert de perioadă:

$$L = 2\pi^2 x_0^2 f^3, \quad [\text{cm}^2/\text{s}^3], \quad (1.42)$$

unde x_0 este amplitudinea deplasării, iar f este frecvența vibrației.

Intensitatea vibrației, după Zeller, dată în [15], [17], [18], [108], este:

$$I = a_0^2/f = 16\pi^4 x_0^2 f^3, \quad [\text{cm}^2/\text{s}^3], \quad (1.43)$$

Intensitatea vibrației, exprimată în vibrar, va fi:

$$S = 10 \log(I / I_S), \quad (1.44)$$

în care I_S este intensitatea de referință, $I_S = 0,1 \text{ cm}^2/\text{s}^3$, a_0 este amplitudinea la frecvența f .

Intensitatea se poate defini și pe baza celor trei mărimi cinematice [3]:

$$S_a = 20 \log \frac{a_0}{a_s} - 10 \log f; \quad S_v = 20 \log \frac{v_0}{v_s} + 10 \log f;$$

$$S_2 = 20 \log \frac{x_0}{x_s} + 30 \log f; \quad (1.45)$$

unde a_0 , v_0 și x_0 sunt amplitudinile celor trei mărimi cinematice, iar a_s , v_s și x_s sunt mărimi de referință, alese astfel ca la $f = 1\text{Hz}$ să corespundă intensitatea de $1 \text{ cm}^2/\text{s}^3$, având valorile: $x_s = 0,08 \text{ cm}$, $v_s = 0,05 \text{ cm/s}$ și $a_s = 0,316 \text{ cm/s}^2$.

Nivelul de intensitate acustică apreciază gradul percepției acestora de către om (nivelul vibrațiilor) și este dat de ecuația [3], [17], [26], [108], [120]:

$$L = 10 \log (I / I_{ref}), \quad [\text{Pal}], \quad (1.46)$$

în care I este intensitatea undelor, iar intensitatea de referință $I_{ref} = 0,5 \text{ cm}^2/\text{s}^3$.

Nivelul vibrațiilor poate fi definit și în funcție de viteză sau deplasare:

$$P = 20 \log 22,4v_0 \quad \text{sau} \quad P = 20 \log 140 x_0 f, \quad (1.47)$$

iar cunoașterea acestor mărimi va fi folosită pentru aprecierea influenței vibrațiilor asupra construcțiilor sau a omului.

1.2.2. Influența vibrațiilor asupra omului

Există numeroase studii privind efectul vibrațiilor asupra omului (fiziologic, mecanic etc.) care în final stabilesc o serie de limite ce depind de mai mulți parametri [15], [18], [26], [50] cum ar fi:

- caracteristicile cinematice ale vibrației (acelerație, viteză etc.);
- frecvența vibrațiilor;
- durata de expunere;
- direcția vibrației față de corpul omului;
- criteriul de nocivitate (prag de percepere, nocivitate, pericol pentru sănătate etc.).

Dintre normele existente se vor cita cele care au un grad mai mare de recunoaștere internațională.

i. *Recomandările ISO - 2631/1975: Guide for the Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration*, recomandări citate în lucrările [15], [18], [26], [50], [142], [143], [147].

Recomandările internaționale amintite se referă la frecvența vibrațiilor cuprinsă între 1 Hz și 80 Hz, care acționează pe durata cuprinsă între 1 minut și 24 ore, pentru cele trei poziții tipice în care se poate afla corpul omenesc în raport cu direcția de transmitere a vibrațiilor: așezat, în picioare și culcat.

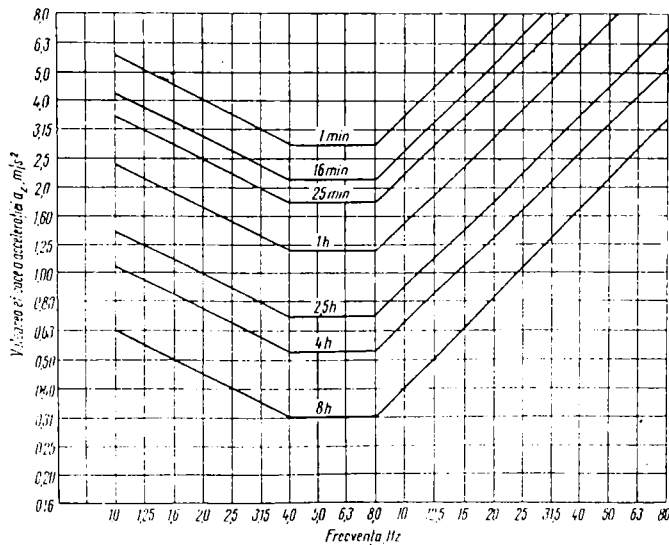


Fig.1.16 Limite admisibile ale vibrațiilor verticale la om [18]

În figurile 1.16 și 1.17 sunt prezentate, cu titlu informativ, două grafice pentru vibrații verticale și respectiv orizontale [18], date și în [50], ale corpului stând în picioare, în funcție de accelerația eficace (a_{RMS}). Cele două figuri prezintă limitele admise ale vibrațiilor corespunzând pragului de oboseală. Dacă interesează

pragul nocivității (pericol pentru sănătate) valorile accelerațiilor se înmulțesc cu 2 (6dB) și se împart cu 3,15 (10 dB) pentru pragul de percepere.

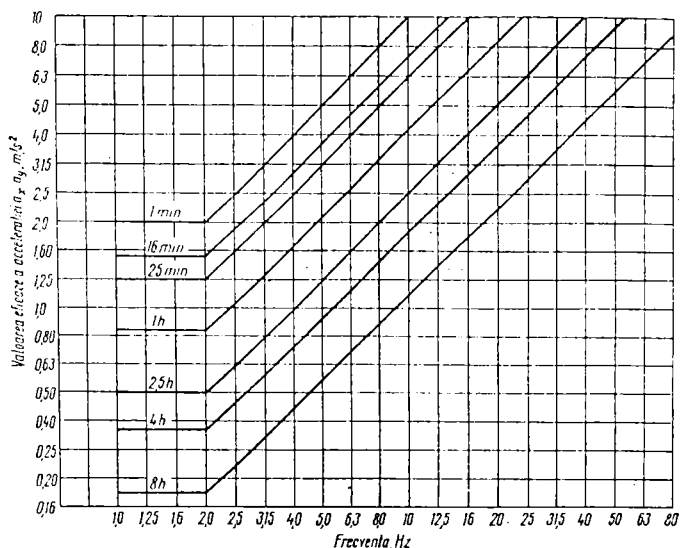


Fig. 1.17 Limite admisibile ale vibrațiilor orizontale la om [18]

ii. Coeficientul de percepere al vibrațiilor

Studiile întreprinse de Dikmann, 1959, rezumate în [17], [18], au dus la stabilirea unui coeficient de percepere al vibrațiilor (K), luat drept măsură a efectului vibrațiilor asupra omului. În *VDI - Reichtlinien 2057, Beurteilung der Einwirkung mechanischer Schwingungen auf der Menschen*, 1963, se stabilesc treptele de percepere a vibrațiilor de către om, arătate în tabelul 1.6 [15], [18].

Tabelul 1.6 Coeficientul de percepere al vibrațiilor. K [18]

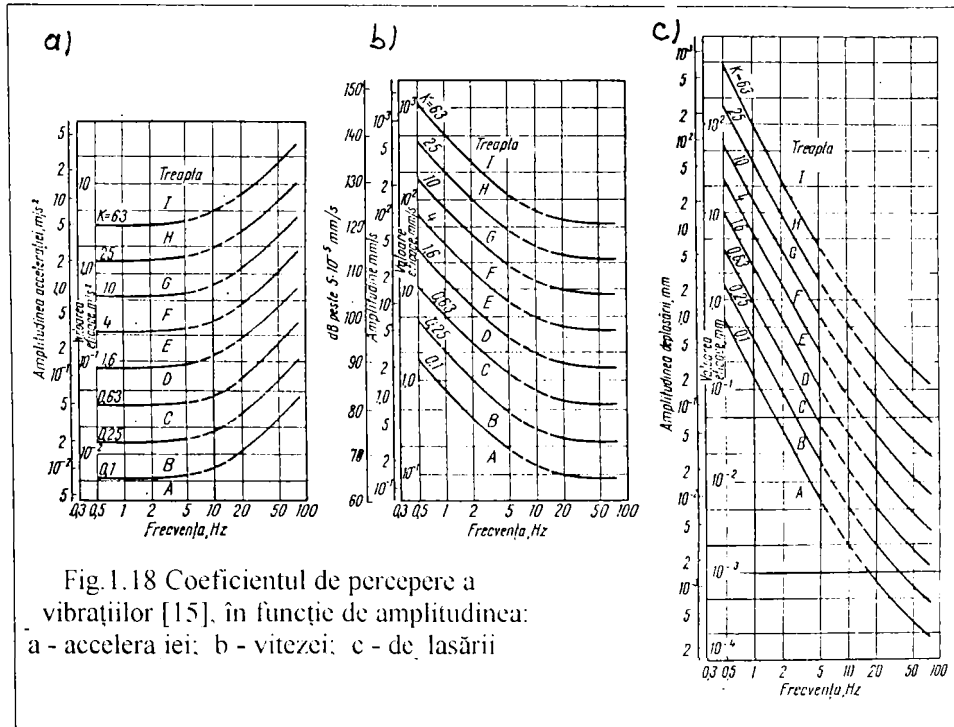
Coeficientul de percepere, K	Treapta	Felul percepării
0,1	A	Imperceptibil
0,25	B	Pragul percepării, abia perceptibil
0,63	C	Perceptibil
1,6	D	Bine perceptibil
4	E	Puternic perceptibil
10	F	Foarte puternic perceptibil
25	G	Foarte puternic perceptibil
63	H	Foarte puternic perceptibil

Valorile coeficientului K se pot determina și prin calcul, în funcție de valorile efective ale accelerației, vitezei sau deplasării, cu relațiile [15], [18], [26]:

$$K = a_{ef} \frac{\alpha}{\sqrt{1 + (f/f_0)^2}}; K = v_{ef} \frac{\beta f}{\sqrt{1 + (f/f_0)^2}}; K = x_{ef} \frac{\gamma f^2}{\sqrt{1 + (f/f_0)^2}}; \quad (1.48)$$

în care: $f_0 = 10$ Hz; $\alpha = 18,0$ s²/m; $\beta = 0,112$ s²/mm; $\gamma = 0,71$ s²/mm.

Acest coeficient este prezentat sub formă de diagrame, în funcție de cele trei valori efective, în figura 1.18. La fiecare diagramă, pe scara ordonatelor se



măsoară fie amplitudinea, fie valoarea eficace a mărimii respective. Pentru viteze s-a desenat în figura 1.18b și o a treia scară a ordonatelor, măsurând atenuarea:

$$L_v = 20 \log (v/v_0), \quad (1.49)$$

în care valoarea de referință a vitezei este $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ m/s.

1.2.3. Influența intensității și vitezei vibrațiilor asupra construcțiilor

Efectul vibrațiilor asupra construcțiilor se poate clasifica, în funcție de intensitatea vibrației [3], [18], [55], [67], așa cum este dată în tabelul 1.7 [15].

Folosind drept criteriu intensitatea vibrației după Zeller, dată în [15], [25], definită prin relația (1.43), vibrațiile se pot clasifica după următoarea scară, prezentată în tabelul 1.8.

Viteza vibrațiilor, caracterizând în special energia cinetică transportată de sistemul de unde seismice, afectează construcțiile după cum rezultă din tabelul 1.9.

Tabelul 1.7 *Efectul vibrațiilor asupra construcțiilor* [15]

Intensitatea vibrației, vibrar	Clasa trepidațiilor	Efectul asupra construcției
10...20	Trepidații ușoare	Nu prezintă pericol
20...30	Trepidații mijlocii	Nu prezintă pericol
30...40	Trepidații puternice	Deteriorări ușoare, fisuri în pereții de zidărie
40...50	Trepidații grele	Fisuri în zidurile principale
50...60	Trepidații foarte grele	Distrușgerea clădirilor

Analizând aceste tabele se poate constata că ele se referă în special la influența vibrațiilor provenind din seisme asupra construcțiilor. Aceasta se explică prin preocupările deosebite ale specialiștilor de protecție antisismică a construcțiilor, datorită urmărilor catastrofale pe care acestea le au uneori. Acest lucru nu scade însă din generalitatea clasificărilor prezentate și nici din posibilitatea folosirii lor și pentru vibrații de altă natură, motiv pentru care le-am prezentat și noi în sinteza de față.

Tabelul 1.8 *Scara seismică Zeller* [15]

Intensitatea vibrației I, cm^2/s^3	Clasificarea seismului
1	Imperceptibil
2	Foarte ușor
10	Ușor
50	Măsurabil (fisuri mici)
250	Destul de tare
1 000	Tare, sub zona periculoasă
5 000	Foarte tare, crăpături grave
20 000	Distructiv
100 000	Devastator
500 000	Nimicitor
2 500 000	Catastrofal
10 000 000	Foarte catastrofal

1.2.4 Efectele dăunătoare ale vibrațiilor asupra construcțiilor apreciate prin mărimea accelerației și a deplasării

Amplitudinea accelerațiilor și a deplasărilor influențează comportarea clădirilor la vibrații, așa cum se prezintă în figura 1.19. Figura 1.19a și 1.19c se referă la clădiri cu $h/b \leq 1$, unde h este înălțimea, iar b - lățimea, iar figurile 1.19b și 1.19d la cele cu $h/b \leq 2$.

Liniile A...D corespund unor limite ale accelerațiilor sau deplasărilor pentru

următoarele situații:

A - pragul de sensibilitate al construcției, sub care nu există pericol;

B - pragul de rezistență al construcției sub care nu apar deteriorări importante;

Tabelul 1.9 *Viteza vibrației și efectul defavorabil asupra construcțiilor* [15]

Intensitatea seismică MM (MSK)	Viteza oscilației pământului, cm/s	Efectul asupra construcțiilor
1	0,2	Nu se simte
2	0,2...0,4	Se simte în clădiri la etajele superioare
3	0,4...0,8	Se simte în interiorul clădirilor
4	0,8...1,5	Se simte și în exteriorul clădirilor, este resimțit de puțini oameni
5	1,5...3,0	Se simte și în interiorul și în exteriorul clădirilor
6	3,0...6,0	Avarii ușoare la clădiri slabe
7	6,0...12	Avarii ușoare la clădiri rezistente, avarii considerabile la clădiri slabe
8	12...24	Avarii ușoare la clădiri proiectate antiseismic, avarii grave la clădiri obișnuite
9	24...28	Avarii considerabile la toate clădirile
10...12	28...48	Majoritatea clădirilor sunt complet distruse

C - limita de rupere a unor elemente ale construcției, peste care apar deteriorări serioase;

D - limita de sensibilitate peste care clădirile sunt distruse.

Interpretarea zonelor delimitate pe diagramele din figura 1.19 este următoarea:

I - trepidațiile nu influențează construcțiile;

II - trepidațiile se resimt, dar sunt nepericuloase;

III - trepidațiile produc fisuri și deteriorări locale;

IV - trepidațiile sunt deosebit de periculoase, duc la fisuri multiple, distrugerea pereților și elementelor de construcție;

V - trepidațiile duc la distrugerea totală sau parțială a construcțiilor.

Zonele sunt delimitate prin linii continue (A,B,C,D), sau întrerupte (A', B', C', D'); alegerea uneia sau alteia dintre linii se face în funcție de o serie de proprietăți ale clădirii, ale terenului de fundare și al fundațiilor prezentate în continuare.

i. După *materialul și felul construcțiilor* se vor alege:

- liniile A, B, C, D pentru fundații din beton armat, pereți din cărămidă plină, planșee din dale de beton, pereți cu goluri puține, așezate ordonat;

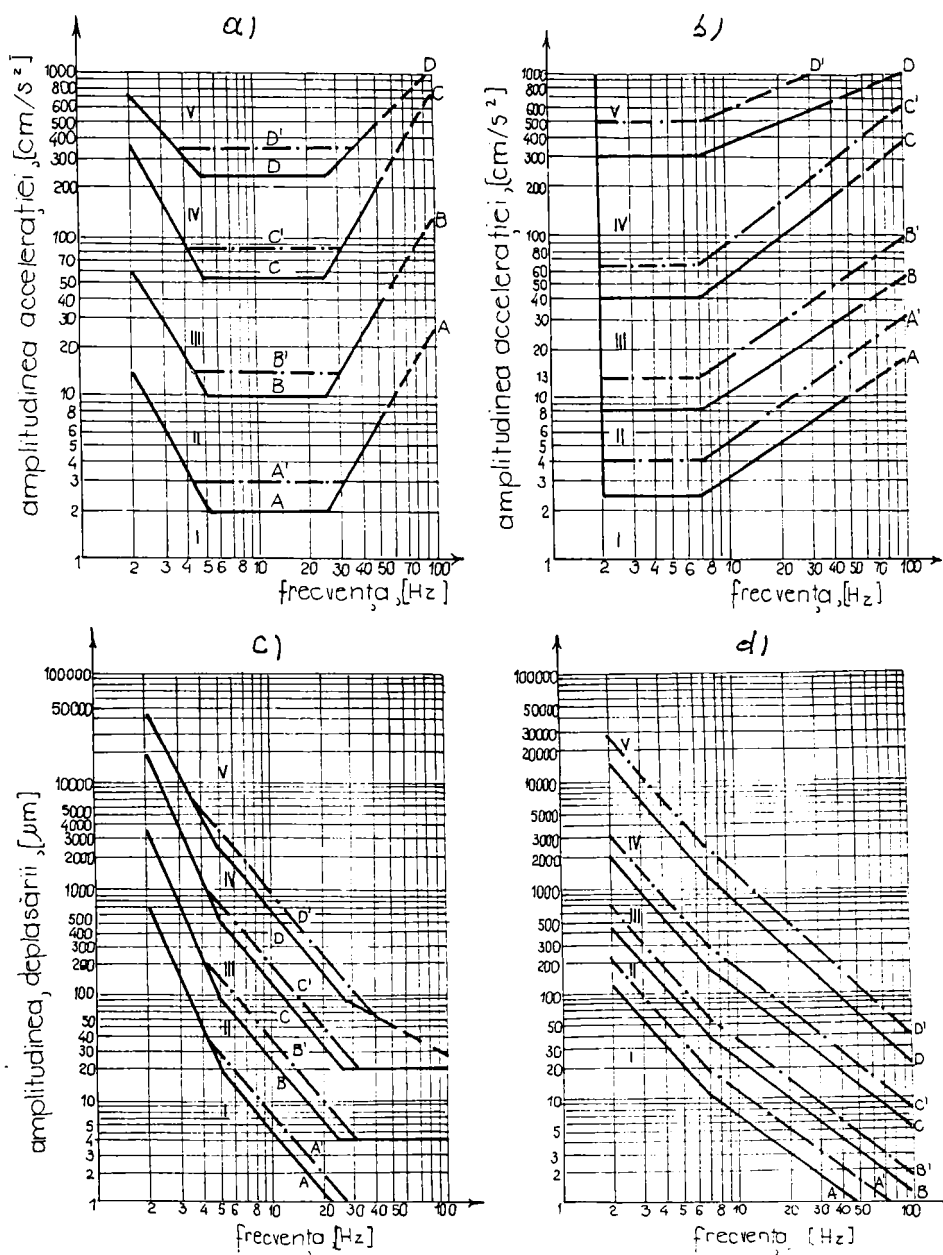


Fig. 1.19 Efectul vibrațiilor asupra clădirilor [15]:
 a, c - clădiri cu $h/b \leq 1$; b, d - clădiri cu $1 < h/b \leq 2$

- liniile A', B', C', D' pentru fundații din piatră sau cărămidă, pereți din cărămidă de calitate inferioară, execuție neîngrijită, cu goluri multe, planșee din grinzi.

ii. Pentru *clădirile noi*, intacte, se va lucra cu liniile A, B, C, D, iar pentru cele vechi, fisurate, cu liniile A', B', C', D'.

iii. *Tipul terenului de fundare și felul fundațiilor* influențează valorile limită, după cum urmează:

- liniile A, B, C, D pentru pământuri nisipoase sau argiloase, bune ca terenuri de fundare și fundații continue;

- liniile A', B', C', D', pentru pământuri compacte, rigide sau semirigide și fundații discontinue.

iiii. În funcție de *tipul vibrațiilor* aplicate, se disting următoarele cazuri:

- vibrații și șocuri sporadice, vibrații armonice, vibrații puternice la mari intervale - liniile A, B, C, D;

- vibrații neregulate, șocuri permanente, vibrații cu bandă largă de frecvență - liniile A', B', C', D'.

1.2.5 Efectele dăunătoare ale vibrațiilor terenului de fundare produse de explozii asupra construcțiilor

Cantitatea de exploziv ce poate fi utilizată în operații cu caracter util este, deseori, limitată de pericolul de avariere al clădirilor apropiate. De obicei, studiile privind această problemă se fac luând în considerare:

a) relația dintre mișcările măsurate ale pământului și diferite tipuri de avarii, așa cum a fost prezentată în subparagraful anterior;

b) relația dintre cantitatea de exploziv utilizată, mișcarea terenului de fundare și distanța unde are loc explozia.

Aspectele legate de vibrațiile terenului (deplasări, viteze, accelerații) și efectele lor asupra construcțiilor au fost arătate în subparagraful 1.1.4. De asemenea, în 1.1.4.B s-a făcut echivalarea exploziei cu o mișcare seismică produsă de cutremur, astfel că înregistrarea mărimilor specifice ale vibrațiilor, indexarea după scara intensităților seismice, se face conform celor arătate. Aici se va insista asupra celui de al doilea aspect al problemei și anume, corelarea cantității maxime de exploziv ce poate fi utilizată, cu distanța maximă la o construcție dată.

În figura 1.20 se dă relația dintre greutatea explozibilului și distanța până la punctul în care are loc explozia, în așa fel încât să se evite avarii ale construcțiilor, în urma unor explozii de intensitate mică și mijlocie. Linia continuă, notată cu A, se bazează pe studii complete efectuate atât asupra mișcării terenului, cât și a avariilor produse de aceste mișcări (după Edwarde, A.T., 1959), dat în [50]. De asemenea, dreapta A se referă la pământuri de origine sedimentară, B la teren stâncos, iar C și D sunt date cu scop comparativ, după alți autori, ele fiind trasate pe baza unui număr mai mic de determinări și considerându-se definiții diferite ale avariilor construcțiilor.

Relații analitice de dependență a distanței r de încărcătura Q a exploziei au fost date și în subparagraful 1.1.4.

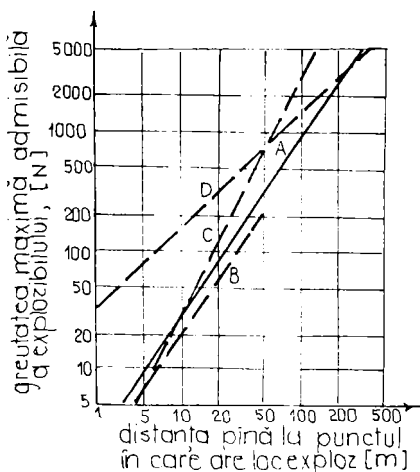


Fig. 1.20 Dependenta cantității de explozibil de distanța de clădire [50]

precisă a formei curbelor de variație a accelerației pământului, decât este ea necesară în mod obișnuit.

Pentru reducerea la maximum a efectelor exploziilor succesive, sunt, de obicei, necesare încercări în condiții particulare, oferite de locul unde acestea vor avea loc. Ca regulă aproximativă, în cazul unor decalaje de câteva milisecunde ale exploziilor, sarcina efectivă totală ce trebuie luată în considerare, la estimarea mișcării maxime a terenului de fundare și a avariilor clădirilor, trebuie să fie dublă decât ce real folosită.

Dacă nu se execută încercări cu aparatură adecvată, exact pe locul unde va avea loc explozia, sau dacă datele disponibile nu sunt direct comparabile, există o oarecare nesiguranță în predeterminarea mișcărilor pământului.

1.2.6 Limite admisibile ale vibrațiilor construcțiilor

Limitarea mărimilor caracteristice ale vibrațiilor diferitelor construcții se face din considerente tehnologice (aparate de mare precizie), fiziologice (protecția oamenilor) și de rezistență și stabilitate a elementelor de construcție propriu-zise.

Pentru încăperile având diferite destinații, în tabelul 1.10 se dau câteva valori admisibile ale amplitudinilor deplasării [15].

Pentru laboratoare și, în special, pentru cele în care se fac măsurători de precizie, normele americane prevăd următoarele valori ale accelerațiilor maxime ale vibrațiilor [15], [50]:

- 0,001g, în laboratoarele metrologice pentru dimensiuni, mărimi fizice și electrice;
- 0,002g, în laboratoarele tehnologice pentru măsurarea dimensiunilor;
- 0,003g, în laboratoarele tehnologice pentru mărimi fizice și electrice.

Deoarece mișcările pământului produse de explozii au o durată scurtă, extinzându-se pe un număr restrâns de cicluri, sarcina totală poate fi împărțită în mai multe încărcături, cu un timp suficient de mare între explozii, ales în așa fel încât perturbările unei încărcături să se amortizeze înainte de explozarea încărcăturii următoare. Totuși, eşalonarea exploziilor pe un timp relativ mare poate afecta destul de mult eficacitatea cantității totale de exploziv. Adoptarea unor intervale mai scurte între explozii, împreună cu o plasare corespunzătoare a încărcăturilor parțiale de exploziv, pot fi aranjate în așa fel încât accelerațiile maxime corespundă-toare fiecărei explozii să se anuleze reciproc; o astfel de metodă cere, însă, o cunoaștere mai

Tabelul 1.10 Amplitudini admisibile ale vibrațiilor în diferite încăperi [15]

Destinația încăperii	Amplitudinea admisibilă, μm
Laboratoare cu aparate de precizie	10...30
Atelier cu mașini de precizie și standuri de încercat	20...40
Centrale electrice cu turbine de abur	20
Turnătorii	30...50
Birouri și locuințe	50...70

Dacă într-un atelier, hală industrială sau chiar laborator există aparate sau utilaje cu grad înalt de protecție antivibratorie, peste cea a încăperii respective, este mai economic, de multe ori, să se realizeze o izolare locală numai a aparatului sau utilajului respectiv. În general, producătorii de utilaje de precizie indică gradul de protecție antivibratorie ce trebuie asigurat sau acțiunile dinamice pe care aceste le produc și care trebuie izolate până la limita admisă pentru încăperea în care sunt montate. Se pune de multe ori întrebarea, în izolarea antivibratorie, care dintre criteriile de limitare a vibrațiilor sunt mai restrictive, cele privind omul, clădirile sau mașinile?

Comparând numeroase date din literatură Soliman, R.J. (1963), citate în [15], [18], [26], ajunge la concluzia că limitele privind pragul nocivității, pentru oameni, sunt practic aceleași cu cele maxime pentru clădiri și că uneori utilajele tehnologice pot impune restricții ce condiționează o izolare antivibratorie suplimentară, situație în care sunt valabile observațiile făcute la alineatul anterior

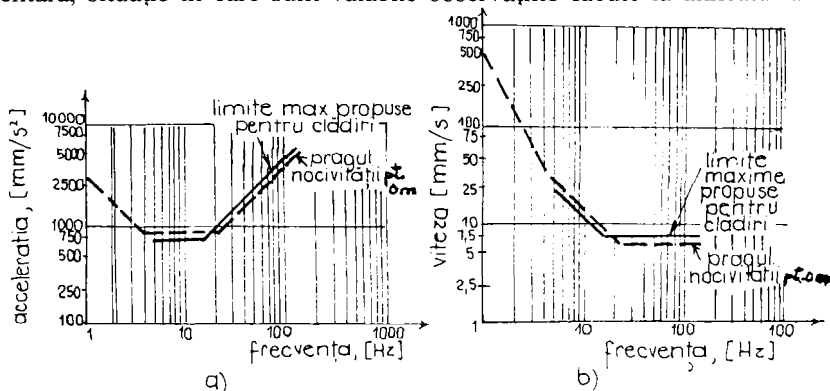


Fig. 1.21 Limite admise ale vibrațiilor pentru clădiri și oameni [18]:

a - exprimare în accelerații; b - exprimare în viteze

(fig.1.21). În aceste situații, de multe ori, protecția antivibratorie prin ecrane realizate în pământ poate fi o soluție recomandabilă, mai ieftină și mai ușor de executat. Aceasta nu elimină însă izolarea locală, ci vine ca o completare a acesteia, mai ales atunci când se cere izolarea unei incinte sau a unui ansamblu de fundații.

1.3. CONSIDERAȚII ASUPRA UNOR REALIZĂRI PRACTICE DE ECRANE CU ROL DE PROTECȚIE ANTIVIBRATORIE

Protecția antivibratorie prin ecranare este o problemă nouă în dinamica pământurilor, care presupune izolarea ansamblului infrastructurii construcțiilor împotriva vibrațiilor transmise prin terenul de fundare și care, în general, au proveniență tehnologică, trafic, explozii etc.

Dacă, din punct de vedere al conceptului, problema izolării construcțiilor față de sursele de vibrații este mai veche, numai de prin anii șaizeci ea a început să devină o preocupare majoră în practica inginerescă, în general, și al dinamicii pământurilor, în special.

Primele realizări în domeniu au fost într-un fel legate de izolarea mecanică, dată fiind experiența proiectanților și a constructorilor în domeniul izolării antivibratorii a fundațiilor de mașini. Abia după aceea domeniul de cercetare s-a extins și asupra altor sisteme de izolare, în principal asupra izolării antiseismice a construcțiilor. În paralel cercetările s-au extins și asupra protecției construcțiilor contra vibrațiilor provenite de la traficul urban și utilajul tehnologic.

Dezvoltarea tehnicilor de protecție a fost, desigur, legată de țările cu cel mai ridicat progres tehnologic (SUA, Germania, Franța etc.), la care izolarea antivibratorie s-a impus ca necesitate, dar la care și posibilitățile tehnice și financiare au fost corespunzătoare, dat fiind costul relativ ridicat al acestor cercetări.

În studiile efectuate până în prezent de Barkan, 1962 [6], [7], Woods, 1968 [111], [139], Richart, 1970 [111] și alții, *ecranarea este văzută mai mult ca o soluție de protecție, fără consum de energie incidentă, bazată mai ales pe fenomenele de reflexie și refracție a undelor mecanice și mai puțin ca o soluție de izolare cu disipare de energie, analog izolării mecanice.*

Ecraanele fiind, așa cum s-a arătat, bariere solide, fluide sau din aer (deschise), executate în pământ, în calea undelor. Deoarece, pentru construcție undele Rayleigh (R) sunt cele care dau cele mai mari perturbații și se propagă la distanța cea mai mare de sursă, cercetările s-au axat aproape în exclusivitate pe ecranarea acestor unde.

Ar fi totuși de remarcat că există studii asupra unor ecrane care funcționează pe principiul rezonanței mecanice și nu pe cel al reflexiei și refracției undelor mecanice. Referirea la aceste ecrane este însă limitată, fenomenele nefiind încă lămurite pe deplin.

Gradul de succes al ecranărilor realizate până în prezent a fost considerat mai mare sau mai mic, în funcție de parametrii de protecție ce trebuiau obținuți. Trebuie remarcat însă, că, de cele mai multe ori, realizarea ecranelor (ca formă, dimensiuni, materiale etc.) s-a făcut fără aportul unor proceduri de proiectare rațională.

Barkan (1962) [8], citat și în [111], face prima încercare de a ecrana o clădire multietajată, fundată pe piloți, împotriva vibrațiilor produse de traficul rutier (fig.1.23). Trenul de fundare este alcătuit dintr-o intercalație de pământuri măloase și turboase cu lentile de nisip, în care s-a încastrat vârful piloților, lungi de circa 6

metri. Clădirea are subsolul la -2,00 m față de nivelul străzii. Radierul peste piloți este de 2,00 m grosime, fiind realizat din beton armat.

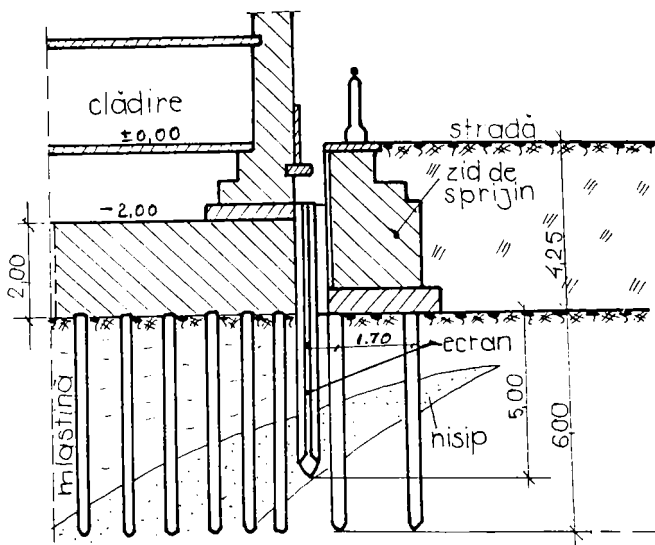


Fig.1.23 Ecranarea unei clădiri de Barkan,1962 [111]

Impingerile din structura drumului sunt preluate de un zid de sprijin de greutate cu intrados în trepte, de 4,25 m înălțime, care, la rândul lui, este fundat pe piloți verticali, dispuși pe două rânduri, la 1,70 m distanță.

Ecranul a fost de tip deschis (cu pernă de aer), verticalitatea pereților ecranului fiind menținută cu palplanșe metalice. Palplanșele s-au oprit la 1,00 m, deasupra vârfului piloților, având lungimea totală de 7 m.

Ecranarea a fost considerată fără succes, vibrațiile din stradă continuând să afecteze clădirea și după executarea ecranului.

Dolling (1965) și Neumeuer (1963), prezentați în [111], au făcut cunoscut că au folosit un ecran din noroi bentonitic pentru a proteja o tipografie din Berlin, împotriva vibrațiilor produse de metrou (fig.1.24).

Clădirea are o structură în cadre din beton armat, cu subsol pe două nivele, fundată pe piloți flotanti, având aproximativ 12 m lungime.

Terenul de fundare este alcătuit din nisip mijlociu cu intercalații de nisip fin și pietriș sub formă de lentile. În zona galeriilor metroului, pe circa 8 m grosime, terenul de fundare este alcătuit din sedimente glaciare, cu intercalații de nisipuri fine, peste care, la partea superioară, se află o umplutură de 2 m grosime. Ecranul din noroi bentonitic, de aproximativ 13,50 m adâncime, a închis clădirea și la capete, având circa 45 m lungime.

Ecranarea a fost considerată ca reușită deoarece amplitudinea vibrațiilor în tipografie a fost redusă la jumătate față de cele anterioare executării ecranului. Desigur că această aplicație, la o exigență mai mare în ce privește intensitatea

vibrațiilor în interiorul clădirii, ar putea fi considerată ca având un grad mai redus de succes.

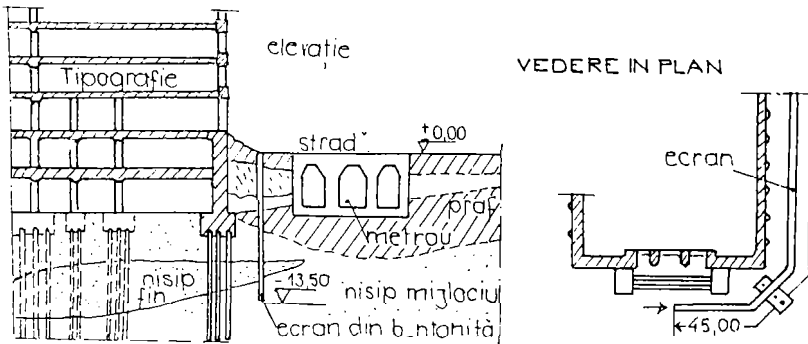


Fig. 1.24 Ecranarea unei tipografii în Berlin(după Neumeuer, 1963)[111]

McNeil, Margason și Babcock (1965) au realizat cu succes un ecran din noroi bentonitic având pereți din palplanșe, pentru izolarea unui laborator de măsură, dotat cu aparatură sensibilă la vibrații (fig. 1.25).

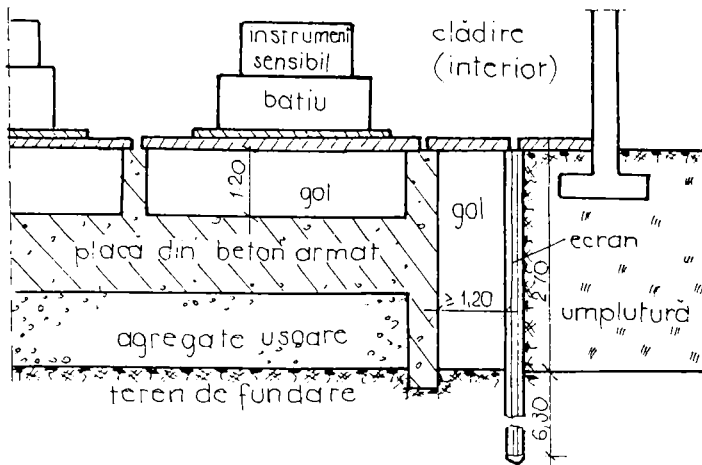


Fig. 1.25 Ecranarea unui laborator sensibil (McNeil și alții, 1965)[111]

Ecranul s-a realizat în interiorul clădirii, având 9 m adâncime, din care 6,30 m sub cota fundațiilor mașinilor pentru aparatura și instrumentele sensibile de măsură.

După ecranare, proprietarii laboratorului au raportat reducerea efectivă a accelerațiilor vibrațiilor pe placa aparatului la $10^{-4}g$, cea admisă fiind de $10^{-3}g$. De remarcat faptul că între ecran și fețele laterale ale fundațiilor s-a lăsat un gol de 1.20

m lățime și 2,70 m adâncime. Acesta are, de asemenea, efect favorabil asupra ecranării, mai ales asupra vibrațiilor cu lungimi de undă sub 1,50...2,00 m.

Pentru nisipurile din Berlin, H.Lörencz, 1960 [64], a demonstrat efectul favorabil al ecranelor din bentonită, realizate în teren, pentru a obține o slăbire sensibilă a vibrațiilor produse de traficul rutier și feroviar. Pentru sursa de vibrații situată la nivelul terenului, Lörencz recomandă ca adâncimea ecranului H sub nivelul terenului, să fie egală cu cel puțin jumătatea lungimii de undă ($\lambda_R/2$). Astfel, pentru nisipurile cu îndesare mijlocie, viteza de propagare a undelor R este de circa 250 m/s, față de 400 m/s pentru nisip îndesat. Vibrațiile produse de trafic au frecvența de 40...120 Hz. În acest caz, pentru nisip cu îndesare medie va fi nevoie de un ecran cu adâncimea $H = \lambda_R/2 = 1,25$ m, pentru frecvența de 100 Hz. Pentru nisip îndesat această adâncime va fi de 2 m la 100 Hz și 5 m la frecvența de 50 Hz. Rezultă deci că, *realizarea unui ecran cu adâncimea de 5 m acoperă plaja de viteze și frecvențe din trafic*, pentru nisipurile din zona studiată de autor.

1.4. CLASIFICAREA ECRANELOR

Principalele elemente geometrice ale ecranului și ale câmpului său de protecție, de care se va ține seama în clasificarea și studiul întreprins, după autorul tezei, sunt prezentate în figura 1.26. Acestea sunt:

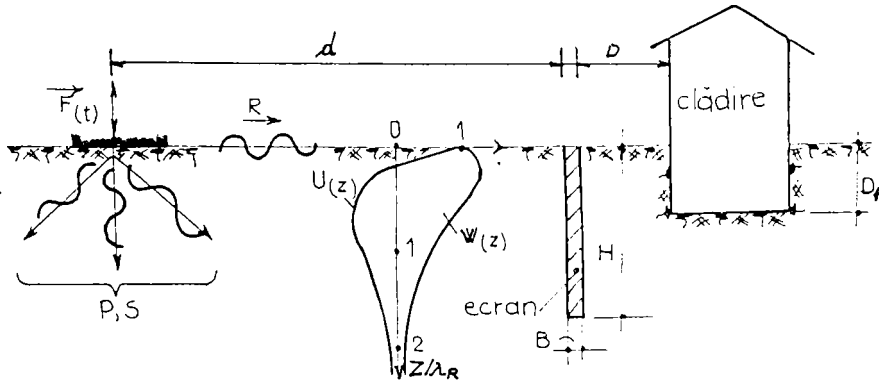


Fig.1.26 Ecranarea - elementele geometrice

- H este adâncimea ecranului sub nivelul terenului;
- B, W - grosimea ecranului;
- L - lungimea ecranului în plan;
- θ - înclinarea ecranului față de planul frontului de undă, sau deschiderea unghiulară în plan;
- d, T - distanța sursă-ecran;
- D - distanța ecran-obiectul de protejat;
- X, Z - axele de coordonate normalizate ($X = x/\lambda_R, Z = z/\lambda_R$);
- λ_R - lungimea de undă Rayleigh (R);

D_f - cota de fundare a obiectului protejat (clădire).

Principali parametri de material al ecranului sunt:

E_k, G_k - modulul de elasticitate (Young), respectiv modulul de forfecare;

ν_k - coeficientul de deformare laterală (Poisson);

ρ_k - densitatea specifică a masei materialului ecranului;

v_k - viteza de propagare a undelor prin ecran (v_{pk}, v_{sk}, v_{rk});

α_k - coeficientul de amortizare al materialului ecranului.

Clasificarea ecranelor se va face în funcție de elementele geometrice și de material amintite, după cum urmează:

A. Din punct de vedere al elementelor geometrice, ecranele pot fi clasificate astfel:

a) După adâncimea normalizată H / λ_R ecranele sunt:

- ecrane adânci, la care $H / \lambda_R \geq 0,6$;

- ecrane de suprafață, la care $H / \lambda_R < 0,6$.

Observații:

1. Se poate face observația că adâncimea ecranului se recomandă să nu depășească $1,4 \lambda_R$, așa după cum se va arăta în paragrafele următoare, deplasările terenului produse de undele R, sub această adâncime, devenind nesemnificative (vezi cap.2).

2. Majoritatea clădirilor afectate de undele ce se transmit prin terenul de fundare au, după B. Prange și A. W. Haupt [52], [102], cota de fundare $D_f < 0,2 \lambda_R$.

b) După grosimea normalizată B / λ_R , ecranele pot fi:

- ecrane subțiri, când $B / \lambda_R \leq 0,2$;

- ecrane groase, când $B / \lambda_R > 0,2$.

c) După poziția ecranului față de sursa de vibrații, izolarea prin ecranare poate fi:

- izolare în câmp îndepărtat (izolare pasivă sau la obiect), când $d / \lambda_R \geq 2,5$;

- izolare în câmp apropiat (izolare activă sau la sursă), când $d / \lambda_R < 2,5$.

d) După poziția (înclinarea) ecranului față de frontul de undă, front considerat ca fiind al unei unde plane orizontale, ecranele pot fi:

- ecrane verticale, când $\theta = 0$;

- ecrane înclinate, când $\theta \neq 0$.

e) După forma secțiunii transversale, ecranele pot fi:

- ecrane rectangulare;

- ecrane compuse, la care secțiunea transversală poate avea forme diferite sau poate fi alcătuită din mai multe elemente componente.

B. Din punct de vedere al materialului de execuție, ecranele pot fi:

a) După rigiditatea materialului din ecran, acestea sunt:

- ecrane rigide, când $E_k > E_{\text{teren}}$;

- ecrane moi, când $E_k < E_{\text{teren}}$;

b) După raportul densităților (ecran-teren):

- ecrane grele, când $\rho_k > \rho_{\text{teren}}$;

- ecrane uşoare, când $\rho_k < \rho_{\text{teren}}$.

c) *După tipul materialului ecranului:*

- ecrane din beton simplu sau armat;
- ecrane din beton plastic;
- ecrane din materiale locale (anrocamente, pietriş, nisip etc.);
- ecrane din noroi bentonitic;
- ecrane din diferite materiale moi (cauciuc, polistiren etc.);
- **ecrane celulare**, alcătuite din tuburi de material plastic (*soluție propusă de autor*);
- ecrane deschise (din aer cu pereții săpăturii sprijiniți sau liberi)

Aceasta clasificare a ecranelor va fi folosită în continuare în lucrare, atât ca referință la studii și cercetări întreprinse de alți autori, cât și la propriile studii și cercetări. De asemenea, elementele geometrice și de material vor avea pe cât posibil aceleași notații, uneori acest lucru se va respecta chiar în detrimentul notațiilor folosite de alți autori, aceasta pentru a da un caracter cât mai omogen întregii lucrări.

1.5 DESPRE UNELE STUDII EXPERIMENTALE PRIVIND PROTECȚIA ANTIVIBRATORIE CU ECRANE DESCHISE

1.5.1 Considerații privind ecranele deschise

Cele mai multe realizări de ecrane de protecție antivibratorie s-au făcut fără aportul unei proceduri raționale de proiectare. Investigațiile făcute de Barkan, Dolling și alții, amintite în paragraful anterior, au avut un scop limitat și nu au oferit suficiente date pentru dimensionarea unui ecran real.

Investigații mai recente au fost făcute pentru a determina eficiența ecranelor deschise (cu pereți din palplanșe) și a celor din noroi bentonitic (Woods, 1968, Barnett, 1974, Sagesser, 1974) [111], [139], a ecranelor cu rigidități și densități diferite (beton, noroi autoîntăritor etc.) având diferite forme și dimensiuni, mărindu-se în acest fel baza datelor pentru proiectare și execuție.

Comportarea undelor elastice de suprafață în apropierea ecranelor deschise este asemănătoare cu cea a undelor gravitaționale formate la suprafața apei, în apropierea unor ecrane rigide. În figura 1.26a se prezintă spre exemplificare raportul amplitudinilor undelor polarizate vertical, incidente normal la un ecran deschis, semiinfinite, în comparație cu cel al undelor gravitaționale, formate la suprafața apei, incidente normal la un ecran rigid (fig.1.26b). Se observă o analogie între difracția undelor seismice în jurul unui ecran deschis și cea a undelor de apă în jurul ecranului rigid. Această analogie, făcută de Thau și Pao (1966) [129] a făcut ca ecranele deschise să fie printre primele cercetate.

Prezentăm în continuare testele de izolare activă și pasivă facute de Woods (1968) [111], [139] și Dolling (1970) dat în [111]. Testele au fost executate pe un amplasament format dintr-un depozit de nisip și aluviuni, într-o zonă departe de

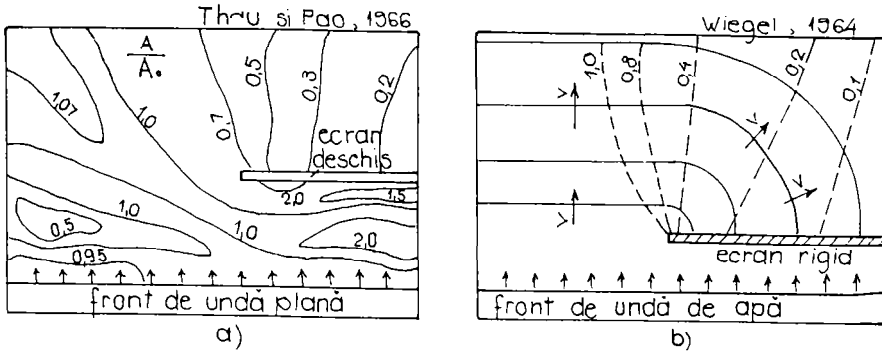


Fig.1.26 Similitudinea ecranării undelor[111]: a - în pământ; b - în apă

zgomot seismic industrial. O secțiune prin poligonul experimental este prezentată în

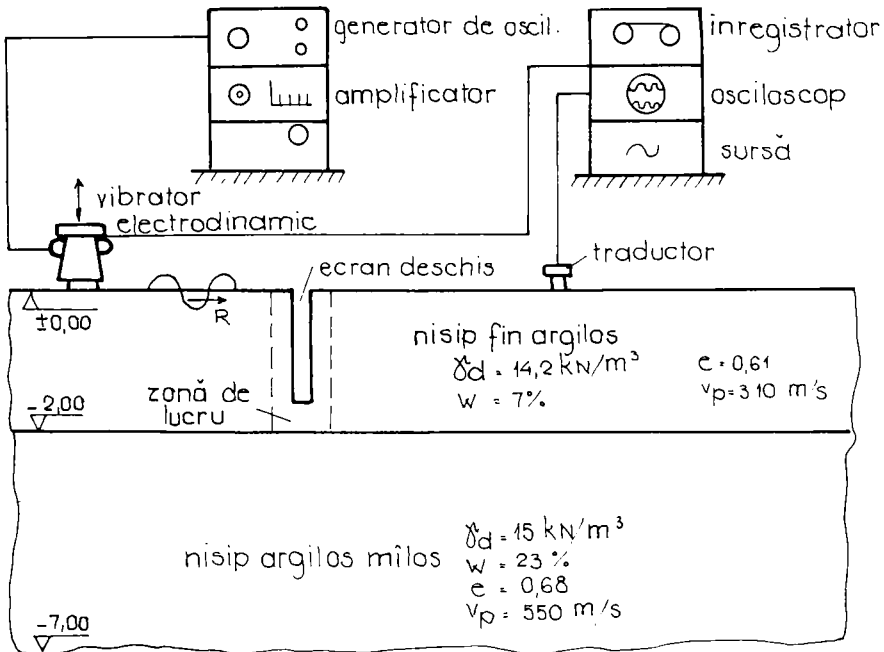


Fig.1.27 Poligon experimental, Woods, 1968[111]

figura 1.27. Unghiul frecării interioare este $\Phi = 28^\circ$, coeziunea $c = 33$ kPa, iar umiditatea $w = 5...15$ %. Terenul și-a menținut verticalitatea săpăturii până la 1,2m.

Tabelul 1.11 Valorile măsurate ale lungimii de undă și vitezei undelor R

Frecvența, Hz	λ_R , m	v_R , m/s
200	0,70	140
250	0,50	1,25
300	0,40	120
350	0,33	115

La testare s-a folosit un excitator electrodinamic, ca sursă de vibrații, și traductor inductiv pentru măsurarea deformațiilor verticale.

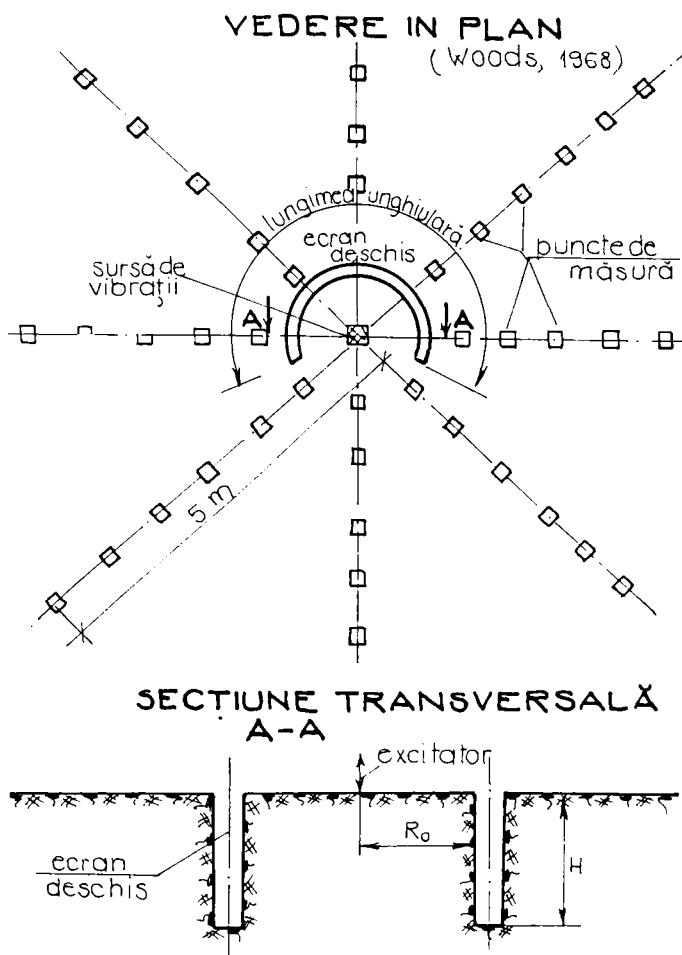


Fig.1.28 Detaliul poligonului experimental în izolarea activă, Woods,1968[111]

Viteza v_R și lungimea de undă λ_R au fost determinate prin măsurători de teren, valorile acestor mărimi fiind prezentate în tabelul 1.11.

1.5.2 Teste de izolare activă

Variabilele primare cele mai importante au fost: adâncimea H a ecranului și lungimea unghiulară θ a acestuia. În experiment $H = 0,3 \dots 0,6$ m, iar $\theta = 90^\circ \dots 360^\circ$.

Figura 1.28 prezintă o diagramă schematică experimentală. Razele ecranelor folosite au avut $R_0 = 0,3 \dots 0,6$ m, obținându-se rapoartele $R_0/\lambda_R = 0,22 \dots 0,91$. Măsurătorile s-au făcut fără ecran și apoi cu ecran, criteriul de eficiență al izolării fiind considerat reducerea amplitudinii, prezentată prin raportul amplitudinilor cu și fără ecran.

Reprezentând aceste puncte pe un plan al amplasamentului s-a obținut o diagramă contur a raportului amplitudinilor (fig. 1.29).

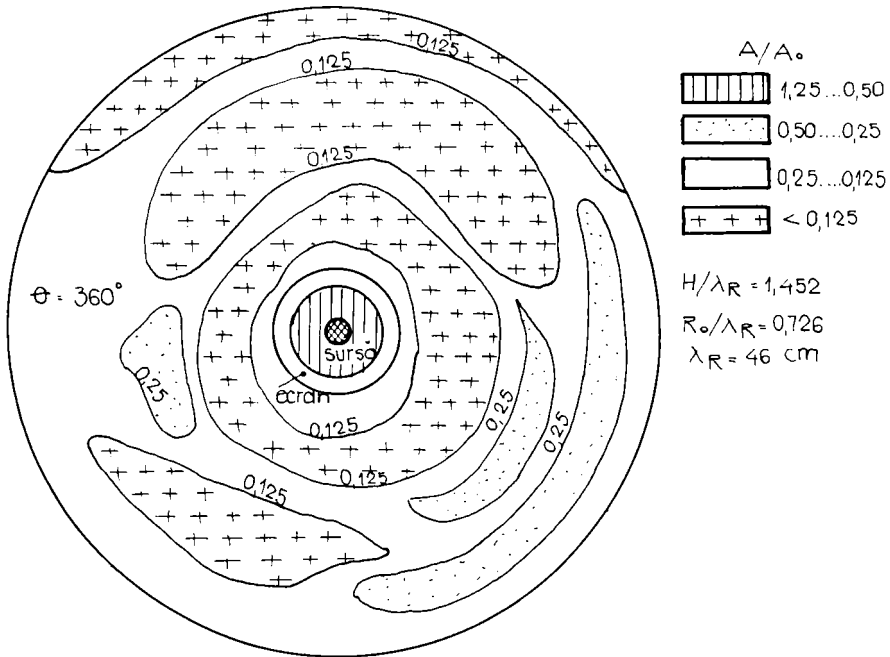


Fig.1.29 Diagramă contur în teste de izolare activă [111]

Din aceste teste a rezultat că pentru ecranele care înconjoară complet sursa de vibrații, la distanță $R_0 < \lambda_R$, adâncimea relativă a ecranului trebuie să fie $H/\lambda_R > 0,6$ pentru a fi eficient.

Distanța de sursă, până la care s-a făcut măsurătorile, a fost de $10 \lambda_R$, aceasta mai ales din considerente de putere a vibratorului.

Pentru ecrane cu $\theta < 360^\circ$, planul de contur este simetric, conul de izolare formează o suprafață aflată în spatele ecranului delimitată de două raze ce formează 45° cu raza determinată de sursă -margine ecran (fig. 1.30).

Această determinare a zonei de izolare, precum și măsurătorile experimentale au arătat că ecranele cu $\theta < 90^\circ$ sunt ineficiente. În aceste teste s-a considerat că izolarea este eficientă dacă raportul amplitudinilor a fost mai mic de 0,25.

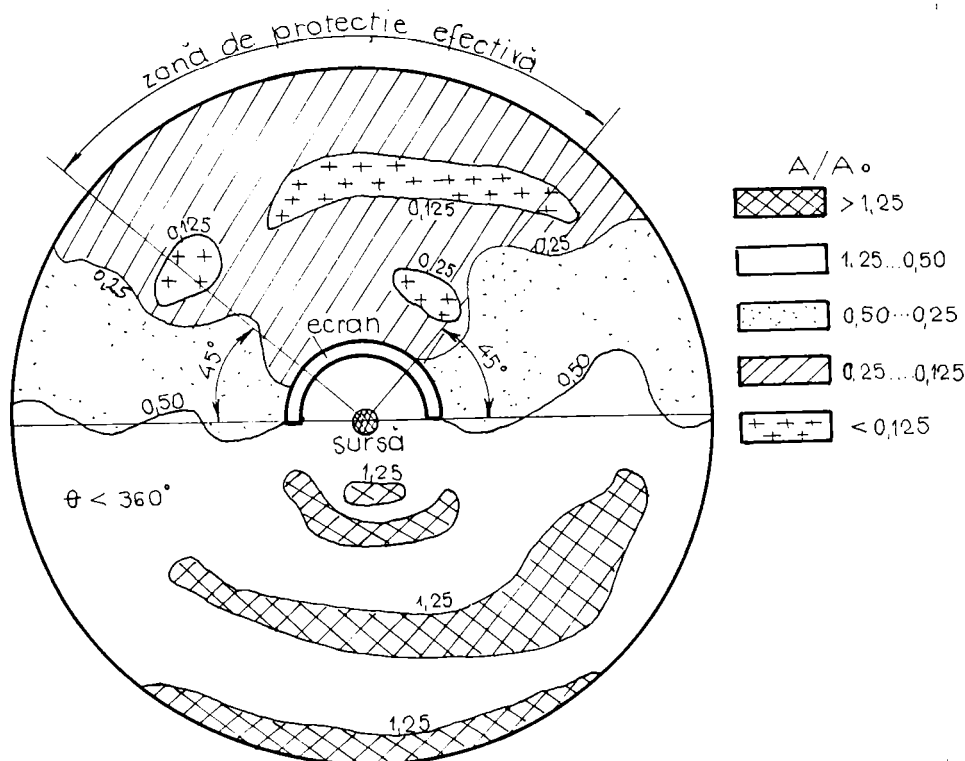


Fig. 1.30 Zona de protecție la izolarea activă [111]

Și la ecranele cu $\theta < 360^\circ$ experimentele au arătat că ecranul este eficient dacă adâncimea normalizată este mai mare ca 0,6.

Analizând rezultatele obținute, Woods a arătat că reduceri de amplitudine mai mari decât un ordin de magnitudine nu se pot obține pentru adâncimi ale ecranului de până la $2\lambda_R$. Testele lui Barkan și Dolling indică rezultate similare.

1.5.3 Teste de izolare pasivă

După același autor (Woods, 1968) [111] prezentăm testele de izolare pasivă făcute prin folosirea unui ecran deschis (fig. 1.31). Această testare s-a realizat prin două poziții ale excitatorului, un ecran deschis și 75 puncte (bănci) de control. Zona testată a fost împărțită în două de o rază ce trece prin mijlocul ecranului.

Variabilele în aceste teste au fost: adâncimea H , lungimea ecranului L , lățimea ecranului W și distanța de sursă R .

Pentru a studia izolarea pasivă s-au folosit ecrane având dimensiunile de la 0,3 m adâncine, 0,3 m lungime și 0,1 m lățime până la 1,2 x 2,4 x 0,3 m. Sursa de vibrații a fost fixată la 1,5 m și respectiv 3 m de ecran; s-au folosit patru frecvențe de lucru rezultând $R/\lambda_R = 2,22...9,10$.

Pentru fiecare caz testat s-a urmărit care este cel mai puțin adânc ecran ce satisface condiția de izolare. S-a obținut astfel $H/\lambda_R = 1,2...1,5$.

Pentru a evalua efectul unei ecranului pe suprafața înreg strată, s-a urmărit evoluția mărimii HL/λ_R^2 . Tendința a fost de creștere a acestui raport odată cu creșterea

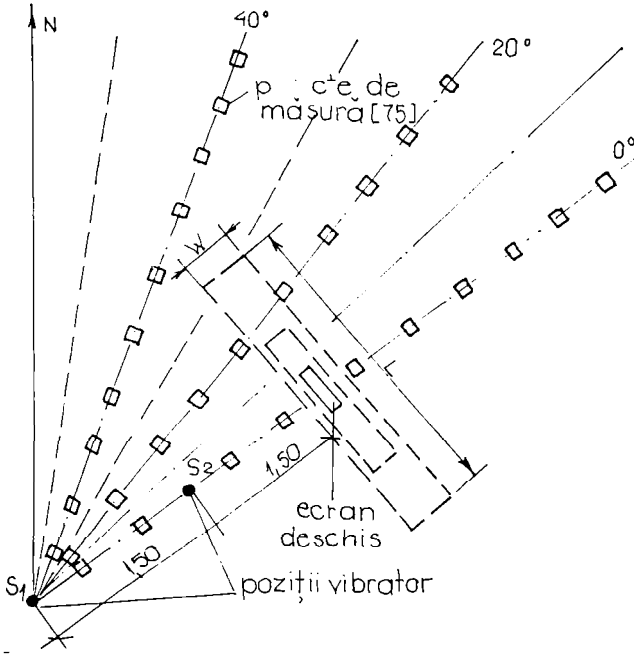


Fig. 1.31 Poligonul experimental în teste de izolare pasivă [111]

raportului L/λ_R .

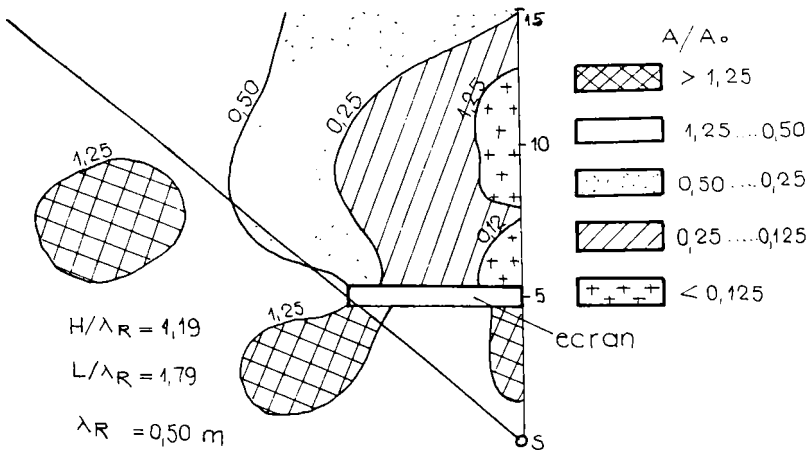


Fig. 1.32 Diagramă contur la izolarea pasivă [111]

În figura 1.32 se prezintă o diagramă contur a raportului amplitudinilor pentru un ecran ce satisface criteriile de izolare. Se observă lateral și în fața ecranului zone în care raportul amplitudinilor este supraunitar, aceasta putând explica unele încercări de izolare antivibratorie prin ecranare (la care s-au făcut referiri anterioare) considerate ca fiind nesatisfăcătoare.

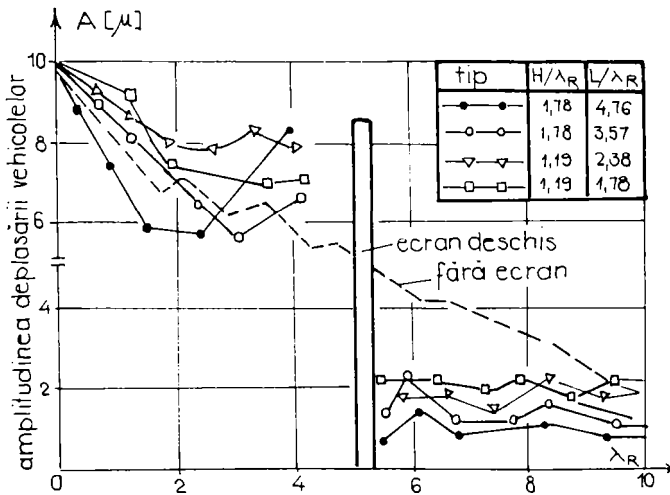


Fig.1.33 Variația amplitudinii deplasării fără și cu diferite tipuri de ecrane [111]

În figura 1.33 sunt prezentate curbele de variație a amplitudinii deplasării verticale în funcție de distanța de sursă, pentru 5 încercări cu date de intrare diferite. Eficiența crescândă a ecranului cu dimensiuni mai mari se poate observa în regiunea din spatele ecranului, prin poziția fiecărei curbe, pentru fiecare test.

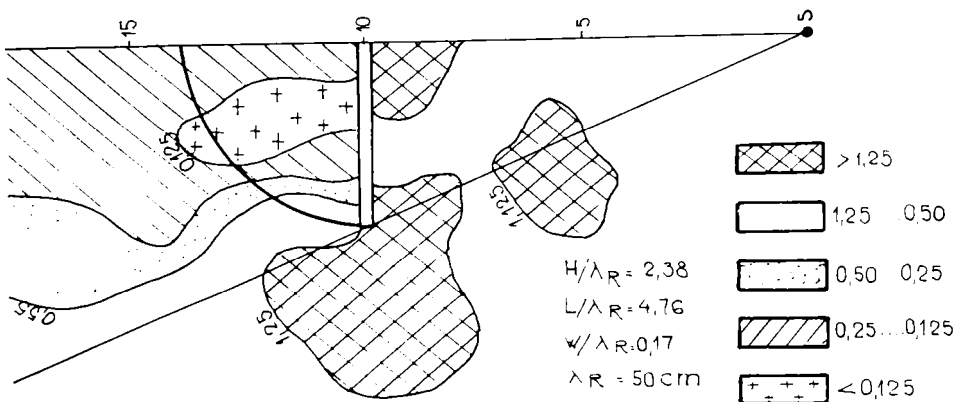


Fig.1.34 Diagramă contur la ecran deschis [111]

În ce privește influența lățimii s-a confirmat presupunerea că lățimea nu a cauzat o schimbare semnificativă nici în magnitudinea reducerii amplitudinii și nici în forma zonei protejate; deci lățimea W nu este o mărime importantă în cazul ecranelor deschise.

De asemenea s-a presupus că ecranele deschise cu pereți din palplanșe ar fi mai eficiente. Pentru aceasta s-a folosit un ecran deschis cu aceleași dimensiuni $H \times L$ și cu pereți din palplanșe introduși pe 1,20...2,40 m lungime în teren. O diagramă de contur obținută este cea prezentată în figura 1.34. Se constată că prezența pereților din palplanșe reduce eficiența ecranării, astfel că sub aspect de izolare prezența acestora nu ar fi justificată.

Se poate observa, de asemenea, o remarcabilă asemănare între diagrama contur din fig.1.34, a ecranului de lungime finită, pe care este incidentă o undă cilindrică de suprafață și cel din figura 1.26a dată de o undă de forfecare plană, care întâlnește un ecran semiinfini, într-un spațiu elastic omogen și izotrop.

1.5.4 Concluzii privind izolarea activă cu ecrane deschise

La folosirea ecranelor deschise în probleme de izolare antivibratorie, trebuie cunoscută sursa perturbatoare, protecția ce trebuie asigurată și suprafața ce trebuie izolată.

1. Pentru **izolarea activă** cu ecran ce înconjoară complet sursa de vibrații, se consideră că ecranarea este eficientă dacă amplitudinea deplasării verticale se reduce până la 25% din mișcarea fără ecran. Această reducere trebuie să aibă loc în afara ecranului, pe o distanță de cel puțin $10\lambda_R$ în spatele acestuia. Pentru a realiza acest lucru trebuie ca raportul $H/\lambda_R \geq 0,6$.

În izolarea activă cu ecran ce înconjoară parțial sursa de vibrații, acest raport are aceeași valoare, iar zona de protecție este simetrică față de o axă ce trece prin sursă și mijlocul ecranului, mărginit lateral de două drepte ce fac 45° cu razele ce trec prin marginile ecranului, iar în exterior mărginită de un arc circular de rază $10\lambda_R$ (fig.1.30). Acest criteriu exclude ecranele cu lungime unghiulară mai mică de 90° .

2. Pentru **izolarea pasivă** un ecran se consideră eficient dacă amplitudinea mișcării verticale la suprafață se reduce la 25% din amplitudinea fără ecran, în cadrul unei suprafețe semicirculare cu centrul la mijlocul ecranului și cu raza $L/2$ (fig.1.34).

Pentru ecrane deschise la care distanța normalizată de sursa de vibrații este $R/\lambda_R = 2...7$, adâncimea normalizată, pentru atingerea acestui scop, trebuie să fie $H/\lambda_R = 1,33$. În cazul unei suprafețe normalizate, pentru a menține același grad de protecție (0,25), trebuie ca $HL/\lambda_R^2 = 2,5$, când $R = 2\lambda_R$ și $HL/\lambda_R^2 = 6$, pentru $R = 7\lambda_R$. Woods nu face recomandări pentru $R > 7\lambda_R$.

Se apreciază că lățimea ecranului nu are importanță în cazul ecranelor deschise, această dimensiune rezultă din considerente constructive.

În ce privește lungimea de undă λ_R se recomandă ca aceasta să fie determinată experimental, prin măsurarea vitezei de propagare a undelor la o

frecvență dată.

Prezența unei fundații învecinate sau a pânzei freatice aproape de suprafață, duce la alterarea diagramelor de contur prezentate și vor trebui luate măsuri suplimentare de izolare.

În ce privește menținerea verticalității pereților ecranului, Woods recomandă folosirea noroiului bentonitic, torcretarea suprafețelor săpăturii sau folosirea pereților din palplanșe.

1.6 DESPRE UNELE STUDII EXPERIMENTALE PRIVIND PROTECȚIA ANTIVIBRATORIE CU ECRANE RIGIDE

1.6.1 Considerații privind ecranele rigide

Folosirea ecranelor deschise nu este întotdeauna posibilă, mai ales atunci când pânza freatică este aproape de suprafață. Ecranele noroioase au, de asemenea, dezavantajul că nu sunt durabile de-a lungul unei perioade lungi de timp fără o întreținere continuă. De aceea ele sunt propice ca măsuri de izolare provizorie, pentru izolarea permanentă luându-se periodic măsuri de refacere a suspensiei noroioase.

Din aceste motive o serie de cercetări au fost orientate spre studiul posibilităților de izolare antivibratorie prin folosirea ecranelor rigide, sub forma unor pereți din beton îngropați. Aceste construcții au avantajul că sunt durabile în timp și se așteaptă să nu își modifice eventualele proprietăți de izolare antivibratorie. Studiile teoretice și experimentale au fost făcute în Germania de W. Haupt, R. Prange, 1978 [51], [52], [102], rezultatele experimentale confirmând pe cele teoretice obținute prin folosirea elementului finit. S-a urmărit și în acest caz izolarea față de undele de suprafață, pământul fiind considerat un semispațiu elastic.

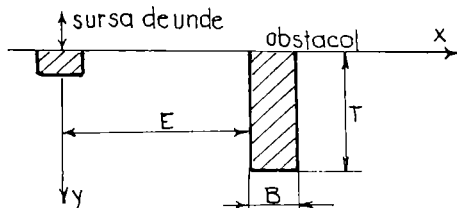
În aceste studii excitația a fost de tip armonic, sursa de vibrații fiind situată la suprafață. În problemele armonice în regim staționar, dependența de timp a deplasărilor poate fi eliminată, problema devenind una statică.

1.6.2 Parametri experimentali

Experiențele lui W. Haupt, 1978 [51], [52], pe care le prezentăm în detaliu, au fost făcute într-un buncăr de nisip cu dimensiunile în plan de 9,5 x 9,5 m și 3 m adâncime. Nisipul a fost adus în stare de compactare maximă, umiditatea fiind de 3%. Vibratorul a fost de tip electrodinamic, generând un câmp de unde R concentric. Amplitudinea și defazajul deplasării verticale au fost măsurate prin folosirea unui traductor de accelerații, amplasat la suprafață, la distanțe egale de sursă, după raze concentrice. Lungimea de undă R a variat între 20 cm și 40 cm.

Măsurătorile au fost făcute la început fără ecran, iar apoi cu ecran. Autorul a considerat că diferenții parametri geometrici și de material vor avea influență diferită asupra amortizării undelor de suprafață, de aceea ei au și fost tratați separat.

Parametrii geometrici, normalizați (cu λ_R) sunt prezentați în figura 1.35, în care:



- τ este adâncimea ecranului;
- β - grosimea ecranului;
- θ - poziția sub suprafața terenului;
- ξ - distanța până la sursă;
- α - înclinarea ecranului.

Fig.1.35 Parametrii geometrici ai ecranului

Parametrii de material sunt prezentați în tabelul 1.12, k subscris făcând referirea la parametrii ecranului.

Tabelul 1.12 Parametrii de material

Seria	E_k / E	ρ_k / ρ	v_k / v	$(E_k \rho_k / E \rho)^{1/2}$
A	34,3	1,37	5,0	6,85
B	25,0	1	5,0	5,0
C	400,0	1	20,0	2,0
D	4,0	1	2,0	2,0
E	0,25	1	0,5	0,5
F	1,0	1,37	0,85	1,17
G	1,0	4	0,5	2,0
H	1,0	25	0,2	5,0
I	1,0	0,2	2,24	0,44

În detaliu vor fi prezentate rezultatele măsurătorilor pe ecranul din beton având $\gamma = 24 \text{ kN / m}^3$, $v = 1500 \text{ m/s}$.

1.6.3 Izolarea câmpului îndepărtat

A. Ecrane rigide rectangulare

În figura 1.36 se prezintă efectul unui ecran rigid rectangular, cu dimensiunile normalizate $\beta / \tau = 0,2 / 1,5$. Cu linie întreruptă este figurată viteza undelor R fără ecran, iar cu linie continuă viteza undei R cu ecran. Atenuarea amplitudinii deplasării cu creșterea distanței de sursă, ca o funcție exponențială, se datorează amortizării interne a materialului umed.

Efectul ecranului asupra câmpului de unde poate fi exprimat prin valoarea $\gamma_i(\xi)$, definită ca raportul între amplitudinea $A_i(\xi)$ a deplasării, în prezența ecranului și $A_{Ri}(\xi)$ fără ecran (unde i reprezintă punctul de măsură):

$$\gamma_i(\xi) = A_i(\xi) / A_{Ri}(\xi), \quad (1.46)$$

Clădirile afectate de undele de suprafață au cota de fundare de aproximativ $0,1 \dots 0,2 \lambda_R$, motiv pentru care amplasarea traductorilor s-a făcut la această adâncime și la suprafața terenului.

În figura 1.37 sunt prezentate curbele tipice ale valorii $\gamma_1(\xi)$ pentru un ecran adânc și subțire $\beta/\tau = 0,2/1,5$, iar în figura 1.38 aceeași funcție pentru un obstacol adânc și lat.

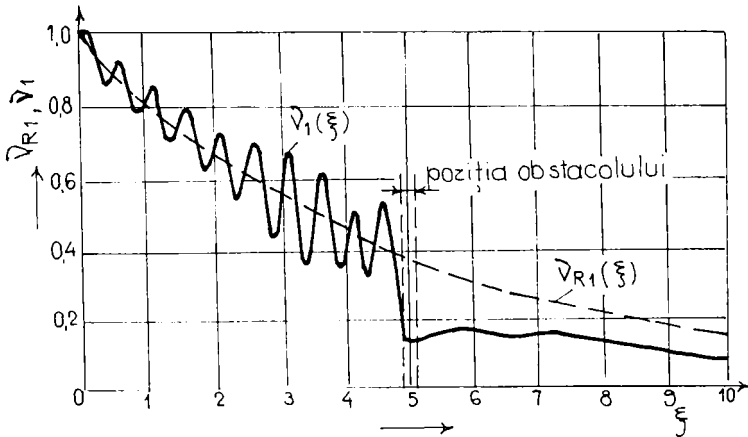


Fig. 1.36 Deplasarea verticală cu și fără ecran [52]

În cazul ecranului adânc și subțire se constată că prin acesta amplitudinea este foarte scăzută, în timp ce prin ecranul lat se produc oscilații care au un minim în mijloc, ceea ce arată că acest ecran se comportă ca un corp rigid ce vibrează vertical.

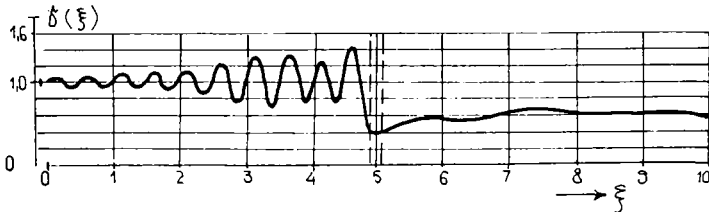


Fig. 1.37 Izolarea cu ecran subțire și adânc [52]

Aprecierea efectului de ecranare se face prin intermediul *factorului de reducere a amplitudinii* (σ_r) definit ca o valoare medie a deplasării verticale a

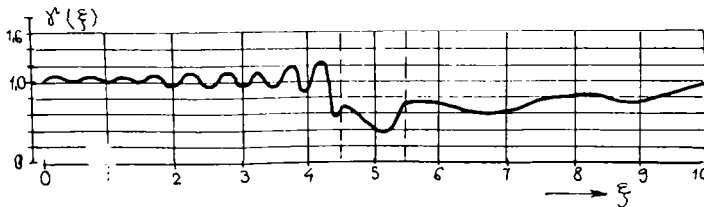


Fig. 1.38 Izolarea cu ecran gros și adânc [52]

amplitudinii normalizate, în spatele ecranului și până la adâncimea de $0,2 \lambda_R$:

$$\sigma_r = \frac{1}{4} \int_{\xi=6}^{\xi=10} \frac{1}{3} [\gamma_1(\xi) + \gamma_2(\xi) + \gamma_3(\xi)] d\xi, \quad (1.47)$$

mărimă ce descreește în timp ce efectul de ecranare crește.

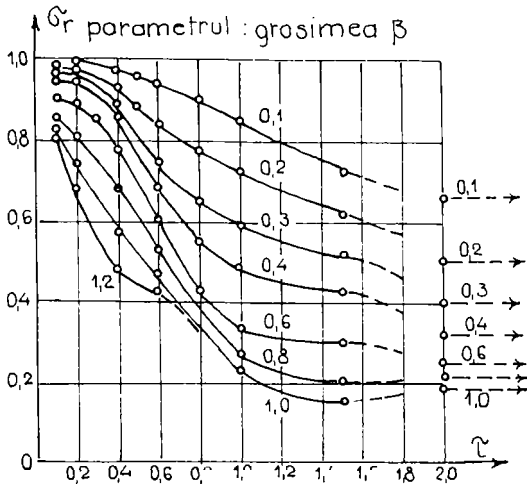


Fig. 1.39 Dependenta amplitudinii de adâncime [52]

După ce s-a vădit că efectul de ecranare este mai mare pentru ecrane mai puțin adânci și mai late, se poate realiza o reducere a amplitudinii de adâncimea redusă a ecranului este arătată în figura 1.39, în care parametrul variabil este grosimea ecranului β . Din aceste diagrame se observă că efectul ecranării crește până la adâncimea $\tau = 1,4 \lambda_R$ după care ecranarea rămâne aproximativ constantă, ea crește odată cu creșterea grosimii ecranului, valoarea minimă fiind aproximativ $\sigma_r = 0,15$ la $\beta = \tau$.

În figura 1.40 este prezentată amplitudinea σ_r în funcție de suprafața ecranului, pentru diferite valori ale grosimii β , ecranul fiind realizat din beton, din seria A.

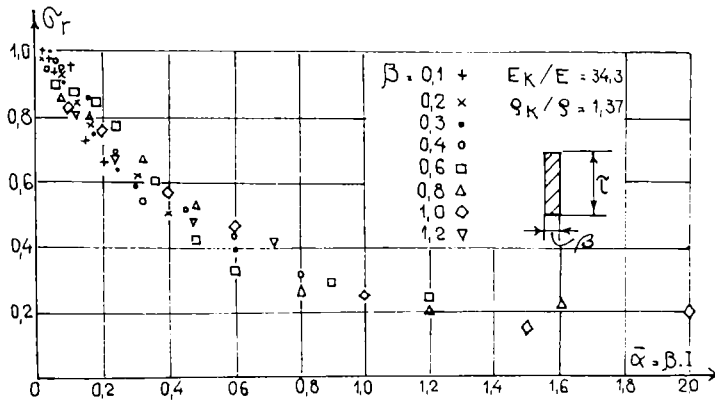


Fig. 1.40 Dependenta izolării de suprafața ecranului [52]

Se observă că pentru ecrane cu grosimi $\beta \geq 0,6$ efectul de ecranare nu descreește mai mult dacă adâncimea ecranului τ depășește valoarea de 1,4. Pentru dimensiunile analizate și ecranul din beton, reducerea maximă a amplitudinii este $\sigma_r = 0,15$. De asemenea ecranul mai puțin adânc și lat $\beta/\tau = 1,0/0,2$ poate avea același

factor de reducere ca și ecranul adânc și subțire. Aceasta duce la concluzia că mărirea factorului de atenuare ar depinde de suprafața relativă a ecranului:

$$\bar{\alpha} = \beta\tau = \frac{BT}{\lambda_R^2}. \quad (1.48)$$

Această dependență, prezentată în figura 1.40, prin notațiile făcute, elimină forma individuală a ecranului. Se poate observa că ecranele, în totalitatea formelor

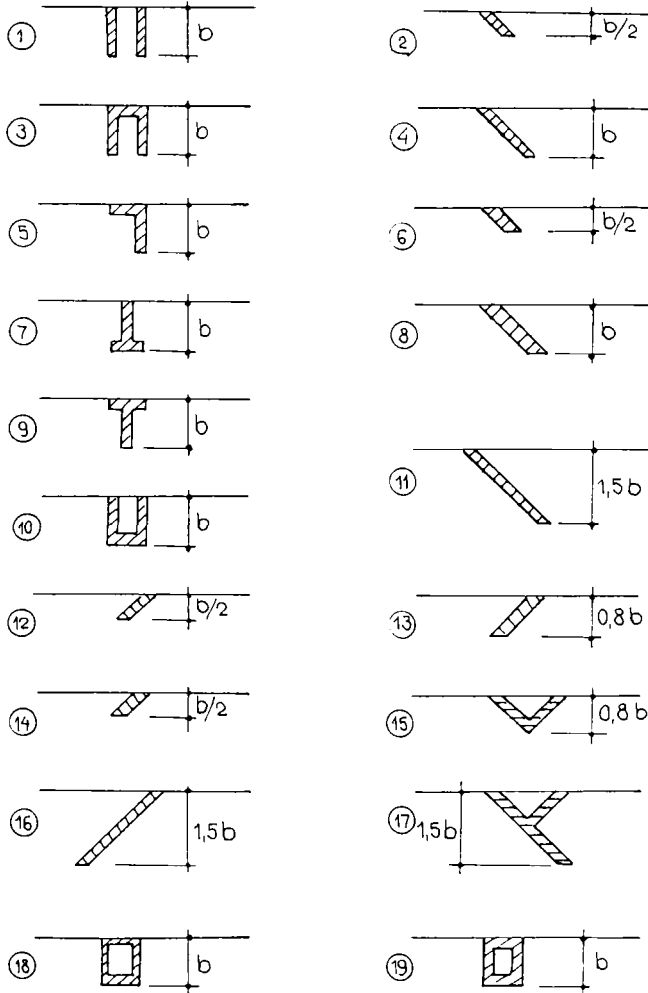


Fig.1.41 Forme costructive de ecrane studiate [52]

secțiunii transversale, au același factor de reducere a deplasării, dacă ariile adimensionale α sunt aceleași. Se poate astfel stabili că efectul de izolare al ecranelor restructurate din beton este o funcție exponențială de aria adimensională a

secțiunii transversală a ecranului și este independentă de forma lui. De asemenea, pentru $\alpha \geq 1,4$ nu se obțin, în general, reduceri mai mici de 0,15.

Aceste observații arată posibilitatea proiectării unor măsuri de protecție antivibratorie în câmpul îndepărtat al unei surse de vibrații, corespunzător necesității reducerii amplitudinilor, a suprafeței ce urmează a fi protejate, precum și a costului măsurii de protecție.

B. Influența formei ecranului asupra izolării

Influența formei ecranului asupra efectului de izolare se face prin compararea ecranelor înguste și adânci cu cele subțiri și late, considerându-se că ar exista o formă geometrică ce ar avea efect maxim de ecranare. În acest sens W. Haupt [52] a studiat, folosind elementul finit, 19 forme diferite, prezentate în figura 1.41. Grosimea ecranelor studiate a fost $\beta = 1$, iar panta de $\pm 45^\circ$ față de unda R incidentă.

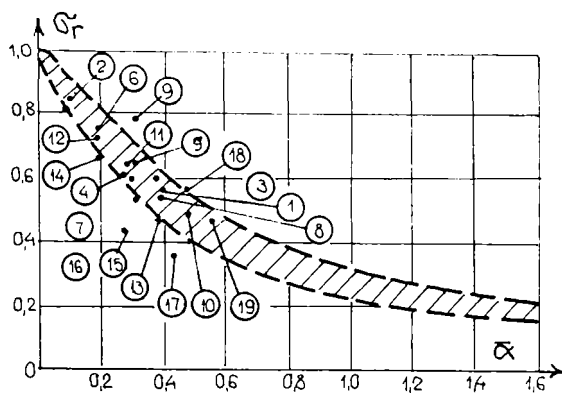


Fig. 1.42 Influența formei ecranului asupra izolării [52]

După cum se poate vedea din figura 1.42 pentru valoarea factorului de reducere a amplitudinii se găsesc în domeniul benzii hașurate, corespunzând ecranului rectangular. Sunt numai două ecrane cu efect de izolare mai bun, formele 15 și 16. Acestea combină cel mai bine efectul ecranelor înguste și adânci cu cele subțiri și late. Autorul consideră însă că acestea sunt mai puțin importante pentru practică din cauza difi-

cultăților de execuție.

C. Influența materialului ecranului

După cum se poate vedea din tabelul prezentat (1.12), în afara ecranelor din beton (A) se mai găsesc patru tipuri de ecrane (B,C,D,E) cu variația modurilor Young și un grup de patru ecrane cu modificarea densităților (F,G,H,I).

Valorile factorului de reducere al amplitudinii pentru câteva din aceste ecrane sunt prezentate în figura 1.43.

a) Ecrane din materiale compacte

În seria B raportul vitezelor $v_k/v = 5$ ca și la cele din beton (seria A). Factorul de reducere a amplitudinii este oarecum mai mare ca cel din seria A.

În seria F, densitatea ecranului este egală cu cea a betonului, dar modulul Young este același cu al materialului înconjurător. În acest caz, factorii de reducere a amplitudinii sunt foarte mari (0,95...1,0). Aceste rezultate arată că efectul de izolare al ecranelor compacte este dependent, în special, de rigiditatea materialului și într-o mai mică măsură de creșterea densității materialului.

Raportul E_k / E este ales să fie 400 pentru seria C, valorile lui σ_r sunt foarte puțin mai mici ca cele din seria A, figura 1.43. Deși nu este economic să se folosească beton de marcă superioară pentru construcții de izolare, un perete din acest material este comparabil cu un perete din palplanșe.

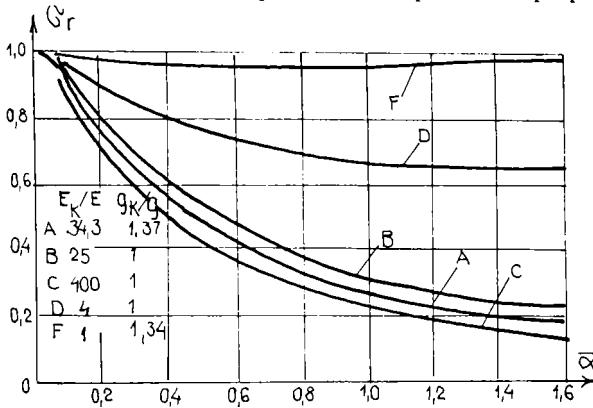


Fig. 1.43 Influența materialului ecranului asupra izolării [52]

mare decât cel al terenului de fundare (seria D), valorile factorului de reducere a amplitudinii nu scade sub 0,6, de aceea se consideră că un astfel de material nu ar duce la un efect de ecranare suficient.

b) Ecrane din materiale moi.

Este interesant de observat efectul de ecranare produs de un material moale. $E_k / E < 1$, (fig. 1.44). Un astfel de material este cel din seria E, din tabelul 1.12.

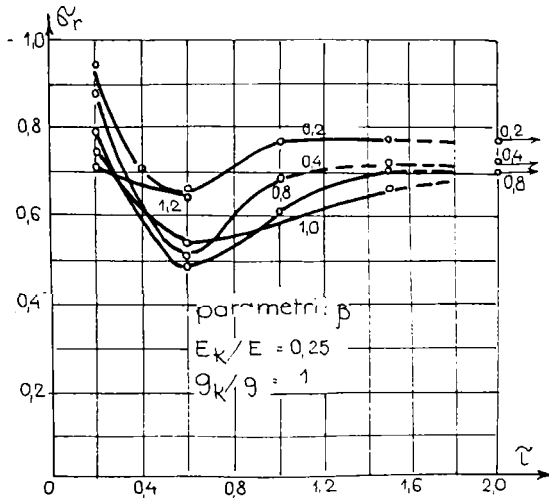


Fig. 1.44 Izolarea cu ecrane moi [52]

Dacă un astfel de perete din beton armat sau palplanșe ar avea o arie a secțiunii transversale $\alpha = 0,1$ sau mai puțin, factorul de reducere al amplitudinii este 0,9 sau mai mult. Acest foarte mic efect de ecranare al peretelui de palplanșe este în acord cu rezultatele experimentale întreprinse de Woods, 1968[111].

Dacă modulul lui Young este de patru ori mai

Acest ecran nu prezintă comportare ca și materialele rigide. Aceasta se explică prin aceea că există o diferență între viteza de propagare a undelor în cele două medii.

Spre deosebire de ecranele rigide, la care disiparea energiei undei se face prin transmiterea acesteia în adâncime, la ecranele moi efectul de reducere se datorează numai reflexiei undelor pe cele două interfețe verticale.

La aceste ecrane σ_r este puțin dependent de τ , care ia valori între 0,7...0,8. Pentru

acest material nu se poate stabili nici o legătură între factorul de reducere și suprafață.

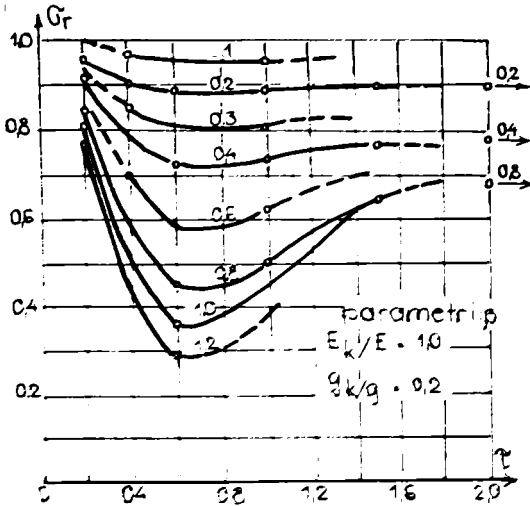


Fig. 1.45 Izolarea cu ecrane ușoare [52]

prezentate în figura 1.45.

Efectul de izolare la aceste ecrane este ca și la ecranele rectangulare din beton, sau chiar mai bun.

În cazuri practice, când sunt cerute numai măsuri de izolare provizorie, aceste ecrane au avantajul că sunt ușoare și deci ușor de executat. Adâncimea acestor ecrane va trebui să fie de cel puțin $0,67 \cdot R$. Dacă rigiditatea acestor materiale nu crește, la folosirea lor ca ecrane adânci, mecanismul de ecranare nu are loc.

1.6.4 Ecranarea câmpului apropiat

La ecranarea în câmp îndepărtat eforturile dinamice cauzate de mișcarea verticală a ecranului rigid sunt în fază pe adâncime. În contrast cu aceasta, în vecinătatea sursei (câmp apropiat), defazajul efortului de-a lungul unui plan vertical, extins de la suprafață spre interiorul pământului, se schimbă cu adâncimea. De aceea, efectul produs de tensiunile tangențiale pe suprafața ecranului compact se vor anula parțial, reducând mișcarea verticală a ecranului. Prin urmare, este de așteptat o micșorare a factorului de reducere a amplitudinii.

A. Ecrane rigide

Se prezintă în continuare efectul de izolare a unui ecran din beton, adânc, față de o sursă de vibrații aflată la suprafață (fig. 1.46). Ecranul are grosimea $\beta = 0,2$, iar adâncimea variabilă $\tau = 0,5 \dots 1,83$. Se prezintă dependența factorului σ_r de distanța normalizată de sursă ξ . Pentru ecranul așezat la distanță mai mare ca 2, σ_r este constant, ceea ce arată că ecranul se află în zona de protecție pasivă. Pentru $\xi < 1$ se consideră că reducerea amplitudinii se datorează fenomenului de interferență în

Seriile G și H, la care raportul densităților este 4 și respectiv 25, sunt de interes pur teoretic. Totuși, este de notat că pentru ultimul caz, pentru dimensiuni speciale ale ecranelor, o valoare a lui σ_r este de aproape 0,1.

c) Ecrane din materiale ușoare

În practică raportul densităților nu trece mult peste 1,6. Valoarea acestui raport este, în cazul seriei I, $e \dots e$, a.e.a. foarte ușor (beton ușor, material plastic). Rezultatele obținute cu astfel de ecrane sunt pre-

interiorul semispațiului sursă-ecran. Pentru ecrane mai subțiri de $\beta = 0,1$ efectul de ecranare se reduce cu aproximativ 20%.

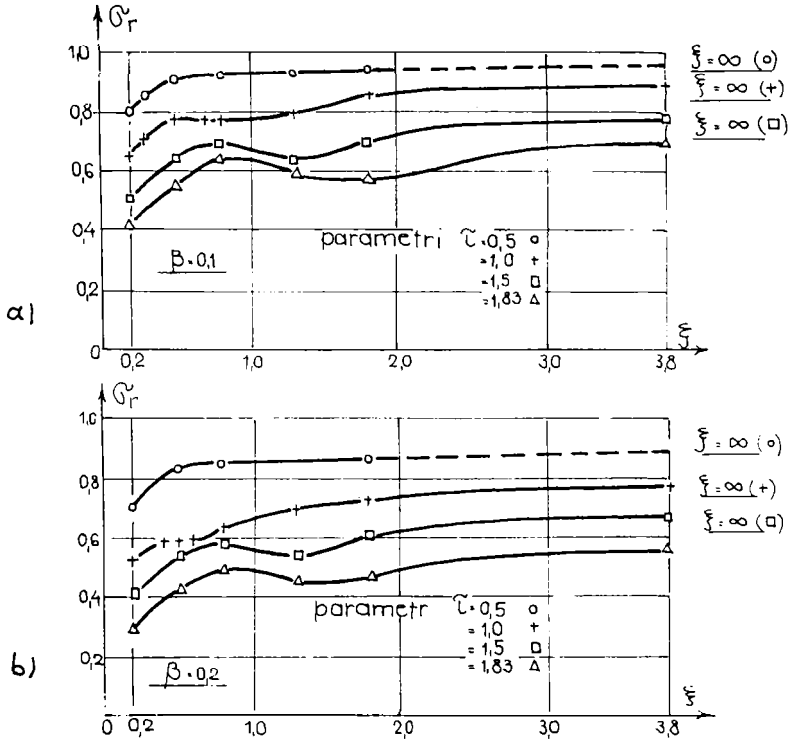


Fig. 1.46 Izolarea produsă de un ecran rigid în câmp apropiat[52]:
a) grosimea $\beta = 0,1$; b) grosimea $\beta = 0,2$

B. Ecrane moi

În cazul ecranelor moi, în figura 1.47, sunt prezentați factorii de reducere a amplitudinii pentru $\beta = 0,1$ și $0,2$. În acest caz nu poate fi pusă în evidență o relație

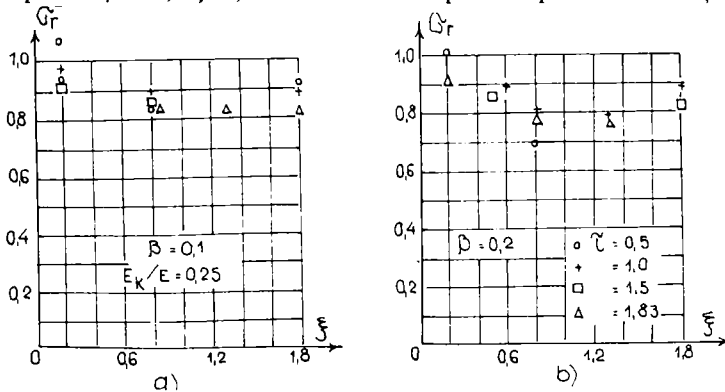


Fig. 1.47 Izolarea cu ecrane moi [52]: a) $\beta = 0,1$; b) $\beta = 0,2$

$\sigma_r - \tau$ ca la ecranele rigide.

Contrar celor arătate la ecranele rigide, σ_r crește odată cu apropierea de sursă, putând depăși chiar valoarea 1. Aceasta se explică prin aceea că dincolo de un anumit unghi al direcției de propagare a undei, ecranul ajunge în incidența undelor P și S, care vor fi refractate parțial de către ecran și vor contribui la formarea undei R în spatele ecranului (fig.1.48). Acesta poate domina efectul de ecranare care este destul de mic la ecranele subțiri și adânci.

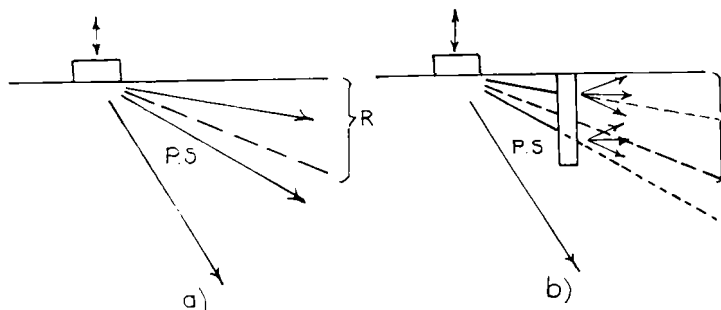


Fig.1.48 Incidența undelor P și S pe ecran [52]: a) câmp de unde radiant; b) ecran în câmpul undelor P și S

C. Interacțiunea sursă-ecran

În cazul izolării câmpului apropiat, prezența ecranului afectează vibrațiile sursei ca și cele ale câmpului din spatele ecranului. În figura 1.49 se prezintă două

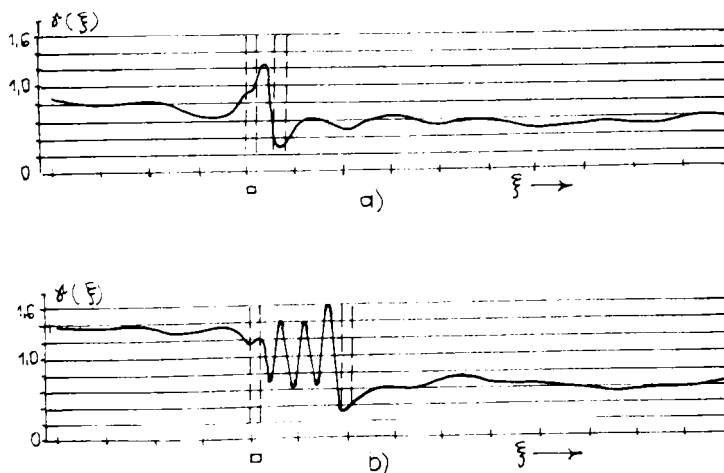


Fig. 1.49 Interacțiunea ecran - sursă, când acestea se află la distanța[52]:

a) $\xi = 0,5$; b) $\xi = 1,8$

cazuri de izolare a câmpului apropiat, cu un ecran din beton având dimensiunile

$\beta/\tau = 0,2 / 1,5$, la o distanță $\xi = 0,5$ de sursă (fig. 1.49a) și respectiv $\xi = 1,8$ (1,49b). Prezența fundației și a ecranului sunt arătate prin linii verticale întrerupte. Între fundație și ecran are loc fenomenul de reflexie și de interferență. Dacă distanța fundație-ecran se află la un punct de minim, amplitudinile sunt reduse. Unda incidentă și cea reflectată în acest caz sunt defazate, având loc o reducere importantă a amplitudinii.

În figura 1.49b, distanța fundație-ecran este astfel aleasă încât undele incidente și reflectate sunt în fază, având loc astfel o mărire a amplitudinii. În aceste figuri, după cum s-a mai arătat, $\gamma(\xi)$ reprezintă raportul amplitudinilor deplasării cu și fără ecran.

Dacă se pune deci problema izolării câmpului apropiat, trebuie luat în considerare și efectul de creștere sau micșorare a amplitudinii deplasării verticale în câmpul dintre sursă și ecran.

1.6.5 Concluzii privind protecția antivibratorie cu ecrane rigide

Ecranele rigide, prezentate în special în urma cercetărilor făcute de Haupt, Prange, și Lorenz, înlătură în parte neajunsurile ecranelor deschise sau noroioase, mai ales în ce privește durabilitatea lor în timp. Folosirea acestora este însă mai recentă, iar rezultatele publicate sunt mai mult experimentale, primele studii efectuându-se începând cu anii șaptezeci.

Datorită ușurinței în execuție, a existenței betonului pe orice șantier și a durabilității mari a acestuia în timp, cel mai cercetat tip de ecran rigid este cel din beton simplu, de formă rectangulară. Realizarea lui se face, de regulă, direct în pământ, după tehnologiile piloților îngropați.

După concluziile lui A.W. Haupt, 1978 [51], [52], *protecția antivibratorie a ecranelor rectangulare din beton este o funcție exponențială de aria adimensională a secțiunii transversale a ecranului și este independentă de forma lui. De asemenea, pentru arii ale secțiunii transversale normalizate $\alpha \geq 1,4$, nu se obțin reduceri ale atenuării sub 0,15.*

Legat de adâncimea de realizare a ecranului s-a constatat că pentru adâncimi $H/\lambda_R \geq 1,4$ nu se obține o reducere a atenuării sub 0,15.

În ce privește grosimea ecranelor rectangulare din beton, aceasta nu depășește λ_R , când, de altfel, reducerea amplitudinii scade la 0,18 din cea fără ecran.

Referitor la forma ecranului, concluzia autorilor amintiți este aceea că pentru forme mai complicate de ecrane, care să combine mai eficient ecranele înguste și adânci cu cele subțiri și late, care pot aduce o protecție suplimentară, este nejustificată din cauza dificultăților tehnice de realizare a acestora.

Înfluența materialului ecranului este analizată în general prin prisma raportului între modulul Young al materialului ecranului și cel al terenului înconjurător, precum și prin raportul densităților celor două medii în contact. Legat de aceste mărimi este urmărit raportul vitezelor undelor prin cele două medii, care, după cum se știe, înglobează și influența coeficientului Poisson.

Ecranele din **materiale rigide** (beton, beton armat, oțel) au cea mai bună comportare ca efect de ecranare. Dacă însă aria secțiunii transversale este mică ($\lambda \leq 0,1$), factorul de reducere a amplitudinii este foarte mic (peste 0,9), ceea ce arată că un perete din palplanșe din metal nu realizează efectul de ecranare dorit.

Ecranele cu densități egale cu ale pământului, dar cu un raport al modulilor Young sub 4, cum ar fi cele din amestecuri din pietrișuri, piatră spartă etc., valorile factorului de reducere a amplitudinii nu scade sub 0,6, ceea ce, de cele mai multe ori, este insuficient.

Ecranele din **beton armat** au efect de ecranare mai bun ca cele din beton simplu. Nici la acestea însă nu este necesară realizarea unor adâncimi de peste $1,4\lambda_R$. De remarcat că armarea puternică a acestor ecrane nu duce la o creștere sensibilă a izolării.

Ecranele din materiale moi au în general efectul de izolare comparabil cu al ecranelor rigide. Ecranarea lor se datorează în special reflexiei undelor pe cele două fețe ale ecranului și refracției acestora la trecerea prin ecran, spre deosebire de ecranele rigide ce transmit energia undei în adâncime. Aceste ecrane se obțin în general pe în amestecuri de bentonită cu materiale locale. De remarcat că efectul de izolare la aceste ecrane nu depinde de suprafața secțiunii transversale, prin urmare comportarea lor se apropie foarte mult de cea a ecranelor deschise. De asemenea grosimea lor nu influențează semnificativ ecranarea, astfel că grosimea ce rezultă din considerente tehnologice de execuție este suficientă.

În toate cazurile când se cer măsuri de **izolare provizorie**, aceste ecrane prezintă multe avantaje care le impun: ușor de executat, ieftine în comparație cu ecranele rigide, la nevoie, ușor de îndepărtat. Adâncimea normalizată a acestor ecrane se recomandă să fie, totuși, de cel puțin $H / \lambda_R = 0,6$.

Ecranele ușoare (beton ușor, material plastic etc.) au, după părerea acelorași autori, efect de ecranare chiar mai bun ca al ecranelor din beton. Dacă volumul ecranului este omogen, se constată o creștere a ecranării, odată cu creșterea ariei secțiunii transversale. Ecranele cercetate au avut raportul modulilor Young $E_k / E \cong 1$, iar cel al densităților $\rho_k / \rho = 0,2$.

Referitor la **poziția ecranului față de sursa de vibrații** (izolarea în câmp apropiat sau îndepărtat), există părerea unanimă că, dacă ecranele se află la peste $2\lambda_R$ de sursă, se poate vorbi de izolare în câmp îndepărtat. În acest caz, frontul de undă întâlnește ecranul după o suprafață aproximativ plană, astfel că, în cazul ecranului rigid, toate punctele ecranului se vor mișca pe verticală în fază, transmitând o parte din energia undei în adâncime.

La **izolarea în câmp apropiat**, defazajul efortului indus de undă în planul vertical al ecranului se modifică pe adâncime, astfel că tensiunile tangențiale se vor anula parțial la ecranul rigid, reducând mișcarea verticală a acestuia, cu efect favorabil asupra câmpului din spatele ecranului.

În ce privește câmpul dintre sursă și ecran, datorită reflexiei parțiale a undelor de ecran și prin compunerea undelor reflectate cu undele incidente, pot

avea loc amplificări locale, fapt observat de altfel și de Woods la ecranele deschise și prezentat în diagramele contur din paragraful 1.5.

Dacă ecranul se află sub λ_R distanță de sursă, undele P și S vor întâlni partea inferioară a ecranului care, conform principiului lui Huygens, va deveni nou centru de perturbație, de la care se va propaga unde în spatele ecranului.

Legat de așezarea în plan a ecranului și de conul de "umbră" creat în spatele acestuia, la izolarea în câmp îndepărtat, A.W.Haupt și B.Prange nu fac referiri, ei considerând problema ca fiind una bidimensională.

1.7 STUDII ȘI CERCETĂRI CE ÎȘI PROPUNE SĂ REALIZEZE AUTORUL

Din studiul documentar întreprins de autor și din experiența acumulată, cercetările s-au axat pe stabilirea efectului de ecranare a construcțiilor împotriva vibrațiilor transmise prin terenul de fundare, folosind următoarele tipuri de ecrane:

1. **Ecrane rigide**, din beton sau beton armat, rectangulare, poziționate diferit față de sursa de vibrații;

2. **Ecrane din beton plastic**, obținute prin amestec de bentonită și ciment, sau din materialul dislocat la săparea ecranului care se amestecă cu ciment și se reintroduce în spațiul ocupat de ecran;

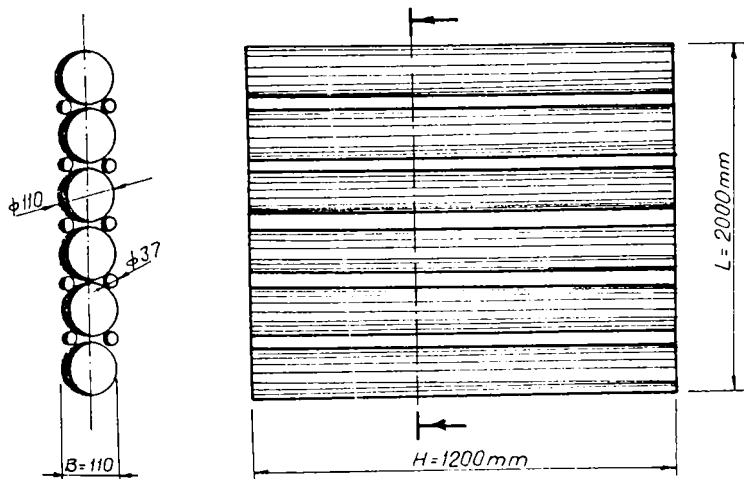


Fig. 1.50 Panou pentru ecran celular

3. **Ecrane celulare, soluție nouă, propusă de autor**, la care ecranul este realizat din tuburi de PVC, de joasă sau înaltă presiune, îmbinate sub formă de panouri (fig. 1.50) și îngropate în pământ. Grosimea ecranelor obținute se poate modifica după dorință, prin alăturarea mai multor panouri identice sau diferite, iar lungimea și adâncimea prin alăturarea sau tăierea tuburilor la dimensiunea dorită.

Cercetările teoretice și experimentale sunt axate în special pe folosirea acestor trei tipuri de ecrane în lucrări de protecție antivibratorie, deoarece ele prezintă mai multe avantaje, după cum urmează:

A. Ecranele din beton

1. Față de ecranele deschise, ecranele din beton sunt mai durabile, au aproximativ același preț de execuție, deoarece la ecranele deschise costul palplanșelor se apropie de cel al betonului necesar la execuția ecranelor din beton.

2. Față de ecranele noroioase (din noroi bentonitic), ecranele din beton, chiar dacă sunt mai scumpe, au avantajul că nu necesită lucrări de întreținere în timp. Ecranele noroioase necesită lucrări periodice de reîmprospătare și fluidizare a noroiului bentonitic, ceea ce mărește costul întreținerii.

3. Față de ambele tipuri de ecrane (deschise și din noroi bentonitic), ecranele din beton au avantajul că își păstrează efectul de ecranare chiar în prezența apei subterane.

B. Ecranele celulare, față de alte tipuri de ecrane, prezintă următoarele avantaje:

a) Față de ecranele deschise, cu pereți din plalplanșe și interspațiu liber, ecranele celulare sunt mult mai ieftine, la aceeași suprafață de ecran, având în vedere că palplanșele rămân definitiv înglobate în lucrare; sunt ușoare, mai ușor de pus în operă și nu sunt influențate de prezența apei, nici chiar de apele agresive.

b) Față de ecranele din noroi bentonitic au avantajul că nu-și modifică caracteristicile mecanice în timp și nu necesită lucrări de întreținere.

c) Față de ecranele din beton sau beton armat sunt mult mai ieftine, mai ușoare și mult mai ușor de pus în operă, la un efect de ecranare cel puțin la fel de bun.

Deoarece cele mai multe realizări de ecrane de protecție s-au făcut fără aportul unei proceduri raționale de proiectare, iar testele efectuate până în prezent au avut un caracter limitat și nu au oferit suficientă bază pentru proiectarea unui ecran real, autorul își propune să urmărească tocmai acest scop, adică să pună baza unor **norme de proiectare a izolării construcțiilor prin ecranare**.

Considerăm acest lucru cu atât mai necesar cu cât, așa cum s-a menționat, protecția antivibratorie prin ecrane realizate în pământ, constituie o metodă nouă, puțin cunoscută și folosită la noi în țară până în prezent.

Cuprinderea în norme tehnice a acestor metode de protecție ar duce la cunoașterea și impunerea și la noi a procedurilor de izolare antivibratorie a construcțiilor în care trăim sau în care ne desfășurăm activitatea.

Un capitol aparte al tezei va fi consacrat *studiului reflexiei undelor pe ecran, al refracției lor prin ecran și mai ales al difracției undelor pe sub ecran și pe la capetele ecranului*. Dacă în ce privește reflexia undelor pe ecran sau transmisia acestora prin ecran, referințele bibliografice sunt mai frecvente, mai ales în privința undelor sonore cu care deseori se face similitudine, cercetările în domeniul difracției undelor pe sub ecran și pe la capetele ecranului sunt mai puține. Fenomenul difracției este mai mult studiat în domeniul opticii sau al ultrasunetelor.

În acest sens autorul își propune să aducă a cât de mică lămurire a fenomenelor ce au loc, făcând corelarea relațiilor teoretice stabilite cu datele experimentale proprii sau ale diverșilor autori. Pe baza acestui studiu (de reflexie, refracție și difracție) se va stabili *zona de protecție din spatele ecranului (umbra)*, adică zona în care amplasarea unei construcții o va face să fie ferită de vibrațiile incidente pe ecran.

O importanță deosebită se va acorda *stabilirii lungimii ecranului*, mai ales la *protecția față de surse mobile de vibrații* (trafic rutier sau feroviar) și a poziționării acestuia față de sursa de vibrații.

Deoarece ecranele din beton, simplu, armat sau plastic sunt cele mai la îndemână a fi executate pe șantier și sunt cele care, conform studiului bibliografic, au efectul de ecranare cel mai mare, sau sunt cele mai ieftine, un capitol al tezei va fi consacrat experimentărilor întreprinse de autor pe astfel de ecrane, trăgându-se și concluziile necesare pentru proiectare și execuție.

Intrucât ecranarea se face îndeosebi împotriva undelor provenind de la surse de suprafață, într-un capitol al tezei se va trata *mecanismul de producere a vibrațiilor în teren* de către aceste surse, a partiției energiei între undele rezultate, iar apoi se va face studiul propagării acestor unde prin pământ. Pământul va fi considerat, într-o primă fază, un mediu continuu, elastic, omogen și izotrop, iar în a doua fază un mediu trifazic, în care caz se va stabili influența apei din pori asupra procesului de propagare.

Deoarece amplitudinea vibrațiilor terenului, situat la o anumită distanță de sursa de vibrații, depinde și de amortizarea acestora în teren, o atenție aparte se va da *fenomenelor de amortizare* a undelor cu depărtarea de sursă, atât sub aspectul *amortizării geometrice*, cât și a celei *interne (de material)*. Sub acest aspect se consideră importantă *protecția construcțiilor noi prin amplasarea optimă față de sursa de vibrații*.

CAPITOLUL II

STUDII TEORETICE CU PRIVIRE LA PROPAGAREA VIBRAȚIILOR PRIN PĂMÂNT

2.1 CONSIDERAȚII GENERALE PRIVIND PROPAGAREA VIBRAȚIILOR PRIN PĂMÂNT

După cum s-a arătat în capitolul 1, vibrațiile, șocurile sau trepidațiile, cauzate fie de vehicule, fie de mașini, se propagă adesea până la foarte mari distanțe de locul unde iau naștere, fără ași atenua intensitatea în mod sensibil, stânjenind activitatea în ateliere, birouri sau locuințe, afectând precizia lucrului, incomodând, uneori chiar grav, pe locatarii din vecinătate și compromițând mai mult sau mai puțin rezistența și durabilitatea clădirilor, a mașinilor și a instalațiilor.

Este de asemenea știut că aceste perturbări nu se propagă uniform în toate direcțiile și nici în același mod în toate terenurile. Astfel, terenurile tari, compacte, transmit perturbațiile la distanțe mai mari decât terenurile moi sau granulare. Straturile de apă subterană duc perturbațiile până la distanțe surprinzător de mari, în unele cazuri aproape fără atenuarea intensității.

Datele experimentale privind comportarea terenurilor de fundare sub acțiunea diferitelor solicitări, provenite de la mașinile pe care le suportă, arată că nu sunt verificate relațiile teoriei elasticității, pământul fiind departe de a se comporta elastic. Dacă totuși, în anumite condiții de solicitare, se poate lua în considerare o oarecare elasticitate a pământurilor, este ușor de verificat că valorile caracteristicilor elastice respective variază considerabil cu direcția și chiar cu intensitatea solicitării, ceea ce denotă o anizotropie marcantă, chiar la pământuri în aparență omogene și uniforme.

Nu trebuie de asemenea pierdut din vedere că, uneori, chiar la sarcini moderate, nu se pot evita deformațiile plastice, adesea destul de importante și, prin urmare, comportarea pământului nu este liniară.

Este evident deci că ecuațiile teoriei elasticității, stabilite în ipoteza unui mediu continuu, omogen și izotrop, supus legii generalizate a lui Hooke, își pierd valabilitatea și că în locul lor, chiar dacă se atribuie pământului proprietăți elastice, ar trebui folosite relații mai cuprinzătoare între eforturi și deformații. Este însă ușor de văzut că folosirea unui asemenea sistem de relații între eforturi și deformații ar da loc la foarte serioase dificultăți de calcul și nu trebuie să fie de mirare că nici *elasticitatea statică a mediilor anizotrope* nu este încă dezvoltată în mod satisfăcător. Cu atât mai puțin este studiat *aspectul dinamic* al comportării mediilor anizotrope elastice.

În consecință, în cele ce urmează, în tratarea problemei propagării vibrațiilor prin pământ se va folosi, în general, calea clasică, considerând că terenul de fundare se supune ecuațiilor mediilor continue izotrope, liniar-elastice, exprimate în regim dinamic. Este evident că rezultatele obținute trebuie privite mai mult ca

indicații calitative decât ca valori cantitative. În fiecare caz în parte însă, rezultatele teoretice vor trebui completate cu măsurători experimentale, ceea ce va permite stabilirea unei corelații între aceste mărimi.

2.1.1. Ecuația generală a undelor primare

Ecuațiile mediului continuu deformabil în raport cu deformațiile, cunoscute și sub numele de ecuațiile Lamé, în care se neglijează forțele masice, au expresiile [14],[55],[111]:

$$(\lambda + G) \frac{\partial \varepsilon_v}{\partial x} + G \Delta u = \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}; \quad (2.1)$$

$$(\lambda + G) \frac{\partial \varepsilon_v}{\partial y} + G \Delta v = \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}; \quad (2.2)$$

$$(\lambda + G) \frac{\partial \varepsilon_v}{\partial z} + G \Delta w = \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}; \quad (2.3)$$

unde Δ este operatorul Laplace de ordinul II în coordonate carteziene,

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2};$$

$\varepsilon_v = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$ -dilatația cubică;

λ și G sunt constantele Lamé, având expresiile:

$$\lambda = \frac{\nu \cdot E}{(1 - 2\nu)(1 + \nu)}, \quad (2.4)$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}; \quad (2.5)$$

ρ este densitatea masei pământului;

u, v, w - deplasările pe direcția axelor de coordonate carteziene.

Mișcarea oricărui punct al mediului, caracterizat prin ecuațiile definite anterior, va depinde atât de coordonatele punctului, cât și de timp, adică:

$u, v, w = f(x, y, z, t)$.

Derivând succesiv aceste ecuații în raport cu x, y, z și adunându-le, rezultă:

$$\rho \frac{\partial^2 \varepsilon_v}{\partial t^2} = (\lambda + 2G) \Delta \varepsilon_v, \quad (2.6)$$

sau

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_v}{\partial t^2} = v_p^2 \Delta \varepsilon_v, \quad (2.7)$$

relație cunoscută sub denumirea de *ecuația generală a undelor primare (P), longitudinale, sau de dilatație*.

În această ecuație s-a notat:

$$v_p^2 = \frac{\lambda + 2G}{\rho} = \frac{2(1 - \nu)}{1 - 2\nu} \cdot \frac{G}{\rho}, \quad (2.8)$$

mărime ce reprezintă *viteza de propagare a undelor primare*.

Mișcarea unei particule a mediului, produsă de unda P, este liniară, nerotațională, producând întindere și compresie în lungul direcției de propagare.

Considerând de exemplu numai deplasarea după axa 0x, $u(x,t)$ (când $v = 0$ și $w = 0$), din ecuația (2.1), înlocuind pe:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial \cdot u}{\partial \cdot x},$$

rezultă:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial \cdot t^2} = v_p^2 \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial \cdot x^2}. \quad (2.9)$$

Ecuația (2.9) admite o soluție de tip armonic, de forma unei unde progresive sinusoidale:

$$u(x,t) = A \cos \omega(t - x / v_p), \quad (2.10)$$

în care elongația $u(x,t)$ este nu numai *periodică în timp*, cu *perioada* $T = 2\pi/\omega$, ci *periodică și în spațiu*, în raport cu coordonata x , cu *perioada* λ_p , *numită lungimea de undă P*.

Ecuația undei (2.10) se poate scrie sub forma:

$$u(x,t) = A \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda_p} \right) = A \cos(\omega t - k_p x),$$

unde:

$$k_p = \frac{2\pi}{\lambda_p} = \frac{2\pi}{v_p T} = \frac{\omega}{v_p} \quad (2.11)$$

se numește *numărul de undă* al undei P și are semnificația numărului de oscilații care se cuprind în 2π unități de lungime.

Ecuația undei se poate scrie și sub formă complexă, ea reprezentând partea reală a unui număr complex:

$$u(x,t) = \operatorname{Re} \{ A \exp i(\omega t - k_p x) \}, \quad (2.12)$$

în care

$$\phi(x,t) = \omega t - k_p x \quad (1.13)$$

se numește *funcția de fază* sau mai simplu *faza* undei.

Suprafețele de undă sunt suprafețe de fază constantă, iar în medii izotrope ele sunt plane perpendiculare pe direcția de propagare a undei (fig.2.1), de unde și denumirea de unde plane sau monocromatice.

Viteza undei plane coincide cu viteza de deplasare a fazei, denumită și *viteză de fază*. Anulând diferențiala totală a fazei se obține condiția ca faza să fie constantă:

$$d\phi = \frac{\partial \phi}{\partial \cdot t} \cdot dt + \frac{\partial \phi}{\partial \cdot x} \cdot dx = \omega \cdot dt - k_p dx = 0 \quad (2.14)$$

de unde rezultă viteza fazei:

$$v_{\varphi} = \frac{dx}{dt} = \frac{\omega}{k_p};$$

dar $\omega/k_p = v_p$ (vezi 2.11), prin urmare $v_{\varphi} = v_p$, viteza fazei este identică cu viteza de propagare a undelor plane de compresie.

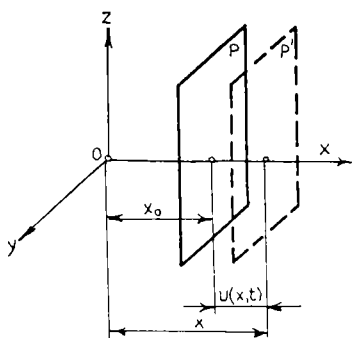


Fig. 2.1 Suprafețe de undă plană

În general, dacă viteza de fază v_{φ} este constantă, independentă de numărul de undă $k = \omega/v$, undele sinusoidale respective se numesc *nedispersive*, în caz contrar ele se numesc *dispersive*. O undă dispersivă este o suprapunere de unde progresive cu diferite numere de undă. Ea își va schimba forma pe măsură ce se deplasează în spațiu, deoarece componentele cu lungimi de undă diferite se propagă cu viteze diferite. Prin urmare *undele dispersive sunt unde sinusoidale pentru care viteza de fază $v_{\varphi} = \omega/k$ variază cu lungimea de undă.*

2.1.2. Ecuația generală a undelor secundare

Dacă în ecuațiile Lamé cu forțele masice constante (2.1), (2.2), (2.3), se consideră că propagarea oscilațiilor se face fără variație de volum ($\epsilon_v = 0$), se derivează (2.3) în raport cu y , (2.2) în raport cu z , și se scad, se obține:

$$G\Delta\left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z}\right) = \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2}\left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z}\right) \quad (2.15)$$

Înlocuind expresiile pentru rotațiile după fiecare axă:

$$2\omega_x = \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z}, \text{ etc.},$$

se obține:

$$\rho \frac{\partial^2 \omega_x}{\partial t^2} = G\Delta \omega_x \quad (2.16)$$

relație ce poate fi rescrisă sub forma:

$$\frac{\partial^2 \omega_x}{\partial t^2} = v_s^2 \Delta \omega_x, \quad (2.17)$$

ecuații în care s-a făcut notația:

$$v_s^2 = \frac{G}{\rho}, \quad (2.18)$$

v_s reprezentând viteza de fază a undelor secundare (S), de forfecare, sau echivolumetrică.

Ecuațiile (2.16) și (2.17) sunt cunoscute sub numele de *ecuațiile diferențiale ale undelor secundare, transversale sau de forfecare*, unde notate cu S. Ecuații asemănătoare se pot obține și pentru celelalte axe ale sistemului de coordonate y respectiv z.

Din punct de vedere matematic aceste ecuații sunt identice cu ecuația (2.9) și vor admite prin urmare soluții de tip armonic, soluții ce reprezintă ecuațiile unor unde plane progresive, având numărul de undă $k_S = \omega / v_S$.

Mișcarea particulei produsă de unda S constă într-o rotație alternativă într-un plan perpendicular pe direcția de propagare, undele secundare necontribuind la procesul de compresie sau dilatare a mediului.

Raportul vitezelor celor două tipuri de unde primare și secundare este o caracteristică a terenului și are valoarea:

$$\frac{v_p}{v_s} = \frac{1}{\alpha} = \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{1-2\nu}} = \sqrt{\frac{\lambda + 2G}{G}} \quad (2.19)$$

Conform recomandării făcute de Poisson, care atribuie terenurilor obișnuite de fundații coeficientul de contracție transversală $\nu = 1/4$, rezultă că $\lambda = G = E/2,5$ și $1/\alpha = 3^{1/2}$, valoare frecvent folosită în seismologie. La această valoare se va mai face de altfel referire pe parcursul tezei. Ea este aproape de realitate doar în cazul rocilor compacte. În cazul terenurilor de fundare alcătuite din pământuri măsurătorile au arătat abateri simțitoare față de această valoare. Ele se datoresc faptului că acestea nu au o comportare liniar-elastică. Relația de dependență efort-deformație, chiar la deformații mici, nu este liniară, prin urmare modulul de deformație G este dependent de încărcare, iar coeficientul de contracție transversală ν ia valori diferite pentru undele longitudinale și cele transversale.

În tabelul 2.1 se dau după Barkan [8], valorile vitezelor de propagare și ale raportului $1/\alpha$, pentru diferite pământuri

Tabelul 2.1 Viteze de propagare a undelor elastice. Barkan, 1962, [8]

Terenul	ρ kg m ⁻³	v_p m/s	v_s m/s	ν	$1/\alpha$
Argilă umedă	1800	150	150	0,495	1,0
Loes cu umiditate naturală	1670	80	260	0,441	3,1
Pietriș cu nisip indesar	1700	480	250	0,313	1,92
Nisip fin	1650	300	110	0,422	2,73
Nisip mijlociu	1650	550	160	0,454	3,44
Pietriș mijlociu	1800	750	180	0,466	4,17

Analizând măsurătorile efectuate pentru diferite terenuri de fundare Barkan a constatat mare diferență între valorile teoretice și cele experimentale, ceea ce arată că există o serie de alți factori de care trebuie ținut seama la propagarea undelor decompresiune și forfecare prin terenul de fundare. Doar pietrișul cu nisip indesar are un indice $1/\alpha$ ce se apropie de valoarea prevăzută de Poisson.

Referindu-se la vitezele de propagare a undelor longitudinale, A. Căciu și J. Kerisel, 1968, [20], recomandă valorile prezentate în tabelul 2.2. Aceste date au mai mult un caracter orientativ, categoriile de pământuri prezentate sunt destul de

Tabelul 2.2 *Viteza undelor longitudinale, [20]*

Tipul pământului	v_p , m/s, minimă	v_p , m/s, maximă
Nisip sau pietriș uscat, neândesat	600	900
Nisip sau pietriș îndesat	1000	1650
Argilă	1500	1800
Gresie și roci moi	1800	2500
Roci dure	3000	7500

largi, ca și domeniile de viteze de altfel. Pentru valoarea coeficientului de contracție transversală ν , Barkan, [8], face următoarele recomandări:

Argilă..... $\nu = 0,45 \dots 0,50$
 Pământ argilos..... $\nu = 0,40 \dots 0,45$
 Pietriș..... $\nu = 0,35 \dots 0,40$
 Nisip..... $\nu = 0,30 \dots 0,35$.

Din analiza datelor prezentate se poate observa că la pământurile la care coeficientul Poisson se apropie de 0,50 (argile), raportul vitezelor crește foarte mult (10), observație ce va fi confirmată de măsurătorile ce vor fi prezentate în capitolele 4 și 5, raport ce scade spre 1,73 când ν tinde la 1/4 (roci compacte). De această observație se va ține seama atât în studiile teoretice cât și în cele experimentale, atunci când se va face corelarea între vitezele acestor unde și undele Rayleigh.

2.2 ASUPRA SISTEMULUI DE UNDE ELASTICE LA SUPRAFAȚA PĂMÂNTULUI

- După cum s-a arătat în paragraful 2.1, în mediul elastic infinit sunt posibile două tipuri de unde, unde de dilatare și unde de forfecare. În semispațiul liniar deformabil, cu care asimilăm pământul, este posibilă o a treia soluție a ecuațiilor mișcării (Lame), ce corespunde unei unde a cărei mișcare este în zona suprafeței pământului. Această undă a fost studiată în 1885 de Lord Rayleigh și descrisă în detaliu de Lamb (1904), este prezentată în [55],[103],[111],[113]. Unda elastică descrisă este unda Rayleigh (R), ea se află în vecinătatea suprafeței semispațiului, iar influența ei descrește rapid cu adâncimea. R subscris unor mărimi (de exemplu viteza v_R sau lungimea de undă λ_R) va arăta că se face referire la unda Rayleigh. Existența acestor unde a fost confirmată de măsurătorile făcute la studiul seismelor și al exploziilor. Aceste unde sunt de cea mai mare importanță în seismologie și mecanica pământurilor pentru că ele, după cum se va vedea, constituie principala formă de transmitere a energiei mecanice prin pământ.

2.2.1. Viteza undelor Rayleigh

Pentru a studia aceste unde vom considera un sistem de axe cartezian, cu planul xOy crespunzând suprafeței libere a pământului și axa Oz orientată spre interiorul acestuia. Deplasările terenului după cele trei direcții rectangulare Ox ,

Oy, și Oz le notăm, ca și în paragraful anterior, cu u, v și respectiv w. O undă plană ce se deplasează pe direcția Ox, cu frontul paralel cu planul yOz, va produce deplasări care nu vor depinde de coordonata y, prin urmare se va considera în calcul v = 0. Deplasările u și w pot fi scrise prin introducerea a două funcții de potențial Φ și Ψ , denumite potențialele Lamé [14], [102], [111], astfel ca :

$$u = \frac{\partial \Phi}{\partial x} + \frac{\partial \Psi}{\partial z} \quad \text{și} \quad w = \frac{\partial \Phi}{\partial z} - \frac{\partial \Psi}{\partial x}. \quad (2.20)$$

Dilatația de volum determinată de u și w este:

$$\varepsilon = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} + \frac{\partial \Psi}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial z} - \frac{\partial \Psi}{\partial x} \right) = \Delta \Phi, \quad (2.21)$$

iar rotația $2\omega_y$ după Oy, este:

$$2\omega_y = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} + \frac{\partial \Psi}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial z} - \frac{\partial \Psi}{\partial x} \right) = \Delta \Psi \quad (2.22)$$

Din relațiile (2.21) și (2.22) se vede că funcțiile de potențial Φ și Ψ au fost alese astfel încât Φ este asociată cu dilatarea iar Ψ cu rotația mediului.

Înlocuind expresiile (2.20) în ecuațiile (2.1) și (2.3) se obține:

$$\rho \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \right) + \rho \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} \right) = (\lambda + 2G) \frac{\partial}{\partial x} (\Delta \Phi) + G \frac{\partial}{\partial z} (\Delta \Psi); \quad (2.23)$$

$$\rho \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} \right) - \rho \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} \right) = (\lambda + 2G) \frac{\partial}{\partial z} (\Delta \Phi) - G \frac{\partial}{\partial x} (\Delta \Psi). \quad (2.24)$$

Ecuațiile (2.23) și (2.24) sunt satisfăcute dacă:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} = \left[\frac{\lambda + 2G}{\rho} \Delta \Phi = \frac{2(1-\nu)G}{1-2\nu} \frac{G}{\rho} \Delta \Phi \right] = v_p^2 \Delta \Phi; \quad (2.25)$$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} = \left[\frac{G}{\rho} \Delta \Psi \right] = v_s^2 \Delta \Psi. \quad (2.26)$$

Presupunând soluție o undă sinusoidală de pulsație ω și lungime de undă λ ce se propagă în direcția Ox, expresiile pentru funcțiile de potențial Φ și Ψ pot avea forma:

$$\Phi = F(z) \exp [i(\omega t - kx)]; \quad (2.27)$$

$$\Psi = G(z) \exp [i(\omega t - kx)], \quad (2.28)$$

unde F(z) și G(z) sunt două funcții ce descriu variația amplitudinii undeii în adâncime, iar $k = 2\pi/\lambda$ este numărul de undă corespunzător.

Substituind expresiile funcțiilor Φ și Ψ din ecuațiile (2.27) și (2.28) în ecuațiile (2.25) și (2.26) și rearanjând rezultă:

$$F''(z) - \left(k^2 - \frac{\omega^2}{v_p^2} \right) F(z) = 0 \quad (2.29)$$

$$G''(z) - \left(k^2 - \frac{\omega^2}{v_s^2} \right) G(z) = 0 \quad (2.30)$$

Făcând notațiile;

$$p^2 = k^2 - \frac{\omega^2}{v_p^2}, \quad (2.31)$$

$$s^2 = k^2 - \frac{\omega^2}{v_s^2} \quad (2.32)$$

și înlocuind în relațiile (2.29) și (2.30) rezultă:

$$F''(z) - p^2 F(z) = 0, \quad (2.33)$$

$$G''(z) - s^2 G(z) = 0. \quad (2.34)$$

Soluțiile acestor două ecuații sunt două expresii de forma:

$$F(z) = A \exp(-pz) + B \exp(pz), \quad (2.35)$$

$$G(z) = C \exp(-sz) + D \exp(sz). \quad (2.36)$$

Conform acestor relații, când z tinde la infinit rezultă că amplitudinea crește la infinit, ceea ce este inexact, deoarece ea tinde la zero; prin urmare, costanele B și D pentru a respecta aceste condiții vor trebui să fie nule :

$$B = D = 0 \quad (2.37)$$

Respectând aceste condiții în soluțiile (2.35) și (2.36) și înlocuindu-le în ecuațiile (2.27) și (2.28) se obține:

$$\Phi = A \exp[-pz + i(\omega t - kx)], \quad (2.38)$$

$$\Psi = C \exp[-sz + i(\omega t - kx)]. \quad (2.39)$$

Punând condițiile de margine, adică la suprafața pământului ($z=0$) tensiunile σ_z și τ_{xz} să fie nule, se obține:

$$\sigma_z = \lambda \varepsilon_v + 2G \varepsilon_z = \lambda \varepsilon_v + 2G \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.40)$$

și

$$\tau_{xz} = G \gamma_{xz} = G \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) = 0. \quad (2.41)$$

Folosind expresiile de definiție pentru u și w (2.20) și soluțiile (2.38) și (2.39) pentru potențiale, pe care dacă le înlocuim în relațiile (2.40) și (2.41) rezultă:

$$\sigma_z = A \left[(\lambda + 2G)p^2 - \lambda k^2 \right] - 2iCGks = 0, \quad (2.42)$$

$$\tau_{xz} = 2iAkp + C(s^2 + k^2) = 0. \quad (2.43)$$

Adunând cele două ecuații și rearanjându-le se obține:

$$4pGsk^2 = (s^2 + k^2)[(\lambda + 2G)p^2 - \lambda k^2]. \quad (2.44)$$

Ridicând la pătrat ambii membri ai acestei ecuații, introducând valorile pentru (p) , (2.31) și (s) , (2.32) și împărțind egalitatea obținută cu $G^2 k^8$ rezultă:

$$16 \left(1 - \frac{\omega^2}{v_p^2 k^2} \right) \left(1 - \frac{\omega^2}{v_s^2 k^2} \right) = \left[2 - \left(\frac{\lambda + 2G}{G} \right) \left(\frac{\omega^2}{v_p^2 k^2} \right) \right]^2 \left(2 - \frac{\omega^2}{v_s^2 k^2} \right)^2. \quad (2.45)$$

Făcând notațiile:

$$\frac{\omega^2}{v_p^2 k^2} = \frac{v_R^2}{v_p^2} = \alpha^2 K^2; \quad (2.46)$$

$$\frac{\omega^2}{v_s^2 k^2} = \frac{v_R^2}{v_s^2} = K^2 \quad ; \quad (2.47)$$

$$\frac{\lambda + 2G}{G} = \frac{2(1-\nu)}{1-2\nu} = \frac{1}{\alpha^2} \quad (2.48)$$

și înlocuindu-le în (2.45), după rearanjare se obține:

$$K^6 - 8 K^4 + (24 - 16 \alpha^2) K^2 + 16 (\alpha^2 - 1) = 0 \quad (2.49)$$

Aceasta este o ecuație cubică în K^2 , astfel că făcând substituția $K^2 = y$ rezultă:

$$y^3 - 8 y^2 + (24 - 16 \alpha^2) y + 16 (\alpha^2 - 1) = 0 \quad (2.50)$$

Ecuațiile (2.49) și (2.50) sunt independente de frecvență, ceea ce arată că în cazul considerării pământului un mediu liniar elastic față de propagarea undelor, acesta este și un mediu nedispersiv (propagarea undelor nu depinde de frecvență).

Rapoartele vitezelor: v_P/v_S și v_R/v_S pot fi obținute din ecuația (2.50), pentru

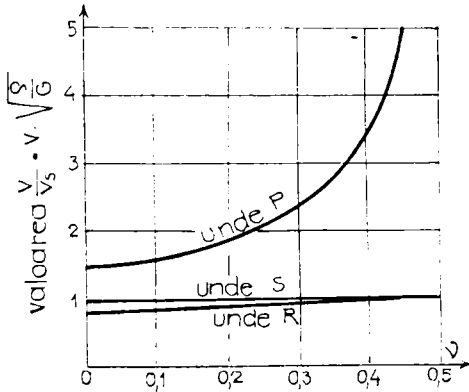


Fig.2.2 Dependența vitezelor undelor P, S și R de coeficientul Poisson [101]

diferite valori ale coeficientului Poisson.

După cum s-a arătat în paragraful anterior, pentru valoarea cea mai uzuală a coeficientului Poisson $\nu = 1/4$ rezultă: $1/\alpha^2 = (v_P/v_S)^2 = 3$, iar prin înlocuire în (2.50) se obține:

$3y^3 - 24y^2 + 56y - 32 = 0$,
ecuație ce admite soluțiile:

$$y_1 = 4; y_2 = 2 + \frac{2}{\sqrt{3}}; y_3 = 2 - \frac{2}{\sqrt{3}}.$$

Singura soluție utilizabilă este ultima, astfel că:

$$v_R / v_S = \left(2 - 2/\sqrt{3}\right)^{1/2} = 0,9194,$$

mărime frecvent folosită în seismologie.

Acă se consideră $\nu = 1/2$ rezultă

$\alpha = 0$, iar ecuația (2.50) devine:

$$y^3 - 8 y^2 + 24 y - 16 = 0,$$

ecuație ce admite soluție reală $y = 0,912$ și prin urmare $v_R/v_S = 0,9554$, iar $v_P/v_S \rightarrow \infty$, în acord cu observațiile făcute la tabelul 2.1 pentru pământuri argiloase.

În fine, pentru $\nu = 0$, $\alpha^2 = 1/2$, ecuația devine:

$$y^3 - 8 y^2 + 16 y - 8 = 0,$$

cu soluția acceptabilă $y = 3 - 5^{1/2}$, caz în care $v_P/v_S = 2^{1/2}$, iar $v_R/v_S = 0,874$.

Pentru domeniul de valori $\nu = 0 \dots 0,5$ al coeficientului Poisson, în fig.2.2 sunt prezentate după Richart, 1962, [111], valorile rapoartelor v_P/v_S și v_R/v_S . Din figură se observă o mică diferență între vitezele undelor R și S, ($v_R/v_S = 0,874 \dots 0,9554$, pentru $\nu = 0 \dots 0,5$). Prin urmare, *undele R sunt puțin influențate de variația coeficientului Poisson*, pentru valori frecvent întâlnite ale acestuia la pământuri.

Așadar, viteza undelor R este strâns legată de viteza undelor S, legătură ce

rezultă sub forma unei relații de tip (2.49), în care necunoscuta $\kappa = v_R/v_S$ ia diferite valori, după cum s-a arătat, în funcție de coeficientul Poisson.

A. Major în lucrarea [69] dă câteva valori experimentale ale componentei longitudinale a vitezei undelor v_L , pe care le-a măsurat corelat cu încărcarea pe talpa unei fundații de mașină, sub forma unei presiuni admise σ_a , trăgând concluzia că la creșterea vitezei de propagare a undelor poate fi crescută și încărcarea pe talpă, date prezentate și în lucrarea [15], pe care le prezentăm în tabelul (2.3).

Tabelul 2.2 Date experimentale ale propagării undelor, după A. Major (1961), [69]

Terenul de fundare	v_L , m/s	σ_a , kPa
Stratde 3m turbă, pe nisip	80	0
Argilă slabă cu nisip	110	100
Nisip umed	140	200
Nisip uscat	160	200
Nisip nămolos pe marnă	170	250
Marnă cu pietriș	190	300
Nisip omogen	220	400
Pietriș sub 4m de nisip	330	450
Pietriș mare compact	420	450

Viteza undelor R după I. Alpen, prezentată în lucrarea [15], poate fi calculată direct cu relația:

$$v_R = p^2 \frac{E_d}{2(1 + \nu)\rho}, \quad (2.51)$$

în care E_d reprezintă modulul

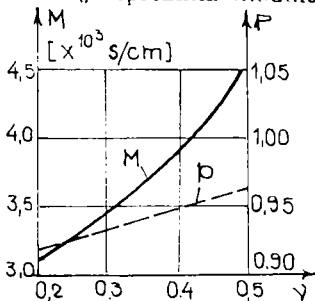


Fig. 2.3 Dependenta de ν a coeficienților p și M

de deformație dinamic, p este un coeficient ce depinde de ν , așa cum rezultă din fig. 2.3, iar ρ este densitatea pământului. Această relație a fost pusă și sub altă formă, după cum urmează:

$$v_R = \frac{E_d}{1 - \nu^2} \frac{1}{M\gamma}, \quad (2.52)$$

în care M este un coeficient dat în fig. 2.3, iar γ este greutatea volumică a pământului.

Având în vedere cele afirmate anterior, referitor la diferența mică ce există între vitezele undelor R și S, prezentăm în continuare câteva date pentru calculul vitezei v_S și a legăturii acesteia cu câteva din caracteristicile fizico - mecanice ale pământului.

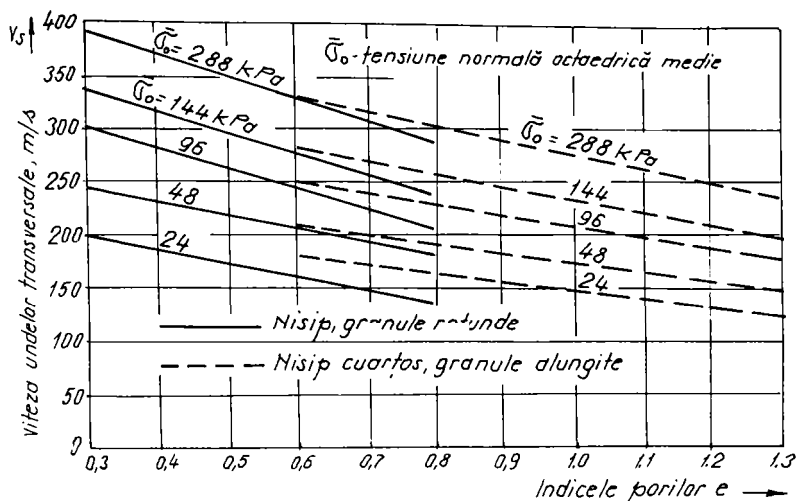


Fig.2.4 Dependența vitezei v_s de indicele porilor e și de σ'_0 [111]

Din cercetările făcute de Richart și Hardin, 1963, [94],[111], aceștia au stabilit următoarele relații de calcul a vitezei v_s pentru nisipuri (fig.2.4):

(a) la nisipuri cu granule rotunjite

$$v_s = (170 - 78,2 e)(\sigma'_0)^{0,25}; \quad (2.53)$$

(b) la nisipuri cu granule unghiulare

$$v_s = (159 - 53,5 e)(\sigma'_0)^{0,25}, \quad (2.54)$$

relații valabile pentru indicele porilor $e > 0.80$ și amplitudini ale deformațiilor specifice $\gamma < 10^{-4} = 10 \%$, valoare considerată ca limita până la care pământurile se mai comportă elastic. În aceste relații σ'_0 reprezintă efortul unitar octaedric mediu, efectiv, calculat cu relația:

$$\sigma'_0 = (1 + 2K_0) \sigma_z / 3 \quad (2.55)$$

în care:

$\sigma'_z = \sigma_z - u$ este tensiunea verticală efectivă;

u este presiunea apei din pori;

K_0 - coeficientul presiunii laterale în stare de repaus, $K_0 = \nu / (1 - \nu)$.

2.2.2 Deplasările terenului produse de undele Rayleigh

Informații suplimentare asupra undelor R pot fi obținute dacă se vor lua în considerare deplasările u și w , după axele Ox și respectiv Oz , produse de aceste unde.

Substituind valorile potențialelor Φ și Ψ (relațiile 2.38 și 2.39) în expresiile deplasărilor (relațiile 2.20) se obține:

$$u = Aki \left\{ -\exp\left[-\frac{q}{k}(zk)\right] + \frac{2 \frac{q}{k} \frac{s}{k}}{\frac{s^2}{k^2} + 1} \exp\left[-\frac{s}{k}(zk)\right] \right\} \exp i(\omega t - kx) \quad (2.56)$$

$$w = Ak \left\{ \frac{2 \frac{q}{k}}{\frac{s^2}{k^2} + 1} \exp\left[-\frac{s}{k}(zk)\right] - \frac{q}{k} \exp\left[-\frac{q}{k}(zk)\right] \right\} \exp i(\omega t - kx) \quad (2.57)$$

Semnificația prezenței imaginareului "i" în fața expresiei lui u și absența sa la expresia lui w este aceea că deplasarea u se află defazată cu $\pi/2$ înainte față de w .

În aceste expresii s-au folosit notațiile:

$$q^2 = k^2 - \frac{\omega^2}{v_p^2} \quad \text{și} \quad s^2 = k^2 - \frac{\omega^2}{v_s^2} \quad (2.58)$$

Corelând expresiile deplasărilor (2.56) și (2.57) cu funcțiile de potențial (2.38) și (2.39) observăm că funcțiile ce descriu variația amplitudinii deplasării celor două componente pe adâncime sunt:

$$U(z) = -\exp\left[\frac{q}{k}(zk)\right] + \frac{2 \frac{q}{k} \frac{s}{k}}{\frac{s^2}{k^2} + 1} \exp\left[-\frac{s}{k}(zk)\right]; \quad (2.59)$$

$$W(z) = \frac{2 \frac{q}{k}}{\frac{s^2}{k^2} + 1} \exp\left[-\frac{s}{k}(zk)\right] - \frac{q}{k} \exp\left[-\frac{q}{k}(zk)\right]. \quad (2.60)$$

Relațiile (2.58) pot fi rescrise:

$$\frac{q^2}{k^2} = 1 - \frac{\omega^2}{k^2 v_p^2} \quad \text{și} \quad \frac{s^2}{k^2} = 1 - \frac{\omega^2}{v_s^2 k^2}, \quad (2.61)$$

în care dacă înlocuim expresiile din relațiile (2.46) și (2.47) se obține:

$$\frac{q^2}{k^2} = 1 - \alpha^2 k^2 \quad \text{și} \quad \frac{s^2}{k^2} = 1 - k^2 \quad (2.62)$$

Înlocuind (2.62) în funcțiile (2.59) și (2.60) se obțin relațiile (2.63) și (2.64):

$$U(z) = -\exp\left[(1 - \alpha^2 k^2)^{\frac{1}{2}}(zk)\right] + \frac{2(1 - \alpha^2 k^2)^{\frac{1}{2}}(1 - k^2)^{\frac{1}{2}}}{2 - k^2} \exp\left[-(1 - k^2)^{\frac{1}{2}}(zk)\right];$$

$$W(z) = \frac{2(1 - \alpha^2 k^2)^{\frac{1}{2}}}{2 - k^2} \exp\left[-(1 - k^2)^{\frac{1}{2}}(zk)\right] - (1 - \alpha^2 k^2)^{\frac{1}{2}} \exp\left[-(1 - \alpha^2 k^2)^{\frac{1}{2}}(zk)\right].$$

Pentru o adâncime dată ($z = \text{constant}$), aceste funcții depind numai de numărul de undă k și de coeficientul Poisson. De exemplu pentru $\nu = 1/4$, $v_p/v_s =$

$=3^{1/2}$, așa cum s-a arătat în paragraful anterior, iar $v_R/v_S = 0,91994$. Înlocuind aceste valori în expresiile (2.63) și (2.64) se obține:

$$U(z) = -\exp[-0,8475(zk)] + 0,5773 \exp[-0,3933(zk)], \quad (2.65)$$

$$W(z) = 0,8475 \exp[-0,8475(zk)] - 1,4679 \exp[-0,3933(zk)] \quad (2.66)$$

Variația în adâncime acestor funcții, în care deplasarea este normalizată pe amplitudinea la suprafață, iar adâncimea pe lungimea de undă R (λ_R), este prezentată în fig. 2.5.

Ținând seama de aceste funcții, deplasările u și w după cele două direcții vor fi:

$$u(x,z,t) = AkiU(z) \exp i(\omega t - kx); \quad (2.67)$$

$$w(x,z,t) = AkW(z) \exp i(\omega t - kx), \quad (2.68)$$

unde A este o constantă determinată din condiții de margine.

Exprimând partea reală a componentelor u și w ale deplasării produse de undele R , se obține:

$$\operatorname{Re}\{u\} = Ak \left\{ -\exp\left[-\frac{q}{k}(zk)\right] + \frac{2}{s^2} \frac{q}{k} \frac{s}{k} \exp\left[-\frac{s}{k}(zk)\right] \right\} \sin(\omega t + kx) \quad (2.69)$$

$$\operatorname{Re}\{w\} = Aq \left\{ \frac{2}{s^2} \exp\left[-\frac{s}{k}(zk)\right] - \exp\left[-\frac{q}{k}(zk)\right] \right\} \cos(\omega t - kx). \quad (2.70)$$

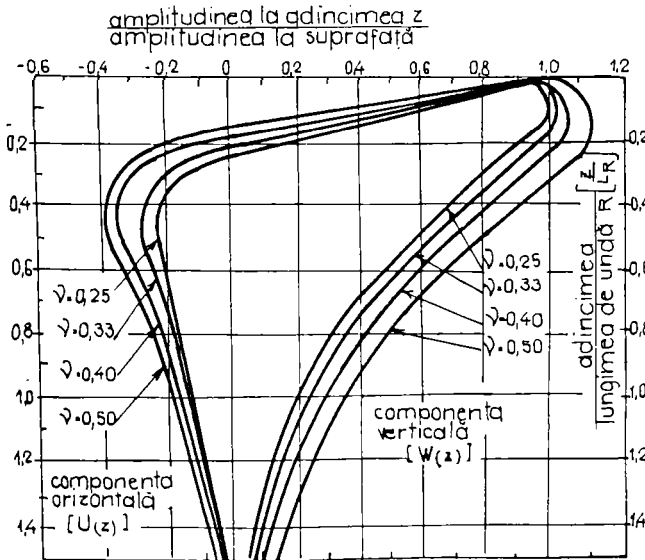


Fig.2.5 Componentele deplasării undelor R , [111]

Generalitatea componentelor deplasării prezentate în fig. r. 2.5 rezultă din faptul că, prin normalizarea acestora pe amplitudinea la suprafața terenului, se elimină condiția de margine (A), precum și dependența acestor deplasări de numărul de undă (k). Deci, valorile prezentate sunt valabile pentru orice tip de năvănt, în condițiile inițiale acceptate (mediu izotrop, omogen și

liniar-elastic) și orice sursă armonică de vibrații. De asemenea, din analiza acestor diagrame se observă că:

- undele R se propagă într-o bandă superficială la suprafața scoarței pământului;

- deplasările produse de aceste unde tind asimptotic la zero când adâncimea tinde la infinit, dar, la aproximativ $1,5\lambda_R$ adâncime, influența acestor unde practic nu se mai resimte,

- influența coeficientului Poisson este destul de mică, ceea ce înseamnă că natura pământului va influența destul de puțin deplasările produse de undele R .

În lucrarea [14] Ghe. Buzdugan, L. Hamburger și V. Wermescher, pune condiția ca aceste deplasări (u și w) să se anuleze în adâncime, obținând condițiile:

$$\exp\left[\left(\frac{q}{k} - \frac{s}{k}\right)(zk)\right] = \frac{\frac{s^2}{k^2} + 1}{2 \frac{q}{k} \frac{s}{k}} \quad \text{și} \quad \exp\left[\left(\frac{q}{k} - \frac{s}{k}\right)(sk)\right] = \frac{\frac{s^2}{k^2} + 1}{2}. \quad (2.71)$$

Ecuatii care, prin rearanjare dau:

$$zk_{|u=0} = \frac{\ln \frac{\frac{s^2}{k^2} + 1}{2 \frac{q}{k} \frac{s}{k}}}{\frac{q}{k} - \frac{s}{k}}; \quad zk_{|w=0} = \frac{\ln \left[\frac{1}{2} \left(\frac{s^2}{k^2} + 1 \right) \right]}{\frac{q}{k} - \frac{s}{k}}. \quad (2.72)$$

Înlocuind aceste egalități în ecuațiile deplasărilor (2.69) și (2.70), se obțin adâncimile z_u și z_w la care deplasările u și w se anulează. Pentru $\nu = 1/4$ de exemplu, aceste valori sunt:

$$z_u = 1,22 v_R / \omega = 1,12 v_S / \omega;$$

$$z_w = 0,61 v_R / \omega = 0,56 v_S / \omega,$$

de unde se observă că z_w este jumătate din z_u .

După cum se observă, adâncimile la care se anulează cele două deplasări sunt independente de poziția pe direcția liniei de transmisie (aici axa Ox), ceea ce ar confirma cele afirmate anterior, că undele R se propagă într-o bandă superficială aflată la suprafața pământului.

Autorii sus menționați dau și exemplul unui teren argilos ce are $v_S = 300\text{m/s}$, la care, pentru o pulsație de $\omega = 314 \text{ s}^{-1}$ deplasările după axa Oz se sting la adâncimea $z_w = 0,535\text{m}$ și la dublul acestei adâncimi pentru deplasările paralele cu suprafața terenului. Dacă însă frecvența este mai redusă, ca de exemplu la ciocanele de forjă, care dau circa două lovituri pe secundă, adâncimea de pătrundere devine: $z_w = 13,4\text{m}$, ceea ce reprezintă o cifră destul de serioasă, mai ales dacă se pune problema realizării unui ecran de protecție antivibratorie.

2.3 STUDII CU PRIVIRE LA PROPAGAREA UNDELOR ELASTICE PRIN PĂMÂNTURI SATU RATE

2.3.1 Ipoteze de bază

Propagarea undelor elastice prin pământ, prezentată în paragrafele (2.1) și (2.2), s-a făcut considerând pământul ca fiind un spațiu sau semispațiu omogen și izotrop, având o elasticitate liniară. Aceste ipoteze simplificatoare însă fac ca modelul acceptat să fie destul de departe de comportarea reală a pământului, de aceea, în continuare se vor căuta alte ipoteze mai aproape de realitate, prin care să se rezolve problema propagării undelor prin pământ. În acest sens, se va face o discuție asupra propagării undelor prin pământul considerat, ca și în geotehnică, un mediu alcătuit din trei faze constitutive: faza solidă, faza lichidă și faza gazoasă.

Propagarea undelor elastice prin pământul considerat ca fiind un mediu trifazic, se va face conform teoriei lui Biot, 1956 [12], de propagare a undelor în solide saturate. Prin acest studiu se va căuta să se arate influența apei din pori asupra propagării undelor prin pământ și în primul rând cum va influența apa viteza de propagare a undelor. Având în vedere incompresibilitatea apei, se va urmări și dacă prezența acesteia în pământ nu facilitează apariția unor unde care să se propage cu viteză diferită. Acest lucru este potențial interesant în special prin prisma realizării unor ecrane antivibratorii total sau parțial imersate. Rezultatele obținute pe modelul acceptat vor fi concretizate de fiecare dată prin aplicabilitatea lor la pământul real.

Deoarece până în prezent nu s-a făcut nici o referire la propagarea undelor elastice prin fluide și gaze, în continuare se va face o scurtă prezentare a propagării undelor și prin aceste medii.

2.3.2 Unde de presiune în gaze

Propagarea undelor de presiune în gaze, unde provenind de la o sursă situată în același mediu, se face după o ecuație de forma [26],[38],[99],[111]:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = c^2 \Delta p, \quad (2.73)$$

numită ecuația *generală a undelor în gaze*, ecuație asemănătoare cu (2.7) și (2.9), în care:

p este presiunea dezvoltată de unda sonoră;

Δ - operatorul Laplace în coordonate cartesiene;

c - viteza undei (sunetului) în gaz (aer) la o temperatură dată θ :

$$c = \sqrt{\gamma \frac{p}{\rho}} = \sqrt{\gamma(1 + \alpha\theta) \frac{p_0}{\rho_0}} = c_0 \sqrt{1 + \alpha\theta} = 332,4 \sqrt{1 + \alpha\theta}; \quad (2.74)$$

unde:

γ - exponentul adiabatic, $\gamma = C_p/C_v$, pentru gaze biatomice (aer) $\gamma = 1,41$;

C_p - căldura molară la presiune constantă;

C_v - căldura molară la volum constant;

$\alpha = 1/273 \text{ grd.}^{-1}$ - coeficientul de dilatare izobară;

$c_0^2 = \gamma p_0 / \rho_0 = 332,4 \text{ m/s}$ - viteza sunetului în gaz la temperatura de 0°C ;
 ρ_0 - densitatea gazului la temperatura de 0°C (pentru aer $\rho_0 = 1,293 \text{ kg/m}^3$);
 ρ - densitatea gazului la temperatura θ .

În aer, la 20°C , viteza sunetului este $c = 340 \text{ m/s}$, iar în aer uscat, la 0°C , $c = 331,46 \text{ m/s}$.

Deoarece oscilațiile sonore se produc foarte repede și conductivitatea termică a fluidului este mică (față de cea a solidelor), căldura nu are timp să treacă de la un element al mediului la altul, deci trebuie presupus că *propagarea sunetului este un proces adiabatic*, adică în timpul propagării sunetului nu se face schimb de căldură între diferite porțiuni ale mediului. Laplace a dat această explicație corectă, considerând că procesul de propagare a sunetului este *adiabatic* și nu izoterm, iar relația (2.74) este determinată tocmai folosind *ecuația transformării adiabaticice* a lui Poisson (1823), [54].

Inițial, Newton a presupus că procesul de propagare a sunetului prin gaze este un proces izoterm, care se produce la temperatura gazului (ce s-ar supune deci legii transformării izoterme - Boyle-Mariotte). Viteza sunetului ar fi atunci $c = (p_0 / \rho_0)^{1/2} = 280 \text{ m/s}$. Experiența însă infirmă categoric această formulă. Dacă aerul ar fi un gaz perfect, ce s-ar supune legii Boyle-Mariotte, ar trebui ca viteza să nu fie influențată de temperatură, ceea ce este infirmat de realitate.

Ecuația (2.73) consideră că mediul de propagare este și elastic, presupunere adevărată pentru aer de exemplu, dacă deformația specifică nu depășește valoarea de 10^{-3} și dacă, așa cum s-a arătat, schimbarea presiunii și densității este atât de rapidă încât practic nu există un transfer de căldură între particulele mediului.

Dezvoltând în serie radicalul și păstrând numai primii doi termeni, se obține:

$$c = c_0 + 0,5 c_0 \alpha \theta = 332,4 + 0,61 \theta, \quad (2.75)$$

relație ce arată că viteza sunetului crește cu $0,61 \text{ m/s}$ la fiecare creștere a temperaturii cu un 1°C .

În afară de temperatură, viteza sunetului este influențată și de umiditatea mediului în care se propagă. Notând p_0 presiunea atmosferică normală și F - tensiunea vaporilor de apă la temperatura considerată, viteza de propagare a undelor în aer umed, în funcție de viteza în aer uscat, este dată de relația empirică [9]:

$$c_{\text{umed}} = c_{\text{uscat}} (1 + 0,16F / p_0) \quad (2.76)$$

Din această relație se vede că viteza de propagare a sunetului crește în aerul umed, ca urmare a faptului că prezența vaporilor de apă provoacă o scădere a presiunii, deci implicit a densității aerului. În plus, dacă la aerul uscat presiunea atmosferică nu influențează viteza de propagare (vezi 2.74 sau 2.75), la aerul umed viteza este cu atât mai mare cu cât presiunea este mai mare.

De asemenea, în calculul vitezei sunetului cu relația (2.74) intră și coeficientul adiabatic γ , care este o mărime variabilă, în funcție de numărul gradelor de libertate a gazului și ia valori de la 1,29 pentru cazul îmbogățirii aerului cu gaze triatomice la 1,66 la gazele monoatomice. Propagarea vitezei cu valori diferite în gaze diferite permite determinarea fiecărui gaz din amestec pe baza așa numitei *metode acustice de analiză a gazelor*.

2.3.3 Unde de presiune în apă

Undele de compresie - dilatări sau acustice se propagă în apă după aceleași legi ca și în gaze. O expresie empirică pentru viteza sunetului în apa mării este [9], [12]:

$$v_w = 1410 + 4,21 \theta - 0,037 \theta^2 + 0,0175 h + 1,14 S, \quad [\text{m / s}] \quad (2.77)$$

în care:

θ este temperatura apei în $^{\circ}\text{C}$;

h - adâncimea de la suprafața apei, în metri;

S - salinitatea apei în g / l .

Din relația (2.77) rezultă că viteza sunetului crește cu 4 m/s pentru o creștere a temperaturii cu 1°C ; la creșterea presiunii hidrostatice cu o atmosferă (10 m coloană apă) viteza crește cu 20 cm / s.

La suprafața mării, unde salinitatea este de 30 ‰, la 15°C , viteza sunetului este de 1500 m/ s.

Relația poate fi particularizată și pentru apă curată, eliminând termenul salinității și eventual cel al adâncimii, când viteza este, de exemplu, de 1420 m/ s .

Folosind formula lui Newton ce stabilește viteza undei în fluid (aer) în funcție de modulul de elasticitate și densitatea masei, relație valabilă în cazul unei transformări izoterme (Boyle - Moriotte), se poate calcula modulul de elasticitate al apei:

$$E_w = \rho_w v_w^2 = 1000 \text{ kg / m}^3 \cdot (1420)^2 \text{ m}^2 / \text{s}^2 = 2 \times 10^9 \text{ Pa.}$$

Acest calcul arată că *modulul de elasticitate al apei este mult mai mare ca al pământului*, ceea ce ne conduce la concluzia că, în calcul, *apa poate fi considerată incompresibilă în comparație cu pământul*, iar *metodele de evaluare a propagării undelor elastice în pământuri saturate pot măsura numai transmisia prin undele de compresie - dilatare din apă*.

2.3.4 Despre undele elastice în pământuri saturate

O aproximație mai exactă pentru undele elastice din pământ se poate obține prin considerarea pământului ca fiind un mediu solid, elastic, poros, în care porii sunt umpluți cu fluid (aer sau apă).

Morse, 1952[62], a considerat un mediu din materiale granulare solide și un fluid ce umple golurile; granulele fiind considerate fixe și incompresibile. Astfel a restrâns analiza la propagarea undei în fluid și disiparea energiei prin amortizare vâscoasă.

Zwiker și Kosten, 1949 citați în [111], Brandt, 1955[19] și Biot, 1956[12], citat și în [111], au studiat în detaliu undele în materiale poroase saturate, făcând ipoteza asemănării pământului cu un astfel de material. Zwiker și Kosten au considerat o tensiune unidimensională într-un solid elastic poros, ce conține și aer în pori. Mișcarea solid-fluid fiind cuplată, au rezultat două viteze de propagare pe care le-au numit *unda de structura elastică deranjată* și *unda de aer deranjată*.

Tratarea completă a problemei undelor seismice în medii saturate este făcută de Biot, a cărui prezentare este dată în continuare.

Biot consideră , în general, propagarea tridimensională a undelor de forfecare și compresiune într-un mediu poros, solid, saturat cu fluid. Lichidul s-a considerat a fi compresibil, liber să curgă prin pori. Considerând un sistem fizic conservativ, izotrop statistic, Biot a obținut următoarele ecuații de tensiune-deformație, conținând patru constante elastice distincte:

$$\sigma_x = 2G\varepsilon_x + \lambda\varepsilon_v + C_Q\varepsilon_w, \quad (2.78)$$

$$\sigma_y = 2G\varepsilon_y + \lambda\varepsilon_v + C_Q\varepsilon_w, \quad (2.79)$$

$$\sigma_z = 2G\varepsilon_z + \lambda\varepsilon_v + C_Q\varepsilon_w, \quad (2.80)$$

$$-p = C_Q\varepsilon_v + C_R\varepsilon_w, \quad (2.81)$$

$$\tau_{xy} = G\gamma_{xy}; \tau_{yz} = G\gamma_{yz}; \tau_{zx} = G\gamma_{zx}; \quad (2.82)$$

în care:

$\sigma_{x,y,z}$, $\varepsilon_{x,y,z}$, λ , G și ε_v au fost definite în paragraful 2.1;

ε_w - dilatația volumică a fluidului (apei);

p - presiunea totală asupra apei pe unitatea de suprafață de material poros (pământ);

C_Q , C_R - constante referitoare la cuplarea solid-fluid.

Dacă volumul total este constant, atunci $\varepsilon_v = 0$ și C_R este o măsură a presiunii necesare pentru a împinge un volum unitar de apă în agregatul poros, astfel:

$$C_R = n E,$$

unde:

n este porozitatea;

E - modulul de elasticitate al mediului (pământului), determinat din relația:

$$\frac{1}{E} = \frac{e}{1+e} \frac{1}{E_s} + \frac{1}{1+e} \frac{1}{E_f}; \quad (2.83)$$

în care:

e este indicele porilor;

E_s și E_f - modulii de elasticitate ai particulelor solide, respectiv ai apei din

pori.

Constanta C_Q este o de legătură între schimbul de volum al solidului și cel al lichidului. Dacă $p = 0$, atunci din relația (2.81) rezultă:

$$\varepsilon_w = -C_Q\varepsilon_v / C_R \quad (2.84)$$

Aplicând o presiune structurii minerale, în timp ce presiunea în apă $p_w = 0$, se va înregistra o schimbare de volum în structura solidă și o descreștere a porozității, ceea ce cauzează o scurgere de fluid din elementul de volum luat în calcul. Schimbarea de volum a fluidului va fi o funcție de coeficientul Poisson al solidului, ceea ce indică că C_Q are o valoare ce poate fi apreciată din relația:

$$0 \leq \frac{C_Q}{C_R} \leq \nu. \quad (2.85)$$

Pentru un sistem în care sunt neglijate forțele disipative, ecuația de echilibru dinamic, după direcția x , este:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = \frac{\partial^2}{\partial t^2} [\rho_s u_x + \rho_f (u_x - U_x)] \quad (2.86)$$

și

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial^2}{\partial t^2} [\rho^* U_x + \rho_s (U_x - u_x)]; \quad (2.87)$$

în care:

u_x și U_x sunt deplasările particulelor solide și respectiv ale apei pe direcția x ;

ρ_s densitatea specifică a scheletului mineral;

ρ^* - densitatea relativă a masei fluidului, calculată ca raportul între masa fluidului pe unitatea de volum de material poros ;

ρ_A - densitatea aparentă, calculată ca raportul între masa pământului saturat și volumul pământului (ρ_{sat}).

Ecuatii similare pot fi scrise pentru echilibru dinamic pe direcțiile y și z .

Rezolvând ecuațiile (2.86) și (2.87) analog celor pentru mediul elastic, se pot obține vitezele undelor de rotație și dilatare. Biot a descoperit că *în cazul undelor în pământul saturat există o singură undă rotațională și că acesta angrenează în mișcare structura minerală și fluidul.*

Ecuatia acestei unde de rotație este:

$$G\Delta\omega = \left(\rho_s + \frac{\rho^* \rho_A}{\rho^* + \rho_A} \right) \frac{\partial^2 \omega}{\partial t^2} \quad (2.88)$$

Ecuatia (2.88) este ecuația de undă exprimată în termeni de rotație a structurii elastice

Viteza de propagare a undelor descrisă de ecuația (2.88) este:

$$v_s = \left(\frac{G}{\rho_s + \frac{\rho^* \rho_A}{\rho^* + \rho_A}} \right)^{1/2}; \quad (2.89)$$

care reprezintă viteza de propagare a undei în structura elastică.

Există o rotație a fluidului ω_w care este pusă în legătură cu rotația solidului ω_s prin relația:

$$\omega_w = \frac{\rho_A}{\rho^* + \rho_A} \omega_s. \quad (2.90)$$

Deci, rotația particulelor de apă este aceeași cu a celor solide; singura legătură în modul de mișcare rotațională este aceea dintre mișcările relative solid - fluid.

Pentru *pământul saturat cu apă*, Biot a descoperit că se dezvoltă *două tipuri de unde de dilatație (longitudinale), o undă de compresie ce se transmite prin apă și o udă de compresie ce se transmite prin structura minerală* (ambele medii fiind considerate elastice).

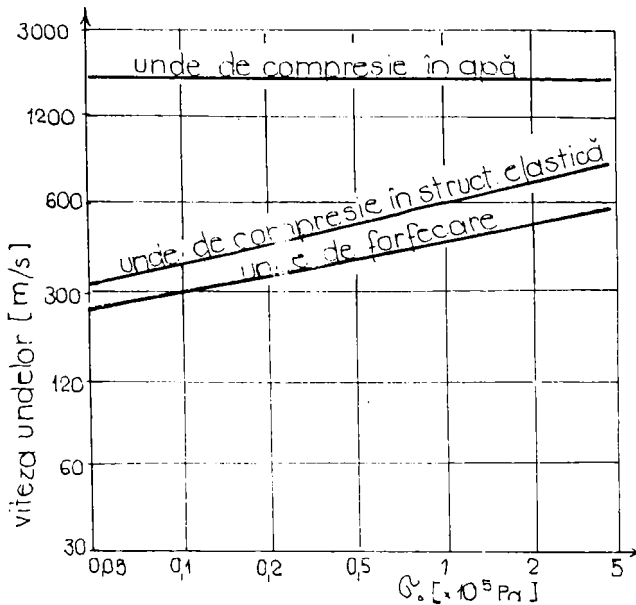


Fig.2.6 Propagarea undelor elastice în pământuri saturate

de compresie din fluidul de saturație și solid, precum și absența cuplării structurale pentru undele de forfecare. Deci, măsurătorile din teren pentru undele de forfecare din pământuri saturate vor fi acelea propagate prin structura scheletului mineral, mișcarea apei din pori făcându-se concomitent cu aceasta, neînregistrându-se unde de forfecare distincte.

Pentru un nisip cuarțos saturat cu apă, după Hardin(1961),[49], se prezintă în figura 2.6 viteza de propagare a celor două tipuri de unde de compresie în mediul solid și în fluid, precum și cea a undelor de forfecare din mediul solid, în funcție de efortul unitar octaedric efectiv (σ_0).

Teoria Biot arată clar legătura care există între unde de

2.4 DESPRE SISTEMUL DE UNDE PROVENIND DIN SURSE AFLATE LA SUPRAFAȚA PĂMANTULUI

Deoarece majoritatea surselor de vibrații, față de care protecția prin ecranare devine o soluție posibilă, sunt situate la suprafața pământului, prezentăm în continuare modul de propagare în teren a undelor produse de o fundație circulară, care vibrează vertical la suprafața pământului.

Energia indusă în pământ de către această fundație este transmisă mai departe printr-o combinație de unde primare (P), secundare (S) și Rayleigh (R).

Pentru evidențierea câmpului de unde format și evitarea fenomenelor locale ce pot apărea la contactul fundație - teren de fundare (alunecări, cedare locală, armonice superioare induse de vibrația proprie a fundației etc.) presupunem câmpul de unde aflat la *distanță mare* de sursă. După J. Lysmer, 1966[63], *distanța* de 2,5

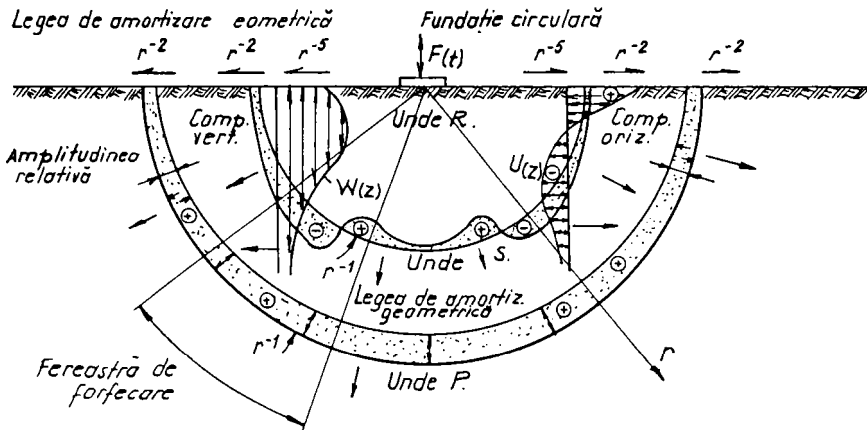


Fig 2.7 Câmp de unde generat de o fundație circulară [139]

ori lungimea de undă de sursă este considerată o distanță mare.

În figura 2.7 este prezentat, după Woods, 1968[111], [139], câmpul de unde generat de o fundație circulară aflată la suprafața pământului, asimilat cu un semispațiu continuu, liniar deformabil, omogen și izotrop. Distanța de sursă a fiecărui front de undă este desenată proporțional cu viteza fiecărei unde, pentru o valoare a coeficientului Poisson $\nu = 1/4$.

Corpul undelor P și S se propagă radial, de-a lungul unui front de undă sferic, iar undele R se propagă radial de-a lungul unui front de undă cilindric. Toate undele întâlnesc un volum de pământ care crește progresiv cu depărtarea r de sursă. Prin urmare, fluxul de energie radiantă descrește cu depărtarea de sursă. Această descreștere, exprimată în fluxul de energie prin unitatea de suprafață sau prin amplitudinea deplasării, se numește amortizare geometrică. Amortizarea geometrică este proporțională cu $1/r$, r fiind depărtarea de sursă, exceptând undele P și S aflate la suprafața pământului la care amplitudinea deplasării descrește proporțional cu $1/r^2$. Pentru undele R descreșterea amplitudinii este proporțională cu $1/r^{1.2}$ (Ewing, Jardetzky și Press, 1967 citați în [102], [103], [111]).

Mișcarea particulelor asociată undei P este o mișcare de compresie-întindere în direcția de propagare. Mișcarea particulelor asociată undei de forfecare este o deplasare transversală, normală pe direcția frontului de undă.

Mișcarea particulelor terenului asociată cu unda R este alcătuită din două componente, orizontală și verticală, care variază cu adâncimea, așa cum se vede în figura 2.7.

Suprafața înnegrită, de-a lungul frontului undelor P și S, indică amplitudinea relativă a deplasării particulelor în funcție de unghiul măsurat în jos, de la orizontală, spre verticala ce trece prin centrul sursei.

Regiunea frontului undei S, în care amplitudinile sunt mai mari, a fost numită fereastră de forfecare.

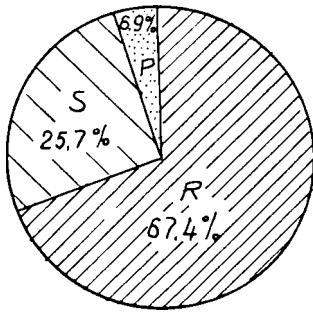


Fig.2.8 Distribuția energiei sursei pe undele P,S și R

Pentru o sursă de energie circulară, distribuția oscilând vertical la suprafața semispațiului elastic Miller și Pursey, 1955 citați în [102], [111], au stabilit distribuția energiei de intrare, totale, pe cele trei tipuri de unde. Astfel, **undele R transmit 67,4% din energia sursei, undele S 25,7%, iar undele P 6,9%**, fig.2.8.

Faptul că peste 2/3 din energia totală de intrare de la o fundație circulară ce oscilează vertical a... R și că un... R scade mult mai încet cu depărtarea de sursă, arată că unda R prezintă o importanță deosebită în producerea de vibrații asupra

construcțiilor fondate în apropiere de suprafața pământului. De asemenea, izolarea prin ecranare a construcțiilor față de undele ce se transmit prin pământ se va face preponderent față de perturbațiile provenite de la aceste unde. **Se justifică astfel orientarea cercetării pe direcția protejării construcțiilor față de vibrațiile transmise de undele Rayleigh.**

2.5 CU PRIVIRE LA AMORTIZAREA UNDELOR ELASTICE ÎN PĂMÂNTURI OMOGENE

2.5.1 Amortizarea geometrică și de material

Așa după cum s-a arătat în paragraful 2.4, într-un semispațiu elastic omogen și izotrop, fluxul de energie transmisă de unde prin unitatea de suprafață, sau amortizarea undelor, descrește cu depărtarea de sursă. Undele R scad în amplitudine mai încet ca undele P și S, ele propagându-se aproape de suprafața pământului, după un front de unde cilindric.

Scăderea în amplitudine a undelor elastice datorită geometriei suprafeței frontului de undă (sferă sau semisferă la undele P și S și cilindru la undele R), suprafață ce crește cu depărtarea de sursă, se numește **amortizare geometrică**.

Dacă se ia în considerare amplitudinea deplasării verticale w a suprafeței terenului produsă de unda R, amortizarea geometrică poate fi exprimată prin relația:

$$w = w_1 \sqrt{\frac{x_1}{x}} \quad ; \quad (2.91)$$

în care:

x_1 este distanța de la sursă la punctul de amplitudine cunoscută, w_1 :

x - distanța de la sursă la punctul de calcul al amplitudinii.

w_1 - amplitudinea componentei verticale a deplasării terenului, produsă de unda R, la distanța x_1 de sursă.

Sub aspectul amortizării geometrice se poate vedea că un grad mai mare de izolare se poate obține prin amplasarea construcției cât mai departe de sursa de vibrații.

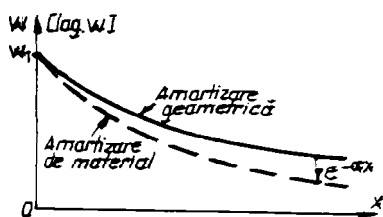


Fig. 2.9 Amortizarea geometrică și de material

Deoarece pământul nu este un mediu liniar-elastic, așa cum s-a presupus în paragrafele anterioare, există o pierdere de energie și prin **amortizare de material**. Existența acestei amortizări este demonstrată de faptul că atenuarea amplitudinii măsurată pe teren este mai mare decât cea care ar rezulta numai din amortizarea geometrică, conform relației (2.91).

Amortizarea geometrică și de material au fost prinse într-o expresie a amortizării amplitudinii undelor R de către Boltz, 1931 prezentat în [36],[62],[101],[102],[111],[115], având forma:

$$w = w_1 \sqrt{\frac{x_1}{x}} \exp[-\alpha(x - x_1)] \quad (2.92)$$

în care α este un coeficient de atenuare, având dimensiunea de 1/distanță, care exprimă faptul că energia pierdută pe două cercuri aflate la distanța x , și respectiv x_1 de sursă se face numai prin atenuarea de material.

În figura 2.9 sunt prezentate calitativ cele două tipuri de amortizare, la scară semilogaritmică.

2.5.2 Generalizarea calculului amortizării undelor în pământ

Problema amortizării undelor în pământ, prezentată până aici numai pentru undele R, se poate generaliza pentru toate cele trei tipuri de unde ce provin de la sursă de suprafață (P, S și R). De asemenea, coeficientul de atenuare α din relația (2.92) se poate particulariza pentru fiecare undă și i se pot stabili relațiile de calcul corespunzătoare. Pentru aceasta, pământul se va considera un mediu viscoelastic,

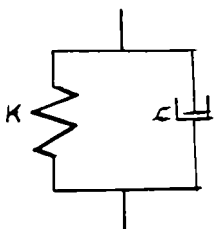


Fig. 2.10 Modelul Kelvin-Voigt

după modelul Kelvin-Voigt [11], [36], [62], cunoscut și sub numele de modelul Solid - Kelvin. Acest model este compus din două componente: reală a pământului la propagarea vibrațiilor prin el este alcătuit din două componente (Fig. 2.10), o componentă la care există o dependență liniară între tensiune și deformare, deci la care se poate aplica legea lui Hooke, și o componentă cu comportare viscoasă, care are o lege liniară (Newton) între efort și viteza de deformare.

Considerând că deformarea terenului se face

numai după o direcție, direcția de propagare a undelor (de exemplu direcția Ox), atunci $\varepsilon_y = \varepsilon_z = 0$ și $\varepsilon_x = \varepsilon_x = \varepsilon$. În acest caz, din legea lui Hooke tensiunea σ_x are semnificația unei tensiuni elastice, astfel că:

$$\sigma_x = (\lambda + 2G)\varepsilon. \quad (2.93)$$

Prin cuplarea în paralel a celor două componente (Newton și Hooke) ce alcătuiesc modelul Solid - Kelvin (fig.2.10), deformația este aceeași pentru ambele componente (elastică și vâscoasă), în timp ce tensiunea totală va fi compusă din două părți, una elastică σ_x și cealaltă σ_v , dată de deplasarea în mediu vâscos cu viteza $d\varepsilon/dt$; prin urmare:

$$\sigma = \sigma_x + \sigma_v = (\lambda + 2G)\varepsilon + \frac{\lambda + 2G}{Q_p \omega} d\varepsilon / dt, \quad (2.94)$$

sau:

$$\sigma = (\lambda + 2G)\varepsilon + (\lambda + 2G) d\varepsilon / dt = K\varepsilon + c_p d\varepsilon / dt; \quad (2.95)$$

în care K este componenta elastică a pământului, iar c_p componenta vâscoasă a amortizării.

Analog coeficienților elastici Lamé (λ și G) s-au introdus și coeficienți de vâscozitate λ și G [39], având relațiile:

$$\lambda + 2G = \frac{\lambda + 2G}{Q_p \omega} \quad \text{și} \quad G = \frac{G}{Q_s \omega}; \quad (2.96)$$

în care Q_p și Q_s sunt două mărimi ce caracterizează vâscozitatea mediului de propagare (mărimi invers proporționale cu vâscozitatea), numiți *factor de calitate*, iar rapoartele $1/Q_p$ și $1/Q_s$ reprezintă *funcțiile specifice de amortizare*.

Ecuatiile diferențiale ale undelor P și S, pentru pământul considerat ca având și amortizare vâscoasă (2.25) și (2.26), devin:

$$\rho \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} = (\lambda + 2G)\Delta\Phi + \frac{\lambda + 2G}{Q_p \omega} \frac{\partial}{\partial t} \Delta\Phi, \quad (2.97)$$

$$\rho \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} = G\Delta\Psi + \frac{G}{Q_s \omega} \frac{\partial}{\partial t} \Delta\Psi. \quad (2.98)$$

Aceste ecuații admit soluții armonice de tipul unor unde progresive, de forma:

$$A(r, t) = \frac{A(\omega)}{r^n} \exp i(\omega t - k_j r), \quad j = P, S, R; \quad (2.99)$$

în care:

n este o mărime ce caracterizează amortizarea geometrică luând valori în funcție de tipul undelor progresive din pământ, astfel:

$n = 1/2$ pentru undele R, așa cum s-a văzut în relațiile (2.91) și (2.92), în care distanța de sursă $r = x$ apare sub radical;

$n = 1$ sau 2 pentru undele P și S, așa cum s-a arătat în paragraful (2.4), $n = 2$ pentru undele P și S ce se propagă spre interiorul pământului și $n = 1$ pentru undele P și S ce se propagă aproape de suprafața pământului (vezi fig. 2.7);

k_j este numărul de undă complex având expresia:

$$k_j = \frac{2\pi}{\lambda_j} = \frac{\omega}{v_j \left(1 + \frac{1}{Q_j^2}\right)^{1/4}} \exp(-i\theta_j), j = P, S, R; \quad (2.100)$$

unde:

v_j este viteza undelor în mediul elastic (v_P, v_S, v_R) prezentate în paragrafele (2.1) și (2.2);

$$\theta_j = \frac{1}{2} \arctg \frac{1}{Q_j}, j = P, S, R. \quad (2.101)$$

Cu aceste notații, ecuația (2.99) devine:

$$A(r, t) = \frac{A(\omega)}{r^n} \exp i(\omega t - k_j r), j = P, S, R; \quad (2.102)$$

relație în care numărul de undă, în cazul amortizării vâscoase a pământului, are forma:

$$k_j = \omega/v_j - i \alpha_j, j = P, S, R. \quad (2.103)$$

Prin urmare, numărul de undă va fi diferit pentru cele trei tipuri de unde, luând una din formele: k_P, k_S sau k_R .

Relația (2.102) reprezintă deplasarea unui punct de pe sau din interiorul pământului, situat la distanță mare de sursa de vibrații, în care se ține seama de amortizarea geometrică și de material.

Viteza undelor, când se ia în considerare și amortizarea, va fi:

$$v_j = \frac{\left(1 + \frac{1}{Q_j^2}\right)^{1/4}}{\cos \theta_j} v_{j0}, j = P, S, R. \quad (2.104)$$

Coeficientul de amortizare va avea expresia:

$$\alpha_j = \frac{\omega \sin \theta_j}{v_j \left(1 + \frac{1}{Q_j^2}\right)^{1/4}}, j = P, S, R. \quad (2.105)$$

și este deci proporțional cu frecvența, având atunci când Q_j este mare (vâscozitatea pământului redusă), valoarea:

$$\alpha_j \equiv \frac{\omega}{2\nu_j Q_j}, j = P, S, R.. \quad (2.106)$$

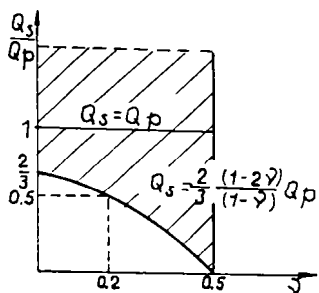


Fig.2.11 Dependenta de ν a raportului Q_S/Q_P . [36]

În cazul ipotezelor făcute de Stokes, prezentate în [21], [56], [54], ale mediului vâscos, la care există dependență între forța de deformare și viteză ($F = 6\pi\eta v$), rezultă că raportul:

$$3\lambda + G = \frac{3(\lambda + 2G)}{\omega Q_P} - \frac{4G}{\omega Q_S} \geq 0, \quad (2.107)$$

prin u. ma. e:

$$\frac{Q_S}{Q_P} \geq \frac{4G}{3(\lambda + 2G)} = \frac{\nu(1 - 2\nu)}{3(1 - \nu)}. \quad (2.108)$$

În fig.2.11 este prezentat hașurat domeniul ce respectă această inegalitate, pentru coeficientul Poisson $\nu = 0 \dots 0,5$.

Pentru determinarea celor trei viteze cu amortizare v_P , v_S , v_R și a coeficienților de amortizare corespunzători α_P , α_S , α_R , este suficient să se cunoască trei dintre aceste mărimi, de exemplu, v_P , Q_P și ν .

În funcție de situația reală de pe teren, viteza v_P se poate determina prin una din următoarele metode:

Tabelul 2.4 Vitezele undelor P [36]

Materialul	v_P , m/s
Aer, pori	332
Straturi superficiale moi din pământ	200...600
Pământuri aluvionare uscate	600...1200
Pământ înghețat	1200...2000
Apă	1450
Pământuri aluvionare umede	1600...2400
Argile	1800...2200
Tufuri vulcanice	1800...2500
Marnă, crete, gresii	2000...3500
Beton	2500...3700
Calcare dure, lave	2400...4000
Șisturi, micașturi, dolomite	3000...5000
Gneissuri, cuarțite, granite	3500...6000
Oțel	6000...7000

(b) prin considerarea unei valori medii a unor viteze rezultate prin măsurători anterioare pe pământuri identice, valori prezentate în tabele, așa cum sunt date în tabelul (2.4) după T.G. Gutowski, [36];

(c) prin calcul cu formule teoretice, de exemplu cu formula (2.104) :

$$v_p = \left(\frac{E}{\rho}\right)^{1/2} \left[\frac{1-\nu}{(1-2\nu)(1+\nu)} \right]^{1/2} \frac{\left(1 + \frac{1}{Q_p^2}\right)^{1/4}}{\cos\left(\frac{1}{2} \arctg \frac{1}{Q_p}\right)}; \quad (2.109)$$

Tabelul 2.5 Coeficientul de amortizare Q_p

Denumire pământ	Q_p
Argile, pământuri argiloase	1
Măluri, loessuri	5
Nisipuri, pietrișuri	10
Rocă compactă	100

în care coeficientul ce caracterizează amortizarea de material Q_p se poate lua din tabelul (2.5).

Printru determinarea celorlalte mărimi: v_s , v_R , α_p , α_s, α_R , se pot folosi diagramele

din figura 2.12a sau 2.12b. În aceste diagrame se prezintă curbele de variație a rapoartelor v_s/v_p , v_R/v_p , α_p/α_R și α_s/α_R în funcție de ν , pentru diferite valori ale factorilor de calitate Q_p și Q_s .

În tabelul 2.6 prezentăm condițiile de șantier în care diferiți cercetători

Tabelul 2.6 Condiții de execuție a încercărilor

Curba	Condițiile de teren	Sursa de vibrații	Frecvența
WES, 1965	Nisip fin, uniform	Vibrator cu excentrici (verticale)	20Hz
Forsblad, 1965	Morene (pietriș, nisip și măr)l	Rulou vibrator de 3.3 t	26,7Hz
Richart, 1962	Umplutură granulară compactă sub 10-16 cm placă de beton simplu	Cilindru vibrator cu un piston. cu combustie internă	40Hz
Woods, 1967	Nisip fin, măr)los	Vibrator electromagnetic	200Hz

au făcut studii pentru determinarea caracteristicilor de amortizare ale diferitelor terenuri, iar în figura 2.13a sunt prezentate rezultatele obținute.

Dreptele continue din figură reprezintă atenuarea geometrică, calculată după ecuația (2.91), iar curbele cu linie întreruptă valorile măsurate pe teren ale amplitudinii deplasării. Curbele continue reprezintă curbe calculate cu

relația (2.92), cu α ales astfel încât curba să se suprapună cât mai exact peste cea măsurată. Din cele prezentate rezultă că α ia valori între 0,02 și 0,13 m⁻¹.

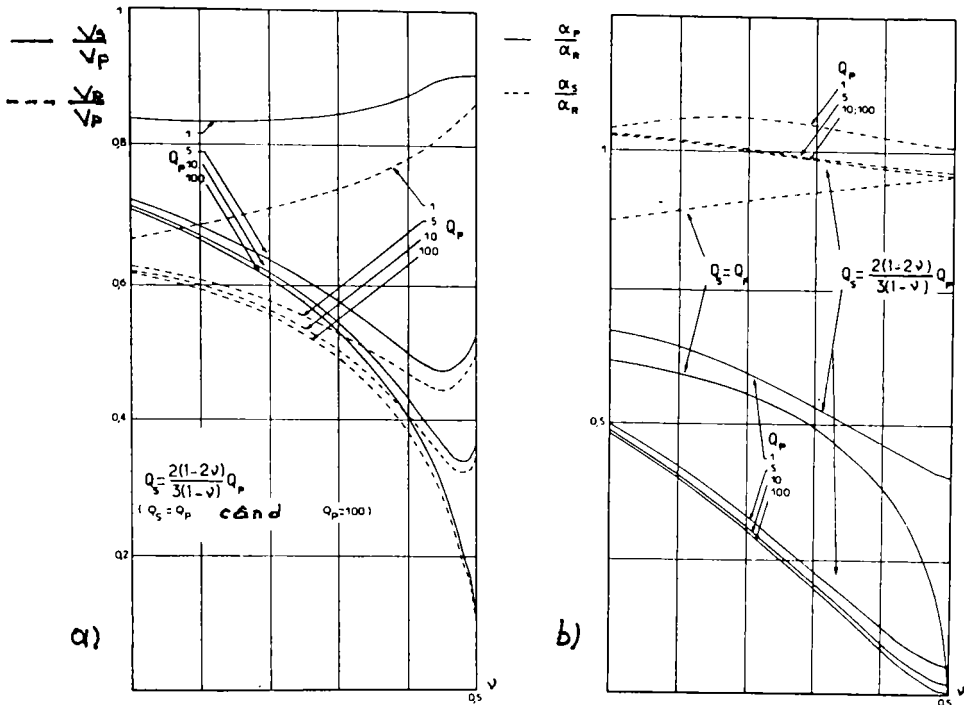


Fig.2.12 Dependența de ν a rapoartelor: a) v_s/v_p , v_r/v_p ; b) α_p/α_R , α_s/α_R .

Pentru caracterizarea vitezei de propagare a undelor într-un mediu cu amortizare, față de cel fără amortizare, în fig.2.13b prezentăm rapoartele acestor viteze.

Din analiza acestor diagrame se observă că raportul vitezelor, cu și fără amortizare v_j / v_{je} devine semnificativ până la valori ale amortizării $Q_p < 5$, după care, practic, influența amortizării de material devine neglijabilă. Sub această valoare, însă, viteza în mediul cu amortizare este mai mare ca cea din mediul liniar-elastic. De asemenea, raportul coeficienților de amortizare pe numărul de undă α_j/k_{je} nu trece de 0,35, valoare maximă atinsă la $Q_j = 1$, iar la $Q_j = 10$ raportul devine practic nesemnificativ.

Raportul $1/Q_j$ este cunoscut, așa cum s-a amintit, sub denumirea de funcția specifică de amortizare și poate fi folosit pentru calculul decrementului logaritmic al amortizării (δ) în coordonate de deplasare [15], [94]:

$$\delta = \lambda\alpha = \frac{2\pi\nu}{\omega} \alpha = \frac{\pi}{Q} = \frac{2\pi D}{\sqrt{1-D^2}}; \quad (2.12)$$

de unde rezultă relația de legătură:

$$\frac{1}{Q} = \frac{2\alpha v}{\omega} = \frac{1}{A_r}; \quad (2.111)$$

unde $D = c/c_{cr}$ este fracțiunea din amortizarea critică, iar A_r factorul de amplificare la rezonanță.

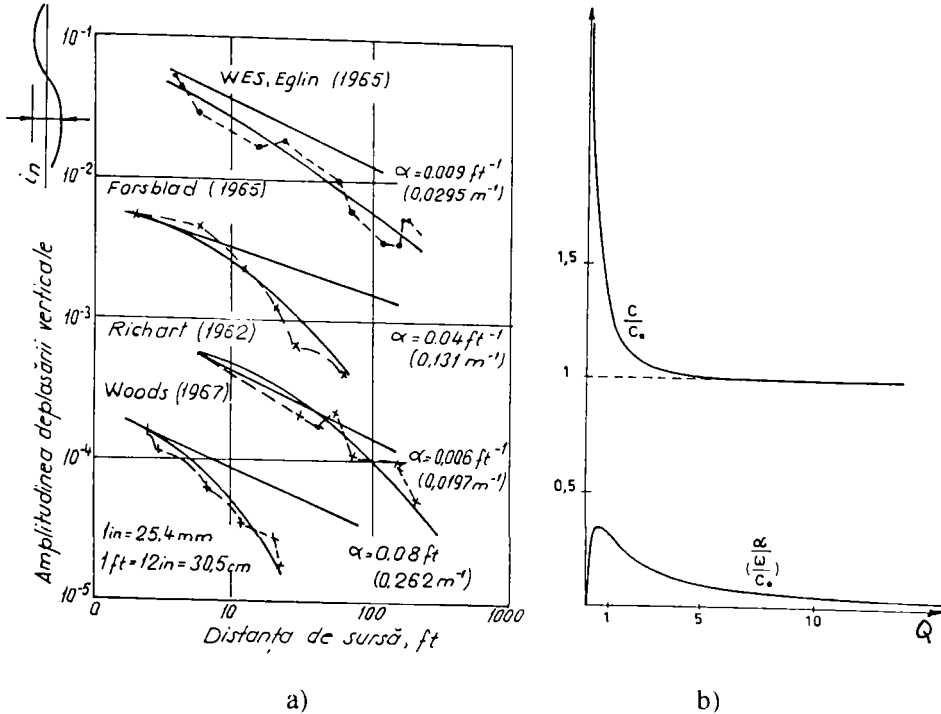


Fig.2.13 Atenuarea undelor de suprafață cu depărtarea de sursă

Prin urmare, calculul amortizării pământului, față de transmisia undelor prin el, se poate face și prin folosirea fracțiunii din amortizarea critică. În tabelul 2.7 prezentăm câteva valori orientative ale acestei mărimi, după diferiți autori, pentru diferite tipuri de pământuri.

În studiile întreprinse de Barkan D.D., 1962 [8], acesta a sugerat ca, pentru diferite tipuri de pământuri, coeficientul de amortizare să ia valori cuprinse între $0,03$ și $0,131 \text{ m}^{-1}$, ceea ce este în acord cu valorile prezentate în figura 2.12. Excepție fac rezultatele obținute de Woods, la care $\alpha = 0,262 \text{ m}^{-1}$, valoare atinsă la frecvența de lucru de 200 Hz , ceea ce confirmă cele prezentate în relația (2.105), de creștere a amortizării cu frecvența.

Din cele prezentate rezultă că lunea în calcul a propagării undelor elastice prin pământ, cu considerarea amortizării de material, devine importantă atunci când factorul de calitate Q_j , $j = P, R, S$, ia valori mai mici

ca 5, valoare specifică pământurilor argilose, loessurilor etc. La roci copacte, nisipuri și pietrișuri îndesate etc., influența amortizării interne

Tabelul 2.7 *Fracțiunea din amortizarea critică D*

Tipul pământului	D	Autorii
Nisip cu pietriș, uscat	0,03...0,07	Weissmann și Hart, 1961
Nisip uscat și /sau saturat	0,10...0,03	Hall și Richart, 1963
Nisip uscat	0,03	Whitman, 1963
Nisip și pietriș uscat și/sau saturat	0,05...0,06	Barkan, 1962
Argilă	0,02...0,05	Barkan, 1962
Nisip prăfos	0,03...0,10	Stevens, 1966
Nisip uscat	0,01...0,03	Hardin, 1965

devine ne semnificativă, astfel că pământul (și ne gândim aici la acesta în special ca teren de fundare) poate fi considerat cu destulă precizie ca fiind un mediu liniar - elastic. De asemenea, din cele prezentate rezultă că disiparea energiei undelor se face diferențiat pentru cele trei tipuri de unde (P,S,R), amortizarea luând, după caz, valori specifice. În toate cazurile însă, chiar dacă se va lua sau nu se va lua în calcul amortizarea de material, mai ales în probleme de protecție antivibratorie, amortizarea geometrică este o mărime ce nu poate fi neglijată. Nici chiar în cazul undelor Rayleigh, unde, chiar dacă această amortizare este mai mică, ea este suficient de mare, după cum rezultă din relația (2.91), pentru a fi luată în considerare.

CAPITOLUL III

STUDII TEORETICE PRIVIND PROTECȚIA ANTIVIBRATORIE PRIN ECRANARE

3.1 STUDII CU PRIVIRE LA REFLEXIA ȘI TRANSMISIA UNDELOR PE/PRIN ECRAN

3.1.1 Considerații asupra ecuațiilor lui Zoepritz

Prezența ecranului în calea undelor progresive ce se transmit prin pământ, ridică problema reflexiei și transmisiei acestora, atât în izolarea activă cât și în cea pasivă.

În tratarea problemei, terenul de fundare și ecranul sunt considerate două semispații continue, liniar deformabile, în contact, caracterizate prin impedanțele lor mecanice ($Z_i = \rho_i v_{ji}$, $j = P, S$; $i = 1, 2$), reprezentând produsul dintre densitatea masei (ρ_i) și viteză (v_{ji}). Prin urmare, fiecare din cele două medii în contact vor avea valori bine definite pentru densitatea masei (ρ_1, ρ_2) și pentru vitezele de propagare a undelor în cele două medii ($v_{P1}, v_{P2}, v_{S1}, v_{S2}$).

La trecerea undelor din ecran în pământ, prin a doua față a ecranului, problema se tratează identic cu prima, numai că mediul 1 va fi ecranul și mediul 2 terenul de fundare.

Pentru studiul fenomenului se va face aproximația undelor plane, aproximație posibilă dacă distanța sursă-ecran este mult mai mare ca lungimea de undă. Această aproximație simplifică considerabil problema, întrucât rămâne să se lucreze în cazul bidimensional (aici planul xOy).

În general, atunci când un tren de unde care traversează un mediu elastic întâlnește o suprafață de separație a unui alt mediu, o parte din energia unei incidente va fi reflectată în primul mediu și o parte transmisă mediului al doilea. Folosind teoria elasticității, Zoepritz, în 1935, a cărui studii sunt prezentate în lucrările [14],[23],[36][62][102],[111],[113], a determinat natura undelor reflectate și transmise, precum și distribuția energiei între aceste unde.

Deoarece partiția undelor pe interfața teren-ecran depinde de tipul undelor incidente, problema se va trata separat pentru fiecare tip de undă.

În cazul unei P incidente pe interfață (fig. 3.1a), vor rezulta patru unde și anume:

- (1) - o undă P reflectată (P - P₁);
- (2) - o undă SV reflectată (P - SV₁);
- (3) - o undă P refractată (P - P₂);

(4) - o undă SV refractată (P - SV₂).

Pentru unda S incidentă pe interfață, problema se tratează separat pentru cele două componente ale sale, SV și SH, fiecare considerându-se că acționează separat. Astfel, unele rezultate din incidența unei unde SV pe interfață (fig.3.1b) sunt:

- (1) - o undă SV reflectată (SV-SV₁);
- (2) - o undă P reflectată (SV-P₁);
- (3) - o undă SV refractată (SV-SV₂);
- (4) - o undă P refractată (SV-P₂).

După cum se vede, în timp ce undele P și SV incidente produc fiecare unde rezultante P și SV, o undă SH incidentă nu produce unde P și SV, deoarece ea nu are nici o componentă perpendiculară pe planul de separație. Prin urmare, unele

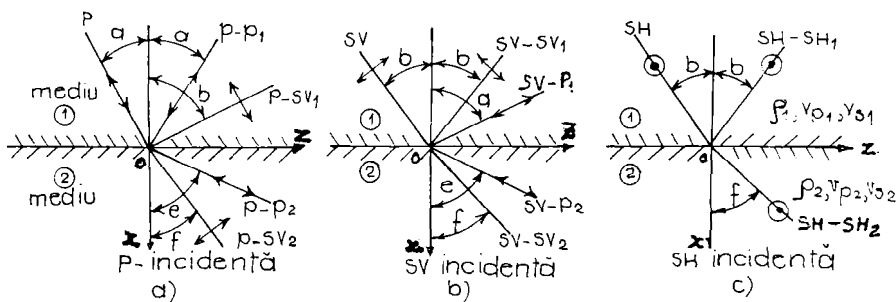


Fig.3.1 Partii undelor elastice pe o interfață la incidența undelor: a) P; b) SV; c) SH

rezultate din incidența undelor SH la interfață (fig.3.1c) vor fi:

- (1) - o undă SH reflectată (SH-SH₁);
- (2) - o undă SH refractată (SH-SH₂).

Unghiurile sub care undele rezultante părăsesc suprafața de separație, depind de unghiul unei incidente, precum și de vitezele undelor în cele două medii. Aceste unghiuri, considerând mediile nedispersive rezultă din legea Snellius-Descartes [23], [54]:

$$k_{P1} \sin a = k_{S1} \sin b = k_{P2} \sin e = k_{S2} \sin f. \quad (3.1)$$

în care unghiurile a,b,d,e se măsoară față de normala la interfață în punctul de incidență, iar $k_{P1} = \omega/v_{P1}$, $k_{S1} = \omega/v_{S1}$, $k_{P2} = \omega/v_{P2}$, $k_{S2} = \omega/v_{S2}$ reprezintă numerile de undă corespunzătoare.

Scrisă cu rapoartele inversate, această lege definește o constantă cu dimensiuni de viteză, numită *viteza aparentă orizontală*:

$$v = \frac{v_{P1}}{\sin a} = \frac{v_{S1}}{\sin b} = \frac{v_{P2}}{\sin e} = \frac{v_{S2}}{\sin f} = \text{const.} \quad (3.2)$$

Această egalitate implică faptul că toate undele - incidente, reflectate și transmise (refractate) - au aceeași viteză aparentă orizontală (v), aceasta fiind viteza cu care frontul de undă "mătură" suprafața orizontală ($z = \text{constant}$).

Zoeppritz a exprimat distribuția energiei undelor incidente între undele rezultante, în termeni de amplitudine. Se știe însă că, în cazul undelor elastice, energia este proporțională cu pătratul amplitudinii deplasării, prin urmare, cunoașterea amplitudinii deplasării implică și cunoașterea energiei. De aceea, ecuațiile respective vor fi scrise în termeni de amplitudine.

În cazul undelor P incidente, aceste ecuații sunt [113]:

$$(A - C) \sin a + D \cos b - E \sin e + F \cos f = 0; \quad (3.3)$$

$$(A + C) \cos a + D \sin b - E \sin e - F \sin f = 0; \quad (3.4)$$

$$(A + C) \sin 2a - D \frac{v_{p1}}{v_{s1}} \cos 2b - E \frac{\rho_2 v_{p1}}{\rho_1 v_{p2}} \left(\frac{v_{s2}}{v_{s1}} \right)^2 \sin 2e + F \frac{\rho_2 v_{p1}}{\rho_1 v_{s2}} \left(\frac{v_{s2}}{v_{s1}} \right)^2 \cos 2f = 0$$

$$-(A - C) \cos 2b + D \frac{v_{s1}}{v_{p1}} \sin 2b + E \frac{\rho_2 v_{p2}}{\rho_1 v_{p1}} \cos 2f + F \frac{\rho_2 v_{s2}}{\rho_1 v_{s1}} \sin 2f = 0; \quad (3.6)$$

Pentru undele SV incidente pe interfață rezultă:

$$(B + D) \sin b + C \cos a - E \cos e - F \sin f = 0; \quad (3.7)$$

$$(B - D) \cos b + C \sin a + E \sin e - F \cos f = 0; \quad (3.8)$$

$$(B + D) \cos 2b - C \frac{v_{s1}}{v_{p1}} \sin 2a + E \frac{\rho_2 v_{s2}^2}{\rho_1 v_{s1} v_{p2}} \sin 2e - F \frac{\rho_2 v_{s2}}{\rho_1 v_{s1}} \cos 2f = 0 \quad (3.9)$$

$$(B - D) \sin 2b + C \frac{v_{p1}}{v_{s1}} \cos 2b + E \frac{\rho_2 v_{p2}}{\rho_1 v_{s1}} \cos 2e + F \frac{\rho_2 v_{s2}}{\rho_1 v_{s1}} = 0. \quad (3.10)$$

Dacă pe interfață cad unde SH, ecuațiile de continuitate ce se obțin sunt:

$$B + D - F = 0; \quad (3.11)$$

$$B - D - F \frac{\rho_2 v_{s2} \cos f}{\rho_1 v_{s1} \cos b} = 0. \quad (3.12)$$

În aceste relații, coeficienții au următoarele semnificații:

A reprezintă amplitudinea undei P incidente;

B - amplitudinea undei S incidente;

C - amplitudinea undei P reflectate;

D - amplitudinea undei S reflectate;

E - amplitudinea undei P refractate;

F - amplitudinea undei S refractate.

Din studiul ecuațiilor (3.3) ... (3.12) se poate trage concluzia că amplitudinea undelor rezultante depinde de unghiul de incidență al undei incidente, de raportul vitezelor undelor și al densităților celor două medii. De aceea, pentru două medii date, amplitudinile undelor rezultante sunt funcție numai de unghiul de incidență.

Determinând amplitudinea undelor reflectate sau refractate, raportate la amplitudinea undei incidente, din ecuațiile (3.3) ... (3.12) se poate observa un lucru interesant și potențial folositor, legat de poziția ecranului față de frontul de undă. Reprezentând grafic aceste funcții, pentru unghiul de incidență între $0^\circ \dots 90^\circ$, fiecare raport este cuprins între un minim și un maxim. De exemplu, pentru unda P incidentă (fig.3.2), în situația când $Z_2 > Z_1$, se observă că unda P - P₁ are un minim

pentru $a = 60^\circ$, de valoare $C/A = 0,2$ din amplitudinea unei incidente. În schimb unda reflectată $P - SV_1$, are un maxim pentru $a = 50^\circ$, în valoare de $D/A = 0,8$.

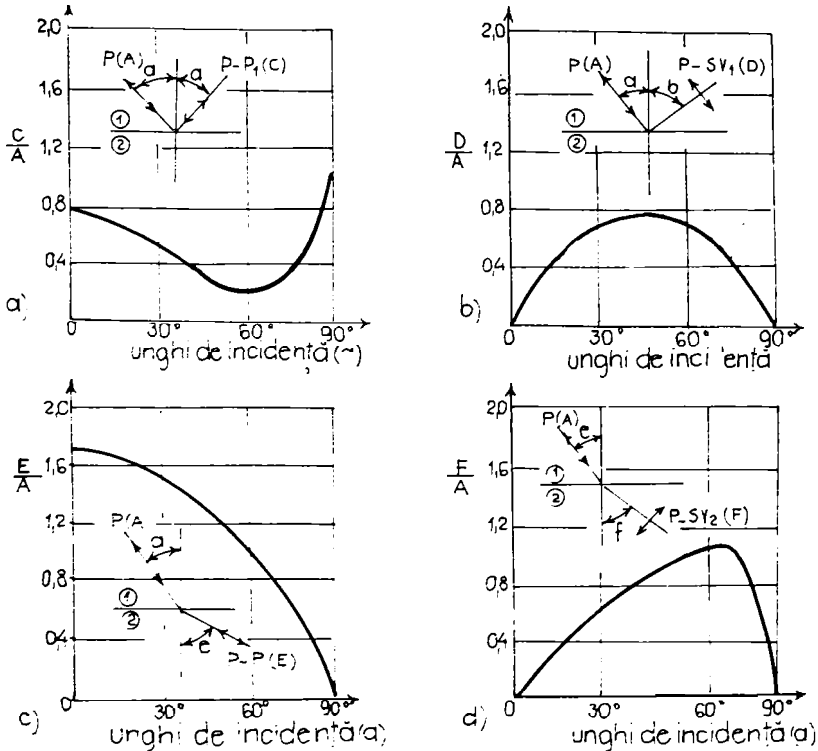


Fig. 3.2 Dependenta raportului amplitudinilor, în cazul unei P incidente, de unghiului de incidență: a) C/A ; b) D/A ; c) E/A ; d) F/A .

În ce privește transmiterea undelor prin interfață, se observă că amplitudinea transmisă este maximă la incidență normală (fig.3.2c), pentru undele $P - P_2$ fiind $E/A = 1$ la unghi incident $a = 60^\circ$, tinzând la 0 pentru $a \rightarrow 90^\circ$. Undele $P - SV_2$, în schimb, au un maxim transmis $F/A = 1,1$ la incidența $a = 70^\circ$.

În figura 3.3 se prezintă reflexia și refracția undelor pe interfață, în aceleași condiții ($Z_2 > Z_1$), pentru unda SV incidentă. Unda reflectată (fig.3.3b) este minimă ($D/B = 0,15$) când incidența SV pe interfață are valoarea $b = 27^\circ$.

Dacă viteza unei reflectate sau refractate este mai mare ca a unei incidente, va exista un unghi critic de incidență (i_{cr}), când unghiul de reflexie sau de refracție va fi de 90° . Pentru a sau $b = i_{cr}$ se naște o undă ce se propagă în lungul suprafeței ecranului, care scade rapid cu îndepărtarea de punctul de incidență. Această perturbație nu transmite energie semnificativă, iar energia unei incidente se partitionează între undele reflectate și refractate rămase.

Pentru unghiuri de incidență mai mari ca cele critice ar rezulta sinusul unghiului de ieșire (reflexie sau refracție) mai mare ca 1, de aceea în ecuațiile (3.3)...(3.12) trebuie introduse funcții complexe de amplitudine. Aceasta însă

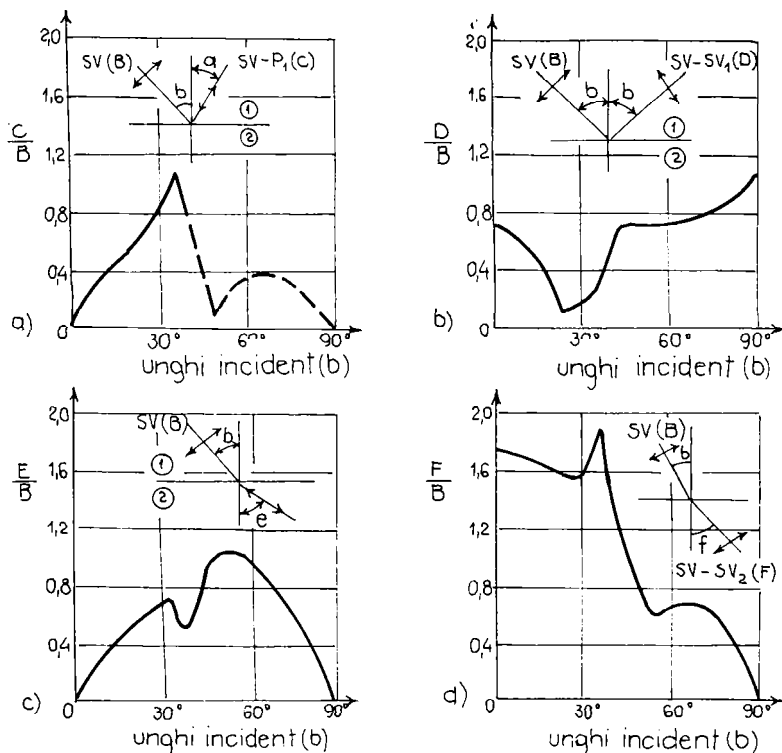


Fig.3.3 Dependența raportului amplitudinilor, în cazul unei SV incidente, de unghiul de incidență: a) C/B; b) D/B; c) E/B; d) F/B.

dublează numărul ecuațiilor ce vor fi rezolvate. Raportul amplitudinilor imaginare găsite, prin rezolvarea unui astfel de sistem de ecuații, nu are nici o semnificație fizică, deoarece nu transmit energie de la suprafața de separație (interfață). Linia întreruptă din figura 3.3a are această semnificație, unghiul critic corespunzător va avea valoarea:

$$i_{cr} = \arcsin\left(\frac{v_{S1}}{v_{P1}} \sin 90^\circ\right) = \arcsin \frac{v_{S1}}{v_{P1}}, \quad (3.13)$$

unghi ce depinde, prin urmare, de raportul vitezelor v_{S1} / v_{P1} . Dar aceste viteze depind de coeficienții Poisson ai celor două medii, așa cum s-a arătat în capitolul 2. Prin urmare i_{cr} va depinde doar de raportul coeficienților Poisson, mărimi ce, așa cum s-a arătat, caracterizează mediul de propagare a undelor elastice, în cazul dat - pământul.

3.1.2 Despre coeficienții de reflexie și de transmisie

Așa cum s-a prezentat în figura 3.1c, la incidența undelor SH pe o interfață, rezultă tot unde SH reflectate (SH - SH₁), precum și unde SH refractate (SH - SH₂).

Scriind continuitatea deplasării și a tensiunii pe interfață, se obțin ecuațiile (3.11) și (3.12). Aceste ecuații, prin rearanjare, dau coeficienții de reflexie și transmisie ai amplitudinii deplasării, după cum urmează:

$$\frac{D}{B} = \frac{\rho_1 v_{s1} \cos b - \rho_2 v_{s2} \cos f}{\rho_1 v_{s1} \cos b + \rho_2 v_{s2} \cos f} \quad (3.14)$$

$$\frac{F}{B} = \frac{2\rho_1 v_{s1} \cos b}{\rho_1 v_{s1} \cos b + \rho_2 v_{s2} \cos f} \quad (3.15)$$

Din relația (3.2) se poate separa egalitatea $v_{s2} \sin b = v_{s1} \sin f$. Dacă $v_{s2} > v_{s1}$ va exista și în acest caz, un unghi critic ce corespunde reflexiei totale a unei SH:

$$i_{cr} = \arcsin v_{s1}/v_{s2}. \quad (3.16)$$

Pentru valori ale unghiului de incidență (b) mai mari ca unghiul critic (i_{cr}), unda SH transmisă (SH - SH₂) se transformă și în acest caz într-o undă plană neomogenă, ce se propagă de-a lungul suprafeței de separație și care transportă o cantitate nesemnificativă de energie.

Cele două funcții (3.14) și (3.15), cuscute și sub numele de *coeficientul de reflexie* ($R_{1,2} = D/B$) și respectiv *coeficientul de transmisie* al amplitudinii deplasării ($T_{1,2} = F/B$), în cazul incidenței normale ($b = f = 0$) au valorile:

$$R_{1,2} = \frac{\rho_1 v_{s1} - \rho_2 v_{s2}}{\rho_1 v_{s1} + \rho_2 v_{s2}} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}; \quad (3.17)$$

$$T_{1,2} = \frac{2\rho_1}{\rho_1 v_{s1} + \rho_2 v_{s2}} = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2}. \quad (3.18)$$

Cazuri particulare:

a. *Adaptarea impedanțelor*, se produce atunci când cele două medii în contact (în speță, terenul și ecranul) au aceleași impedanțe. Dacă $Z_2 = Z_1$, deci $\rho_2 v_{s2} = \rho_1 v_{s1}$, coeficientul de reflexie $R_{1,2} = 0$, iar cel de transmisie $T_{1,2} = 1$. Prin urmare nu va exista undă reflectată, unda incidentă trecând prin interfață fără modificare, ea devenind o undă refractată integral. Această situație este cea mai defavorabilă pentru că un astfel de ecran nu realizează, practic, nici o protecție.

Se poate remarca faptul că egalitatea $Z_2 = Z_1$ nu implică în mod necesar identitatea celor două medii. Dacă densitățile celor două medii (pământ-ecran) diferă, se poate ca vitezele undelor prin cele două materiale să readucă impedanțele la egalitate, fenomen cunoscut sub numele de *adaptarea impedanțelor*. **Prin urmare, în practică, pentru a mări ecranarea, impedanțele vor fi cât mai dezacordate (diferite).**

b. *Rezistență nulă*

Această situație se întâlnește atunci când $Z_2 / Z_1 = 0$. Practic, acest lucru se realizează atunci când *mediul 2 (ecranul) este format din aer* (teoretic - vid), așa cum sunt ecranele deschise, realizate din pereți de palplanșe cu interspațiu liber. În

acest caz, coeficienții de reflexie pentru deplasare și viteză sunt $R_{1,2} = 1$, deci în mediul 1 se va forma o undă staționară pură, cu noduri și ventre, cu un ventru permanent în $x = 0$ (pe interfață) și un nod permanent la $\lambda/4$ distanță de interfață.

Coeficienții de reflexie pentru deplasare și viteză, egali cu 1, fac ca în $x = 0$ aceste mărimi să aibă valori de două ori mai mari, caz confirmat, de exemplu, de măsurătorile seismice de la suprafața pământului, în cazul cutremurelor.

c. Rezistență infinită

Dacă raportul Z_2 / Z_1 este foarte mare, teoretic infinit, punctul $x = 0$ rămâne fix, astfel că $R_{1,2} = -1$. Unda incidentă și unda reflectată se suprapun în $x = 0$, dând deplasare și viteză nule. Pentru fiecare particulă de pământ care se mișcă spre ecran, în lungul lui x , de exemplu, există o alta care tocmai a fost respinsă de acesta și care se mișcă în sens opus. Suprapunerea celor două unde (incidentă și reflectată) va anula deplasarea și viteza, rezultând în $x = 0$ un nod permanent.

În ce privește tensiunea dintre teren și ecran, pe interfață, coeficientul de reflexie a presiunii, de tipul unei "forțe de revenire" este +1. Tensiunea în pământ, în acest caz, are același semn ca și în cazul adaptării perfecte a impedanțelor, dar este de două ori mai mare. Deoarece tensiunea este forța pe unitatea de arie, iar forța este transferul de impuls în unitatea de timp, rezultă că o particulă care lovește un perete rigid transmite un impuls de două ori mai mare decât cel pe care l-ar avea dacă și-ar continua drumul, în lungul axei, fără reflexie. Prin urmare, *asupra ecranului rigid se va exercita o presiune dublă față de cea a unui ecran ce ar avea $Z_2 = Z_1$. Acest lucru face ca ecranele din beton sau beton armat să intre în vibrație, astfel că are loc un transfer de energie la partea inferioară a acestuia, fapt ce îl face să se comporte ca o sursă de vibrații de adâncime.*

3.1.3 Cu privire la expresiile generale ale undelor armonice incidente și transmise

Presupunem că sursa de unde armonice se află la $x = -\infty$ și că transmite unde progresive pe direcția $+x$, iar în $x = 0$ se află, normal pe axă, o interfață creată de ecran, în care impedanța se schimbă de la Z_1 la Z_2 . Unda progresivă incidentă are expresia [24]:

$$\Psi_{\text{inc}}(x,t) = A \cos(\omega t - K_1 x) \quad (3.19)$$

În $x = 0$ această funcție devine:

$$\Psi_{\text{inc}}(0,t) = A \cos \omega t \quad (3.20)$$

Deoarece, la incidență normală, unda reflectată este tot sinusoidală, propagându-se în direcție opusă ($-x$), forma ei, pentru $x < 0$ se obține din forma pentru $x = 0$, înlocuind variabilele $x = 0$ și t prin x și $t + x/v_{\text{p}}$, unde v_{p} este modulul vitezei de fază. Astfel:

$$\Psi_{\text{ref}}(x,t) = R_{1,2} A \cos[\omega(t + x/v_{\text{p}})] = R_{1,2} A \cos(\omega t + k_1 x) \quad (3.21)$$

Deplasarea totală a terenului din fața ecranului $\Psi_1(x,t)$ este dată de suprapunerea deplasărilor produse de unda incidentă și reflectată, astfel:

$$\Psi_1(x,t) = \Psi_{\text{inc}}(x,t) + \Psi_{\text{ref}}(x,t),$$

adică, în general:

$$\Psi_1(x,t) = A \cos(\omega t - k_1 x) + R A \cos(\omega t + k_1 x), \quad (3.22)$$

unde coeficientul de reflexie R este cuprins între -1 și $+1$, depinzând, așa cum s-a arătat, de impedanțele celor două medii în contact și având valoarea $R = R_{1,2}$ pentru deplasare și viteză.

În mediul 2 nu există nimic care să dea naștere unei unde care să se propage în sensul $-x$, prin urmare, unda transmisă prin interfață va fi o undă armonică progresivă, care se propagă în direcția x , de ecuație:

$$\Psi_2(x,t) = T_{1,2} A \cos(\omega t - k_2 x), \quad (3.23)$$

coeficientul de transmitere $T_{1,2}$ luând valorile din relația (3.18).

Când $R \neq 0$ și $R \neq \pm 1$, în fața ecranului nu va fi nici o undă staționară pură dar nici o undă progresivă pură, ci o undă sinusoidală mai generală. Cea mai generală undă sinusoidală, pentru o pulsație dată ω , poate fi scrisă fie ca o suprapunere de unde staționare, fie ca o suprapunere de unde progresive, sau o combinație a acestora.

Această undă va avea ecuația:

$$\Psi(x,t) = A \cos(\omega t + \alpha) \sin kx + B \cos(\omega t + \beta) \cos kx, \quad (3.24)$$

care este o suprapunere de două unde staționare cu nodurile distanțate la un sfert de lungime de undă, având amplitudini și constante de fază diferite. Aceeași undă $\Psi(x,t)$ poate fi scrisă și sub forma următoare:

$$\Psi(x,t) = C \cos(\omega t - kx + \gamma) + D \cos(\omega t + kx + \delta), \quad (3.25)$$

care este o suprapunere de două unde progresive ce se propagă în sensuri opuse, cu amplitudini și constantă de fază diferite.

Prin urmare, sistemul de unde din fața ecranului, dat de ecuația (3.22), este scris ca o suprapunere de două unde progresive ce se propagă în sens opus. Această ecuație se poate scrie la fel de bine ca o suprapunere de două unde staționare. În acest caz ea va avea o relație de forma:

$$\Psi(x,t) = A(1 + R) \cos \omega t \cos kx + A(1 - R) \sin \omega t \sin kx, \quad (3.26)$$

mărimile din ecuație având aceleași semnificații.

3.1.4 Studii privind reflexia și transmisia undelor pe / prin ecran

Pentru acest studiu se va considera cazul cel mai general și anume acela a două interfețe formate de ecran, iar pământul din spatele ecranului diferă de cel din fața acestuia (fig. 3.4). Presupunem că cele două medii de impedanțe Z_1 și Z_3 sunt înfînite, iar ecranul are grosimea B : unda vine de la $x = -\infty$, cade pe ecran în $x = 0$ (prima interfață), se reflectă în mediul 1 și se refractă în ecran. Unda refractată întâlnește interfața 2 (în $x = B$) pe care se reflectă în ecran și se transmite în mediul 3 (Z_3). Unda reflectată în ecran suferă în continuare un proces de reflexie și refracție multiplu.

Considerând cazul cel mai simplu, acela al incidenței normale (chiar dacă pe figura 3.4, pentru urmărirea explicației, s-a prezentat o incidență oarecare) și cel al undelor polarizate orizontal (SH), aceasta nu scade din generalitatea fenomenului. Așa după cum s-a prezentat în capitolul 2, undele R sunt polarizate vertical, ele au

două componente $u(x)$ și $w(x)$ care pot fi considerate în procesul de transmitere ca fiind două unde armonice progresive de sine stătătoare.

În acest caz coeficienții de reflexie pe cele două interfețe vor fi:

$$R_{1,2} = (Z_1 - Z_2)/(Z_1 + Z_2) \quad \text{și} \quad R_{2,3} = (Z_2 - Z_3)/(Z_2 + Z_3) \quad (3.27)$$

Pentru simplificare în continuare se va lucra cu numere complexe, considerându-se și incidența normală, astfel că, dacă unda incidentă are ecuația:

$$\Psi_{inc}(x,t) = A \exp i(\omega t - kx), \quad (3.28)$$

unda reflectată pe interfața 1 va fi:

$$\Psi_{ref}(x,t) = RA \exp i(\omega t + kx); \quad (3.29)$$

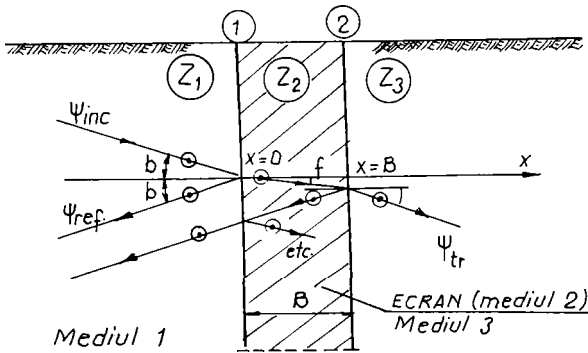


Fig.3.4 Reflexia undelor pe ecran

$$R = R_{1,2} + T_{1,2} R_{2,3} T_{2,1} \exp(-2ik_2B), \quad (3.31)$$

unde:

$$T_{1,2} = 1 + R_{1,2}, \quad T_{2,1} = 1 + R_{2,1} \quad \text{și} \quad R_{2,1} = -R_{1,2} \quad (3.32)$$

(b) În cazul unui număr infinit de reflexii multiple, soluția exactă pentru coeficientul de reflexie este [24]:

$$R = R_{1,2} + \frac{(1 - R_{1,2}^2) R_{2,3} \exp(-i2k_2B)}{1 - R_{2,3} R_{2,1} \exp(-i2k_2B)} \quad (3.33)$$

Prin rearanjare, această expresie poate fi pusă și sub forma:

$$R = \frac{R_{1,2} + R_{2,3} \exp(-i2k_2B)}{1 + R_{1,2} R_{2,3} \exp(-i2k_2B)} \quad (3.34)$$

În cazul coeficienților de reflexie mici (când impedanțele Z_1 , Z_2 , Z_3 au diferențe mici), caz mai puțin important în problema de ecranare, dar foarte important în cel de transmisie, coeficientul de reflexie, în cazul reflexiei slabe, va fi [24],[99]:

$$R = R_{1,2} + R_{2,3} \exp(-i2k_2B). \quad (3.35)$$

După trecerea unei prin ecran rezultă o undă progresivă de ecuație:

în care coeficientul de reflexie în amplitudine este un număr complex care poate fi scris sub forma [24],[99]:

$$R = |R| \exp(-i\delta), \quad (3.30)$$

unde δ este întârzierea de fază din cauza reflexiei.

(a) Dacă se neglijează toate reflexiile, cu excepția celei din $x = 0$ și a primei reflexii din $x = B$, se obține:

$$\Psi_3(xt) = T \exp i[\omega t - k_3(x - B)], \quad (3.36)$$

în care coeficientul de transmisie $T = 1 + R$ pentru deplasare și viteză.

Dacă se ia în considerare intensitatea medie a energiei transmise prin ecran, având în vedere că, în cazul undelor armonice, aceasta este proporțională cu pătratul amplitudinii, se poate defini factorul de reflexie sau de putere reflectantă al interfețelor, prin raportul [99]:

$$|R|^2 = \frac{\text{energia} \cdot \text{reflectată}}{\text{energia} \cdot \text{incidentă}}; |R|^2 \leq 1. \quad (3.37)$$

Pentru transmisie se definește factorul de transmisie prin raportul:

$$|T|^2 = \frac{\text{energia} \cdot \text{transmisă}}{\text{energia} \cdot \text{incidentă}}; |T|^2 \leq 1. \quad (3.38)$$

Dacă ecranul sau, în general, dacă o interfață separă mediul de propagare de un mediu absorbitiv de energie, coeficientul de absorbție este definit prin raportul:

$$|A|^2 = \frac{\text{energia} \cdot \text{absorbită}}{\text{energia} \cdot \text{incidentă}}; |A|^2 \leq 1. \quad (3.39)$$

Conform legii conservării energiei rezultă:

$$|R|^2 + |T|^2 + |A|^2 = 1. \quad (3.40)$$

În general, propagarea undelor prin ecran se consideră că se face fără absorbție de energie, astfel că relația (3.40) devine:

$$|R|^2 + |T|^2 = 1, \quad (3.41)$$

relație ce se poate verifica prin înlocuirea coeficienților din expresiile (3.17) și (3.18).

Prin urmare, fracțiunea din intensitate care nu este reflectată de ecran și care, prin urmare, este transmisă prin acesta, conform legii conservării energiei, are expresia [24]:

$$|T|^2 = 1 - |R|^2 = \frac{1 - R_{1,2}^2 - R_{2,3}^2 + R_{1,2}^2 R_{2,3}^2}{1 + 2R_{1,2} R_{2,3} \cos 2k_2 B + R_{1,2}^2 R_{2,3}^2}. \quad (3.42)$$

Dacă terenul din spatele ecranului are aceeași impedanță cu cel din fața acestuia ($Z_3 = Z_1$), coeficientul de transmisie (3.42) va fi:

$$|T|^2 = \frac{(1 - R_{1,2}^2)^2}{1 + 2R_{1,2}^2 \cos 2k_2 B + R_{1,2}^4}. \quad (3.43)$$

Introducând în relația (3.42) coeficienții de reflexie intermediari pe cele două interfețe și rearanjând, se obține [24],[27],[34]:

$$|T|^2 = \frac{4}{4 \cos^2 k_2 B + (Z_1 / Z_2 + Z_2 / Z_1)^2 \sin^2 k_2 B}. \quad (3.44)$$

Observații:

Observații interesante se pot obține pentru câteva cazuri limită, și anume:

(a) Dacă impedanțele $Z_1 = Z_3$ și $Z_2 \gg Z_1$, adică acela al **ecranului** înfinit **rigid** față de terenul înconjurător, coeficientul de reflexie $R = -1$, iar cel de

transmisit $T = 0$, prin urmare, teoretic, **acesta ar fi un ecran ideal ce nu ar transmite nici o energie în spatele acestuia.**

(b) Dacă **ecranul** este **deschis**, de tipul ecranului cu pereți din palplanșe și interspațiu din aer, coeficientul de reflexie este maxim ($R = 1$), iar prima interfață a ecranului va avea o deplasare și o viteză de două ori mai mari decât fără existența acestuia. Transmisia însă este minimă și în acest caz (teoretic $T = 0$). Deci, **și acest ecran ar realiza ideal scopul de izolare a energiei undelor.**

Concluzia practică ce rezultă din acest studiu este că, pentru a realiza un ecran cât mai eficient, trebuie ca impedanța materialului ecranului să fie cât mai deferită de cea a terenului în care acesta este montat. Sub acest aspect ecranele din beton (propuse de Haupt și Prange), cele deschise sau noroioase (propuse de Barkan, Dolling și Woods), precum și cele celulare (propuse de autor) răspund cel mai bine acestor observații. De altfel, măsurătorile efectuate pe astfel de ecrane sunt în concordanță cu studiile teoretice prezentate aici.

3.2 STUDII PRIVIND DIFRACTIA UNDELOR LA PROTECȚIA PRIN ECRANARE

Fenomenul de difracție a undelor apare ca o consecință directă a principiului Huygens-Fresnel și constă, în esență, în ocolirea de către unde a obstacolelor, atunci când dimensiunile acestora sunt comparabile, ca ordin de mărime, cu lungimea de undă. Acest principiu spune că orice punct al mediului, la care a ajuns frontul de undă, constituie o nouă sursă de oscilații, care se propagă în aceeași direcție. Înfășurătoarea tuturor acestor suprafețe de undă elementare dă noul front de undă [24],[54],[99].

Deoarece, în general, așa cum s-a arătat în capitolul 2, lungimile de undă ale oscilațiilor provenind din surse de suprafață (trafic, vibrații tehnologice etc.) sunt de ordinul metrilor, deci comparabile cu dimensiunile ecranelor ce vor proteja construcții sau instalații, este de așteptat ca undele să ocolească aceste ecrane și, prin urmare, să producă perturbații și după execuția ecranării.

Difracția undelor se poate face:

- a) prin ecran, dacă în corpul acestuia rămân goluri ca o greșeală de execuție;
- b) pe la capetele ecranului, când ecranul nu înconjoară complet sursa de vibrații sau obiectul de protejat;
- c) pe sub ecran, când frontul undei incidente atinge baza ecranului.

În continuare, fiecare dintre aceste aspecte posibile va fi tratată ca o problemă de sine stătătoare.

3.2.1 Studii privind difracția undelor prin ecran

Conform principiului Huygens-Fresnel, dacă în ecran există o fantă (deschidere) aceasta se va comporta la vibrații ca o nouă sursă de oscilații, de la care undele se vor propaga în toate direcțiile (fig.3.5). Intensitatea undei într-un punct situat la distanța r (fixă) de ecran, punct ce face unghiul θ cu direcția de propagare a undelor incidente, are valoarea [24], [99]:

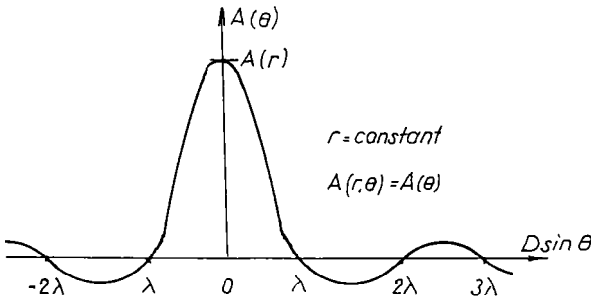


Fig. 3.6 Amplitudinea deplasării diferența totală de fază, care pentru o singură fantă are expresia:

$$I(r, \theta) = I_{\max} \frac{\sin^2 \frac{1}{2} \Phi}{\frac{1}{2} \Phi} \quad (3.45)$$

iar amplitudinea deplasării în același punct (fig.3.6) este:

$$A(r, \theta) = A(r) \frac{\sin \frac{1}{2} \Phi}{\frac{1}{2} \Phi} \quad (3.46)$$

relații în care Φ reprezintă

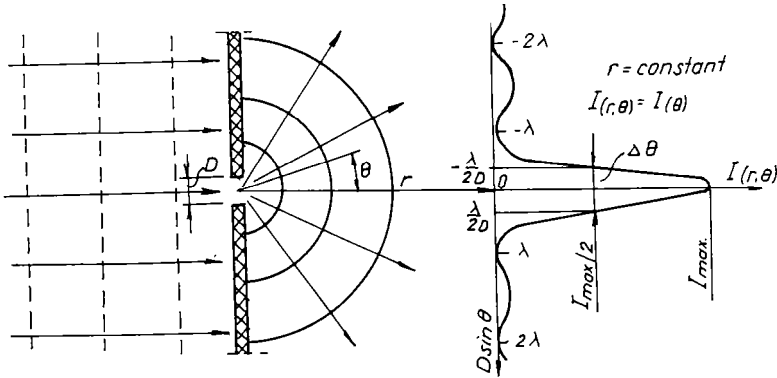


Fig.3.5 Difracția undelor prin ecran

$$\Phi = 2\pi \frac{D \sin \theta}{\lambda} = kD \sin \theta \quad (3.47)$$

λ fiind lungimea de undă, iar k - numărul de undă.

Intensitatea unei reprezintă energia totală transmisă de undă în unitatea de timp, prin unitatea de suprafață, perpendicular pe direcția de propagare:

$$I = \frac{1}{S} \frac{dE}{dt} = \frac{P}{S} \quad (3.48)$$

unde P este puterea, iar S suprafața.

Unitatea de măsură în S.I. a intensității este watt/m². În cazul undelor armonice, relația de calcul a intensității este:

$$I = \rho v \omega^2 A^2 \cos^2(\omega t - kx) \quad (3.49)$$

unde v este viteza de fază. Deoarece media în timp a funcției $\cos^2(\omega t - kx)$ este egală cu 1/2, intensitatea medie este:

$$I_{med} = \rho v \omega^2 A^2 / 2 = Z \omega^2 A^2 / 2 \quad (3.50)$$

unde $Z = \rho v$ reprezintă impedanța mediului de propagare (în cazul de față - pământul).

Lărgimea unghiulară (deschiderea unghiulară) a fascicolului radiant, pentru ca intensitatea maximă să fie jumătate ca valoarea (fig.3.6), este:

$$\Delta\theta = \lambda/D \quad (3.51)$$

Dacă pe ecranul având o deschidere D cade normal un front de unde plan, în spatele ecranului se va forma un fascicol de unde (fig.3.7) care, pentru un punct

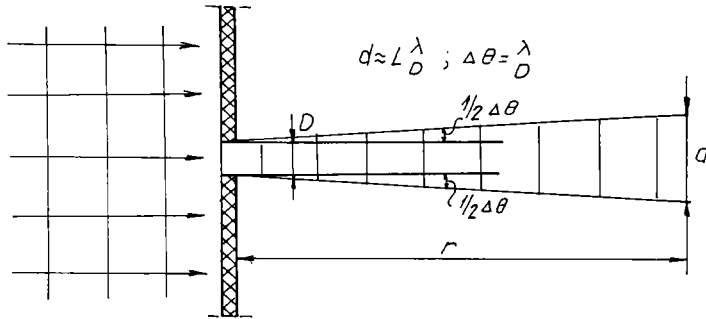


Fig.3.7 Deschiderea unghiulară a fascicolului în spatele ecranului

situat la distanța r de ecran, pe direcția de propagare a undelor, în care intensitatea undei scade la jumătate din valoare, va avea lărgimea:

$$l = D + r \lambda/D. \quad (3.52)$$

Deoarece, în general, $D \ll r$ se poate scrie că:

$$l \cong r \lambda/D. \quad (3.53)$$

Prin urmare, existența unei fante sau găuri în ecran, tehnologice sau ca o greșeală de execuție, ridică problema transmiterii unei părți din energia undei incidente prin această deschidere. Maximul principal al oscilației ce apare, în cazul unei singure fante, se află pe direcția fascicolului undei incidente ce trece prin fantă.

În cazul existenței a două sau mai multe deschideri prin ecran, figura de interferență ce apare se va afla prin suprapunerea efectelor difracției prin fiecare fantă. Maximul principal de la o deschidere se poate suprapune peste maximul de alt ordin, de la o altă deschidere, perturbațiile rezultate în spatele ecranului putând fi mult mai mari. Acest lucru se poate întâmpla mai ales în cazul undelor incidente cu un spectru larg de frecvențe.

Prin urmare, este de reținut faptul că *orice deschidere* (fantă sau orificiu) *existentă în ecran va reduce din eficiența ecranării*. Acest pericol există mai ales la ecranele realizate prin turnare sub noroi bentonitic, sau al ecranelor din beton plastic. De asemenea, la execuția ecranelor prin forare, după tehnologia pereților mulați, se va ține seama de acest aspect, adică acela al rămânerii unei fante între piloți la forare sau la turnare. *Se recomandă deci ca ecranele să fie executate cât mai continuu, recomandabil cu tehnologia de execuție a baretelor sau a pereților*

îngropați, turnați sub noroi bentonitic, la care săparea să se execute cu excavatorul cu cupă inversă [46],[70], [91].

3.2.2 Studii privind difracția undelor pe la capetele ecranului

Dacă un front de unde plane cade normal pe ecran, pe la capetele ecranului se produce o difracție a undelor. Imediat în partea opusă a frontului undelor incidente, în spatele ecranului, se formează o zonă de "umbră", zonă care, în dorința de protecție a unei construcții prin ecranare, este de cea mai mare importanță.

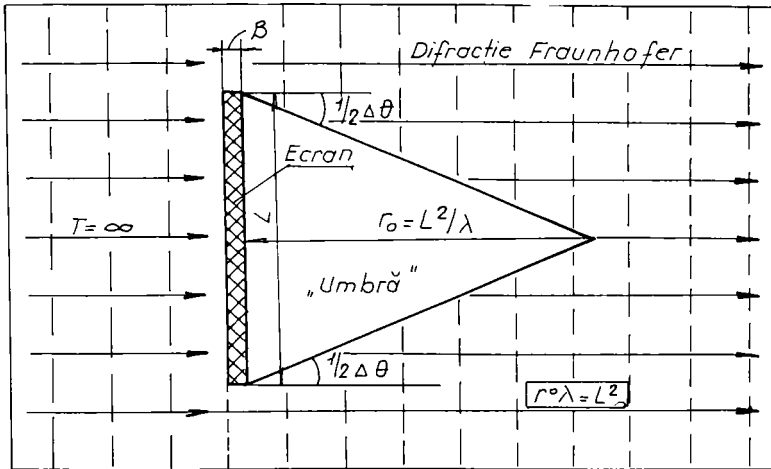


Fig.3.8 Difracția undelor pe la capetele ecranului

Fenomenul de formare a umbrei se produce ca și cum ecranul ar fi el însuși o sursă de unde de același tip, având aceeași amplitudine, dar defazate cu 180° față de undele incidente. Prin suprapunerea lor, cele două unde se anulează. În spatele ecranului obținându-se zona de umbră. Problema care se pune este de a determina până la ce distanță de ecran se menține umbra.

Conform celor prezentate în figura 3.8, la capetele ecranului difracția se face după o semilărgime unghiulară $\Delta\theta/2$. **Distanța în spatele ecranului la care se anulează umbra (r_0)** rezultă din condiția ca lărgimea fascicolului (l) să fie egală cu lungimea L a ecranului. Prin urmare, conform relației (3.53), făcând notațiile corespunzătoare, se obține:

$$r_0 \lambda / L = L \quad (3.54)$$

sau altfel scris:

$$\boxed{r_0 = L^2 / \lambda} \quad (3.55)$$

Prin urmare, la o distanță de ecran $r < r_0$, în spatele acestuia se va forma o zonă de protecție, iar la distanță mai mare ($r > r_0$), influența ecranului este nesemnificativă, vibrațiile producându-se ca și cum nu ar exista ecran.

3.2.2.1 Influența distanței sursă-ecran

Vom considera, în prima etapă, diferite poziții ale ecranului față de sursa de vibrații. În orice poziție însă s-ar afla ecranul, distanța la sursă este normală pe mijlocul ecranului. Se pune problema de a afla cum se va modifica suprafața protejată de ecran în acest caz.

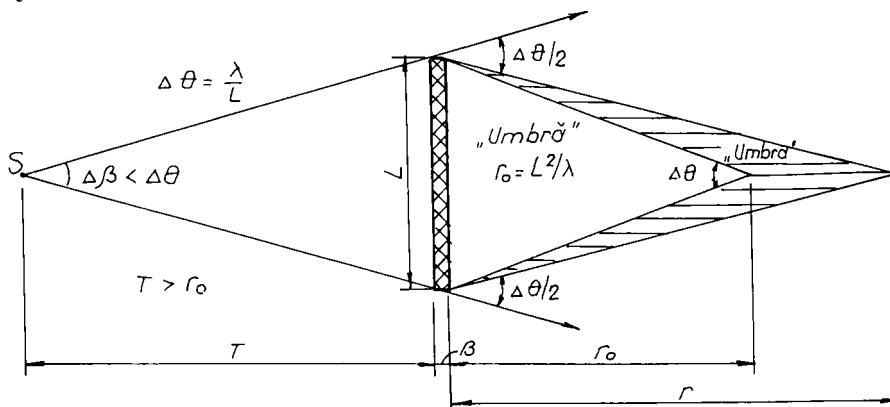


Fig.3.9 Modificarea umbrei la apropierea sursei de ecran

Determinarea zonei de protecție cu relația (3.55) se poate face atunci când frontul de undă poate fi considerat că provine de la o undă plană. Teoretic, acest lucru se întâmplă atunci când sursa este la infinit față de ecran, așa cum este prezentat în figura 3.8.

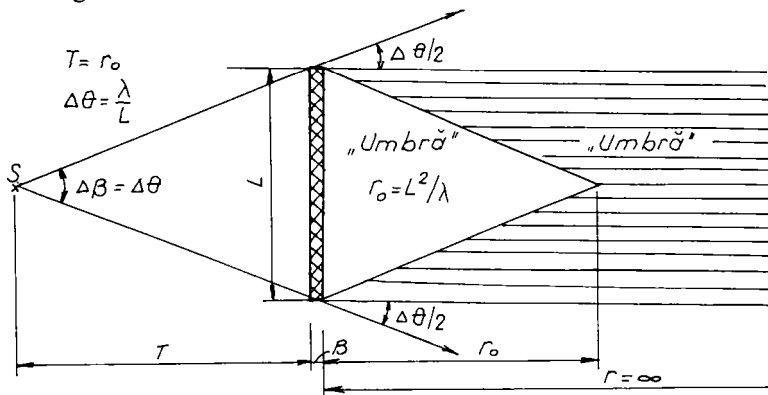


Fig.3.10 Umbra ecranului când sursa se află la distanța $T = r_0$

Dacă ecranul se apropie de sursă, umbra ecranului începe să crească, astfel că atunci când distanța sursă-ecran (T) este mai mare ca r_0 , umbra este limitată în spatele ecranului, având lungimea r (fig.3.9).

Dacă sursa se apropie de ecran până când $T = r_0$, planele de difracție sunt

paralele și normale pe ecran (fig.3.10), umbra se întinde în acest caz până la infinit în spatele ecranului.

Dacă $T < r_0$, umbra este tot infinită, dar limitată de două drepte divergente ce pleacă din capetele ecranului și care fac unghiul $\Delta\theta/2$ cu unda incidentă (fig.3.11).

Dacă sursa înconjoară parțial ecranul (fig.3.12), umbra (zona de protecție) este tot infinită și face aceleași unghiuri $\Delta\theta/2$ cu direcția undelor ce trec pe la capetele ecranului.

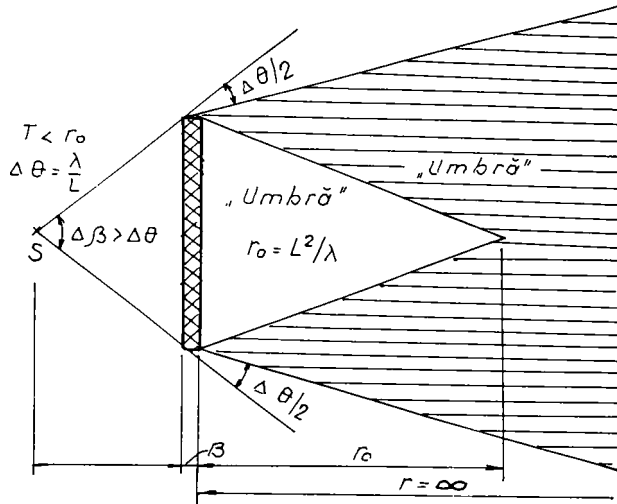


Fig.3.11 Zona de protecție a ecranului când sursa se află la distanța $T < r_0$

În izolarea unor construcții sau instalații față de vibrațiile transmise prin pământ, poziția sursei de vibrații, în izolarea pasivă, de cele mai multe ori nu este fixă. Acest lucru se întâmplă mai ales la sursele mobile de vibrații, așa cum sunt cele din traficul rutier. Pentru a asigura o zonă de protecție față de vibrațiile provenind din surse mobile ce se deplasează normal pe ecran, recomandăm ca zona de protecție să fie cea determinată de lungimea umbrei pentru cazul unei unde plane (r_0). Această recomandare este în acord cu rezultatele experimentale obținute de Woods [111], [139] și Haupt [51], [52] și răspunde și principiului de proiectare care consideră luarea în calcul a situației celei mai defavorabile ce poate apărea în exploatarea construcției.

Aspectele teoretice prezentate le vom corela cu datele experimentale oferite de Woods (1968), [111], expuse în capitolul 1, date obținute prin măsurători pe ecrane deschise. În figura 3.13 prezentăm o diagramă contur obținută de acesta pentru cazul izolării pasive față de undele R, având frecvența de 300 Hz și $\lambda_R = 0,5$ m. Dimensiunile ecranului folosit sunt: lungimea $L = 2,40$ m, adâncimea $H = 1,20$ m.

Tinând seama de relația (3.55), rezultă în spatele ecranului zona de umbră, a cărei lungime r_0 este :

$$r_0 = 2,40^2 / 0,5 = 11,50 \text{ m.}$$

Semilărgimea unghiulară $\Delta\theta/2 = \lambda/2L = 0,5/2 \times 2,4 = 1/9,6$. Distanța sursei de ecran este de 3,05 m (10 picioare), ceea ce este suficient pentru a fi îndeplinite

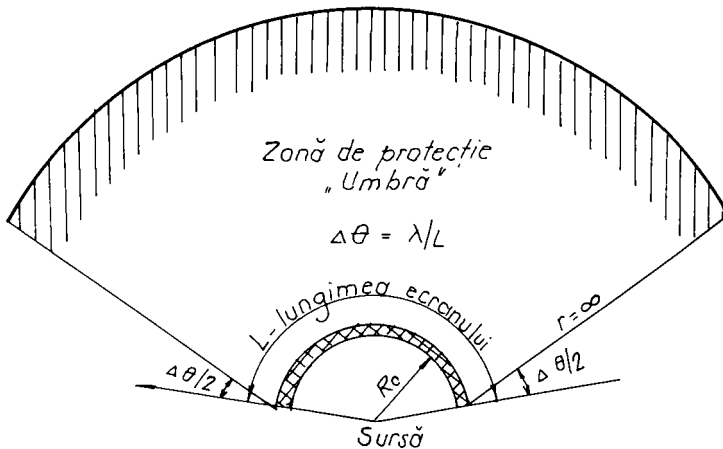


Fig.3.12 Zona de protecție când $T < r_0$

condițiile acceptate de Lysmer (1969), [63] (distanța sursă-ecran să fie mai mare ca $2,5\lambda$), Prin urmare, măsurătorile s-au făcut pentru cazul unui ecran aflat în câmp îndepărtat. Dacă se duce semilărgimea unghiulară de difracție pe la capetele

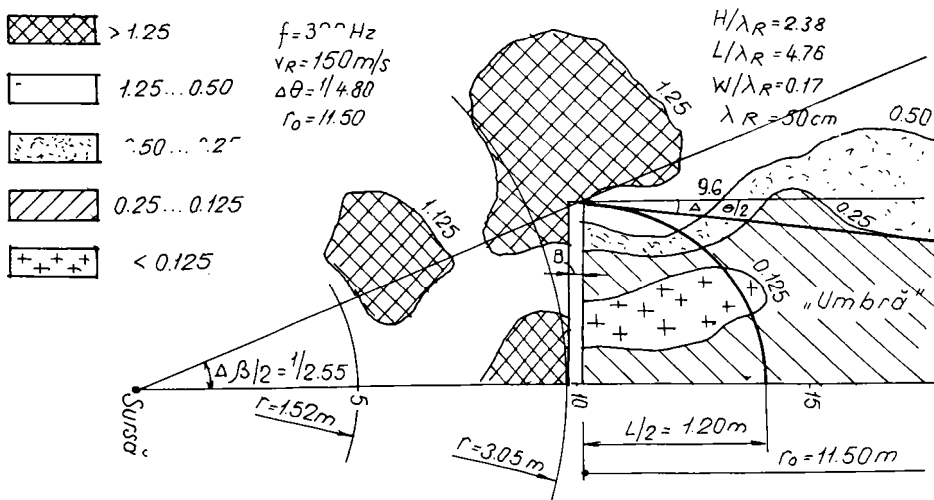


Fig.3.13 Diagramă contur în izolare pasivă, după Woods[111] ecranului, se observă că zona de umbră rezultată se află pe curba raportului amplitudinilor, cu și fără ecran (A/A_0), de 0.25. Acest lucru este în acord cu

recomandările făcute de toți autorii care au studiat fenomenul de ecranare [36], [51], [102], [111].

O altă diagramă contur, după același autor, dar ecranul deschis având dimensiuni mai mici ($L = 0,90$ m, $H = 0,60$ m) și aceeași frecvență de lucru, respectiv lungime de undă, este prezentată în figura 3.14. Distanța sursă-ecran este

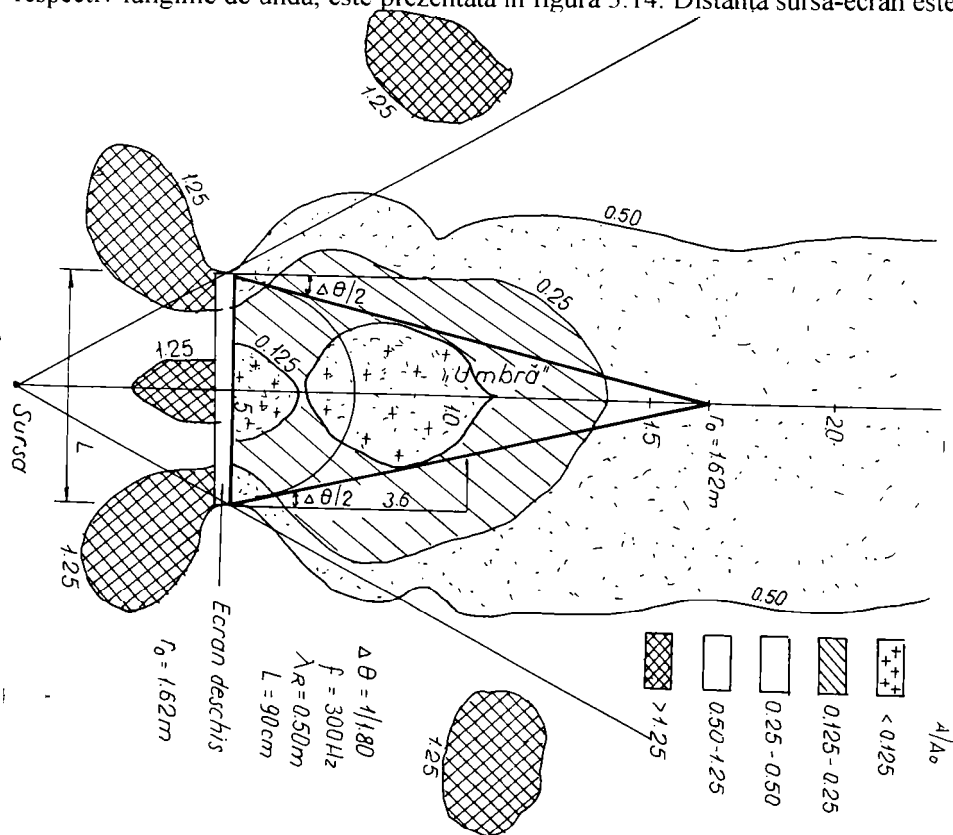


Fig.3.14 Diagramă contur la izolarea pasivă cu ecran deschis[111]

mai mică (aproximativ $3\lambda_R$), deci ecranul se află tot în câmpul îndepărtat.

Unghiul de difracție este $\Delta\theta = 1/1,80$, iar lungimea umbrei este $r_0 = 1,62$ m. După cum se vede din figură, cele afirmate anterior sunt valabile și în acest caz, umbra aflându-se tot în interiorul conturului de 0,25.

Recomandarea făcută de Woods, în cazul izolării pasive, este aceea că *zona protejată prin ecranare s-ar afla în spatele ecranului, în interiorul unui semicerc având drept diametru ecranul*, semicerc reprezentat de altfel pe cele două figuri. Se pare totuși că pentru o sursă de vibrații normală pe mijlocul ecranului, așa cum au fost cele din exemplele prezentate, luarea în considerare a acestui mod de determinare a zonei protejate nu ar avea nici un suport teoretic. După cum se vede și din diagramele contur prezentate în cele două exemple de izolare pasivă, conturul

având raportul amplitudinilor de 0,25 se află cu mult în afara semicercului. Prin urmare, zona de protecție (umbra) calculată considerând aspectele de difracție a undelor pe la capetele ecranului este mult mai aproape de realitate și se bazează pe un suport teoretic mult mai solid.

În cazul izolării active, ecranul înconjoară sursa total sau parțial. După același autor [111], pentru a-și îndeplini rolul de protecție, lungimea unghiulară a ecranului trebuie să fie de cel puțin 180° , iar zona de protecție efectivă se află prin ducerea a două drepte la 45° de la capetele ecranului spre interior, unghiuri având ca vârf sursa (fig.3.15).

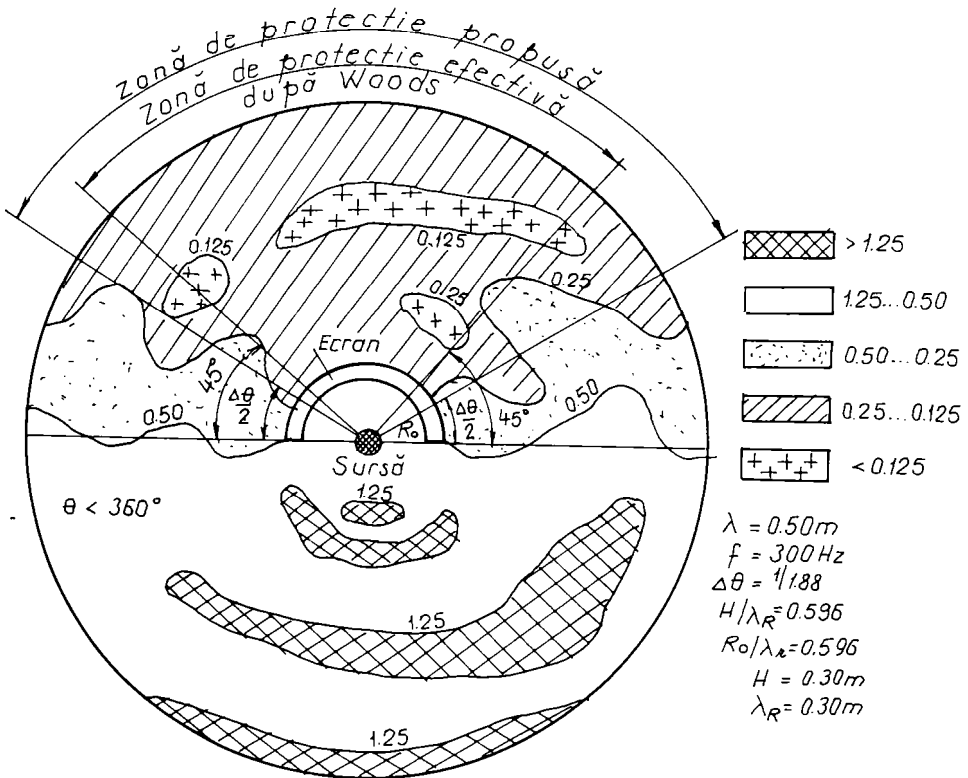


Fig.3.15 Diagrame contur la izolare activă [111]

Calculând deviația unghiulară pentru acest caz $\Delta\theta = 1/1,88$ rad. ceea ce corespunde unei deviații unghiulare de 28° . Această deviație corespunde însă unui unghi ce are vârful pe capetele ecranului. Se vede deci că recomandare făcută de Woods (45°) este mult prea acoperitoare.

Pe baza studiului prezentat recomandăm ca, în cazul izolării active, zona de protecție să se afle folosind deviația calculată analitic cu relația (3.55), măsurată din centrul sursei, spre interior față de capetele ecranului, așa cum se vede în

figura 3.15. Măsurarea unghiului de deviație din centrul sursei este , desigur, acoperitoare. Aceasta simplifică însă lucrurile în proiectare și înlătură fenomenele necontrolabile ce se produc la capetele ecranului, și ne gândim aici mai ales la ecranele rigide, care, așa cum a arătat studiul făcut Haupt [52], transmit spre margini o parte din energia frontului de undă ce cade pe ecran.

3.2.2.2 Influența deplasării sursei paralel cu ecranul

Nu de puține ori, în practică, sursa de vibrații se deplasează paralel cu ecranul . Aceasta este, de exemplu, situația perturbațiilor provenite din traficul rutier, când drumul trece prin apropierea unei clădiri. Vibrațiile transmise prin teren

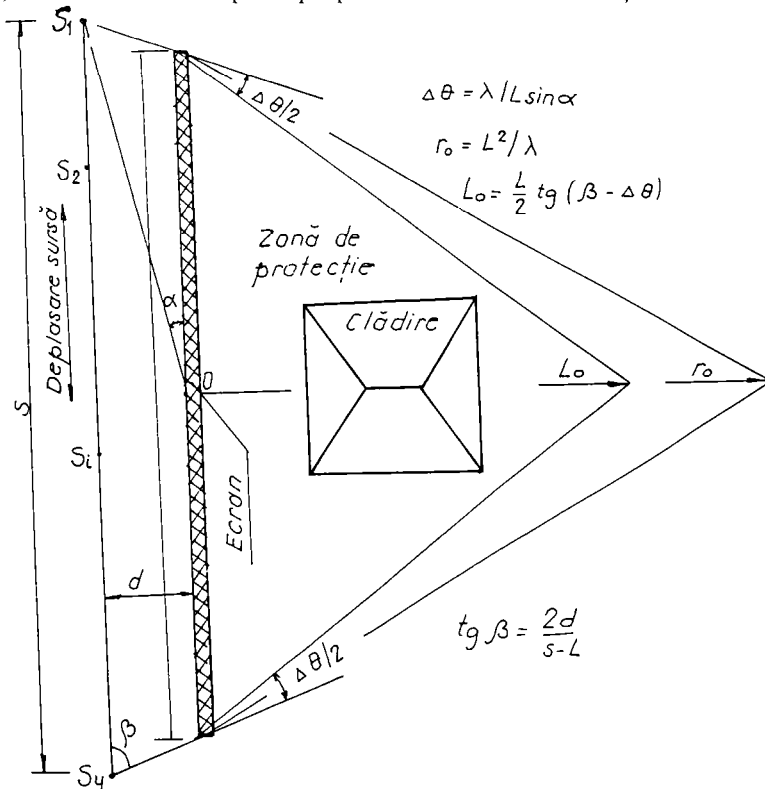


Fig.3.16 Zona de protecție la deplasarea sursei paralel cu ecranul

pot perturba buna desfășurare a activității în aceste clădiri, sau pot avea efect nociv asupra oamenilor ce trăiesc sau își desfășoară activitatea în acestea. Alteori, vibrațiile induse în clădiri pot avea efect defavorabil asupra structurii de rezistență (mai ales la clădiri vechi, monumente etc.), sau asupra unor componente ale acestora (tencuieli, ziduri etc.).

Important este, și în acest caz, determinarea lungimii ecranului sau a formei acestuia, pentru a asigura protecția necesară.

Sursa de vibrații este mobilă, prin urmare există o poziție (S) a acesteia față de ecran, de la care perturbațiile de o anumită intensitate devin dăunătoare. Prin urmare, va trebui să se determine poziția sursei față de clădire, de la care aceste perturbații depășesc limita admisă. În figura 3.16 notăm cu S_1 și S_n aceste puncte, sursa de vibrații putându-se deplasa pe direcția acestora. Desigur că sursa poate trece și dincolo de intervalul S_1, S_n , dar atunci, așa cum s-a arătat, datorită distanței mari, energia unei incidente se pierde prin dispersie geometrică și amortizare de material, așa cum s-a arătat în capitolul 2.

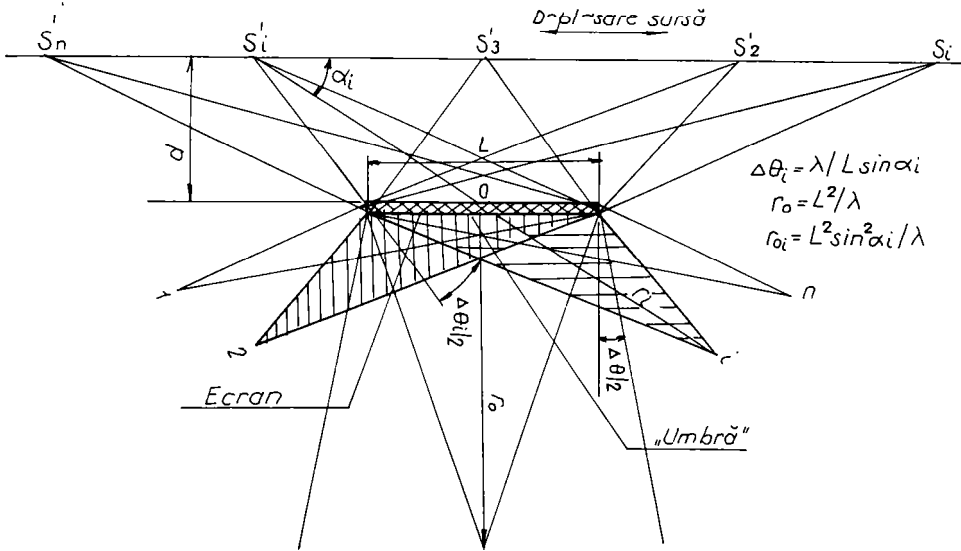


Fig.3.17 Formarea zonei de protecție la diferite poziții ale sursei

Cunoscând distanța s dintre cele două puncte și dimensiunile construcției (fig.3.16), prin iterare se poate determina lungimea L a ecranului, care să asigure lungimea necesară a umbrei (L_0), folosind relația:

$$L_0 = (L/2) \operatorname{tg}(\beta - \Delta\theta) ; \quad (3.56)$$

în care deviația prin difracție $\Delta\theta$ depinde de poziția sursei față de ecran, poziție exprimată prin unghiul α , astfel că:

$$\Delta\theta = \lambda / L \sin \alpha \quad (3.57)$$

Nu de puține ori, în practică, poziția ecranului față de direcția de deplasare a sursei este dictată din considerente de arhitectură, de poziția unor construcții învecinate etc. De asemenea, nici execuția unui ecran de lungimea dorită nu este întotdeauna posibilă, astfel că rezolvarea problemei se poate face printr-un ecran ce înconjoară parțial construcția sau, în general, obiectivul de protejare. La o astfel de soluție, de ecran ce înconjoară parțial clădirea, a recurs, de altfel, Dolling și Neumeuer, 1963[111], pentru izolarea unei clădiri față de vibrațiile provenind de la un metrou ce circula în apropiere, așa cum s-a prezentat de altfel în capitolul 1.

Determinarea analitică sau prin măsurători a poziției punctelor S_1 și S_n (vezi

cap.2) este obligatorie, deoarece, pentru poziția sursei ce se depărtează înafara acestui domeniu, zona de protecție se reduce din ce în ce mai mult, astfel că, pentru sursa situată, teoretic, la infinit, zona protejată se reduce la zero (fig.3.17). Aceasta ca urmare a faptului că, pentru sursa mobilă aflată de o parte sau de alta a normalei pe mijlocul ecranului, zona de protecție se obține prin intersecția suprafețelor corespunzătoare fiecărei poziții a sursei de vibrații.

3.2.3.Studii privind difracția undelor pe sub ecran

O sursă de vibrații aflată la suprafața pământului va transmite în teren unde P, S, R (vezi cap.2). Un ecran așezat în calea acestor unde va produce fenomene de

În figura 3.18 este prezentată schematic această situație. Pentru surse de vibrații aflate la suprafața pământului, unghiul de vedere al ecranului φ_m este întotdeauna pozitiv, prin urmare frontul de undă va ataca ecranul de sus în jos, iar când sursa este departe de ecran (teoretic la infinit), vom fi în cazul unde plane.

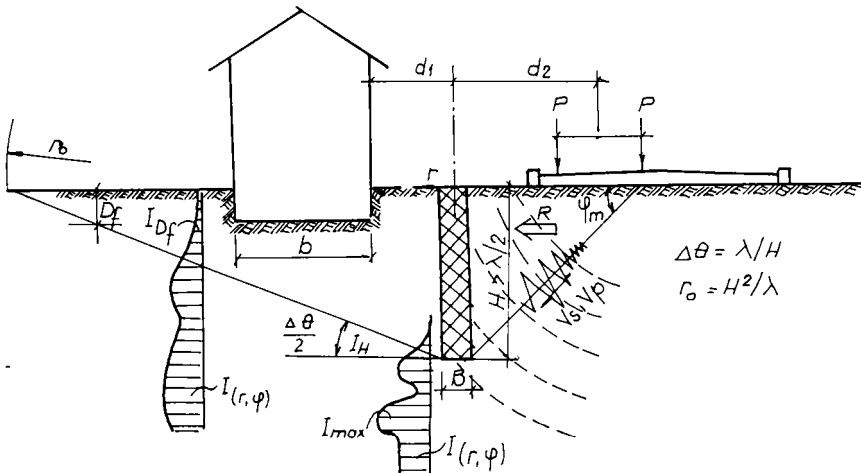


Fig.3.18 Difracția undelor pe sub ecran

Deoarece undele R sunt cele care produc cele mai mari perturbații, așa cum s-a arătat în capitolul 2, iar aceste unde se propagă la suprafața pământului, ele vor ataca ecranul după modelul de unde plane atunci, când sursa se află în câmp îndepărtat.

Deviația unghiulară prin difracție este, așa cum s-a arătat în paragraful 3.2.2, de valoare $\Delta\theta$, care în acest caz va fi:

$$\Delta\theta = \lambda/H, \quad (3.57)$$

în care H este adâncimea ecranului.

Lungimea umbrei, pentru undă plană incidentă, va fi:

$$r_0 = H^2 / \lambda \quad (3.58)$$

Deoarece undele R sunt cele care se propagă cu viteza cea mai mică, pentru aceeași frecvență a sursei rezultă că aceste unde vor avea lungimea de undă cea mai mare. Prin urmare, în calculele de difracție a undelor prin ecran, pe la capetele ecranului, cât și pe sub ecran, aceste unde sunt cele ce vor fi luate în considerare.

Dacă sursa de vibrații se apropie de ecran, frontul de undă din apropierea ecranului (câmp apropiat) nu va mai fi plan, ci sferic. Prin urmare, zona de protecție se modifică, așa cum se vede în figura 3.19. Valoarea minimă a acestei zone se obține atunci când sursa este la infinit.

După caz, deschiderea unghiulară prin difracție va fi:

$$\Delta\varphi_1 = \lambda/H \sin \alpha_1, \quad (3.59)$$

în care α_1 este unghiul făcut de sursă cu mijlocul ecranului.

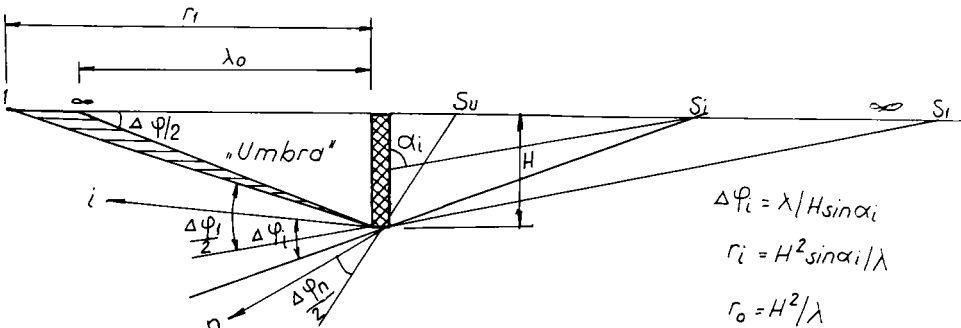


Fig.3.19 Modificarea zonei de protecție la deplasarea sursei

Lungimea umbrei, pentru diferite poziții ale sursei este:

$$r_d = H^2 \sin^2 \alpha_1 / \lambda, \quad (3.60)$$

care are valoarea minimă teoretică (r_0) când unda devine plană. În realitate, când sursa se apropie de ecran, deviația prin difracție se face cu $\Delta\theta/2$, deviație considerată de la direcția razei unei ce trece pe la baza ecranului. Prin urmare, în realitate, umbra este mult mai mare, așa cum se vede în figura 3.19. Valoarea cea mai mică a umbrei este cea dată de relația (3.58), adică aceea a unei plane ce cade normal pe ecran. De aceea, în calculele de ecranare se va lua în considerare zona de protecție dată de această relație, ceea ce va constitui situația cea mai defavorabilă.

Analizând relația (3.58), se poate observa că, spre deosebire de relația (3.55) care determină umbra în plan orizontal, valoarea rezultată a umbrei determinată cu această relație este mult mai mică, pentru o aceeași lungime de undă, deoarece la numărătorul fracției se află adâncimea (H) a ecranului și nu lungimea acestuia (L), care, așa cum se întâmplă în realitate, este mult mai mică. Prin urmare, la ecrane puțin adânci, există riscul difracției undelor pe sub ecran, mai ales la unde ce au lungimea de undă mare.

Aceasta explică, în parte, de ce ecranarea nu poate fi folosită în protecția antiseismică, chiar considerând că undele seismice ar fi numai vibratu de

suprafață, ce s-ar transmite prin depozitul sedimentar de la suprafața scoarței, depozit în care, cu mici și neînsemnate excepții, sunt fondate majoritatea construcțiilor. Nu trebuie însă uitat că unda seismică se propagă prin roca tare de la bază, iar vibrațiile construcțiilor la seism, în majoritatea cazurilor, sunt produse de vibrațiile straturilor sedimentare de deasupra, prin excitarea lor de către roca de bază pe care se reazemă.

În cazul surselor de suprafață, de proveniență industrială, trafic etc., lungimea de undă este de ordinul metrilor, așa cum s-a arătat în capitolul 2. Aceste unde se propagă la suprafața pământului și au energii incomparabil mai mici ca seismele. Deci, se poate pune problema ecranării lor, ca o măsură de protecție antivibratorie.

Analizând relația (3.58), se constată că, pentru a mări zona de protecție, ar fi necesar un ecran cât mai adânc. În cazul frecvențelor joase, însă, chiar la surse tehnologice de vibrații sau trafic, lungimea de undă are ordinul de mărime de 5...10 metri sau chiar mai mult. Prin urmare, aceste unde riscă să ajungă prin difracție în spatele ecranului, la adâncimi obișnuite de execuție ale acestora. În aceste cazuri, pentru a mări zona de protecție trebuie, așa cum se vede și din figura 3.19, ca ecranul să se apropie de sursă (ecranare în câmp apropiat), pentru a nu fi nevoiți să executăm ecrane foarte adânci.

Nu este mai puțin adevărat că, așa cum s-a arătat în capitolul 2, undele R se propagă într-un strat superficial al scoarței terestre ce nu depășește $1,4\lambda_R$ adâncime. Toți autorii de studii sau realizări de ecrane, menționați în lucrare, consideră că această mărime este suficient de mare pentru a realiza o protecție eficientă.

În testele de izolare activă, această valoare a adâncimii poate scădea, după recomandările făcute de Woods, [111], la $0,6\lambda_R$, ceea ce poate aduce simplificări și economii considerabile la execuția ecranelor.

Un alt aspect al problemei, referitor la adâncimea ecranelor, este cel legat de obiectul de protejat. După cum se știe, sunt unele instalații sensibile ce pot fi deranjate în funcționare, la care nu amplitudinea deplasării este cea care produce perturbații, ci accelerația vibrațiilor. Aceasta este situația, în special, a laboratoarelor metrologice, optice, cu aparate sensibile etc. Dar accelerații mari dau vibrațiile cu frecvențe ridicate (amplitudinea accelerației este proporțională cu pătratul pulsației). Crescând însă frecvența, pentru undele ce se transmit prin același teren de fundare și care au o viteză aproximativ constantă într-un anumit domeniu de frecvențe, rezultă că lungimea de undă va fi mică. Prin urmare, în aceste cazuri, ecranarea are o eficiență maximă, pentru adâncimi acceptabile ale ecranelor.

CAPITOLUL IV

CERCETĂRI EXPERIMENTALE EFECTUATE PE ECRANE RIGIDE

4.1 CERCETĂRI ÎNTEPRINSE PE UN ECRAN DIN BETON ARMAT

4.1.1 Considerații generale privind ecranele din beton

Așa cum s-a arătat în capitolul 1, ecranele din beton simplu sau armat fac parte din categoria ecranelor rigide, adică acelea la care caracteristicile elastice, și în special modulul de elasticitate și viteza undelor, sunt mai mari ca cele ale terenului de fundare, teren ce constituie mediul de propagare al undelor care provin de la o sursă de vibrații perturbatoare.

Deoarece pe șantier cel mai folosit material este betonul, realizările cele mai frecvente de ecrane și cele mai multe cercetări s-au făcut pe ecranele din beton simplu sau armat. Utilizarea lor este justificată și de durabilitatea mare a betonului în timp, precum și de rezistența mare a acestui material în pământ, sub apă sau în medii agresive. Datorită acestor avantaje, ecranele din beton au început să aibă ascendent asupra celor noroioase sau deschise [52], chiar dacă efectul lor de ecranare este ceva mai redus.

În ce privește forma ecranului, așa cum s-a arătat în capitolul 1, realizarea unor ecrane cu forme geometrice mai complicate, care să combine ecranele adânci și subțiri cu cele groase și mai puțin adânci, nu este în general justificată, dacă se ia în considerare prețul unui astfel de ecran și efectul de ecranare suplimentar obținut. De aceea, studiile sunt axate, în general, pe ecrane rectangulare, adânci sau tip dală.

În ce privește poziția ecranului față de sursa de vibrații, conform recomandărilor făcute în capitolul 3, pe cât posibil, se va izola sursa de vibrații și numai acolo unde acest lucru nu este posibil se va recurge la izolarea în câmp îndepărtat.

Ecranele din beton armat au un efect de ecranare mai bun ca cele din beton simplu, creșterea cantității de armătură nu se reflectă însă într-o creștere semnificativă a ecranării [51], [52].

Pentru a verifica aspectele teoretice prezentate în capitolele anterioare, referitoare la protecția antivibratorie cu ecrane rigide, în capitolul de față se prezintă o serie de măsurători efectuate de autor, pe un ecran din beton armat, ecran ce constituie diafragma din beton armat realizată ca fundație continuă sub pereții halei stației de imbuteliat Coca-Cola din Timișoara.

4.1.2 Condiții tehnice de realizare a măsurătorilor

Pentru a verifica studiile teoretice întreprinse, legate de protecția antivibratorie a infrastructurii construcțiilor față de vibrațiile ce se transmit prin terenul de fundare.

prin folosirea de ecrane rigide, s-au făcut o serie de măsurători de reflexie și transmitere a vibrațiilor prin fundația unui perete al halei de producție al stației sus amintite. Fundația menționată este o diafragmă din beton armat, turnat monolit, fără talpă la partea inferioară. Întreg ansamblul construcției (fig.4.1) este alcătuit din trei hale alăturate, realizate în cadre cu structură mixtă beton-oțel, având fiecare dimensiunile de 18 x 90 metri. Frontal acestor hale se află depozitul curent de aprovizionare iar lateral halelor 1 și 3 se află laboratorul și birourile administrației și, respectiv, o stație de expediție a mărfii.

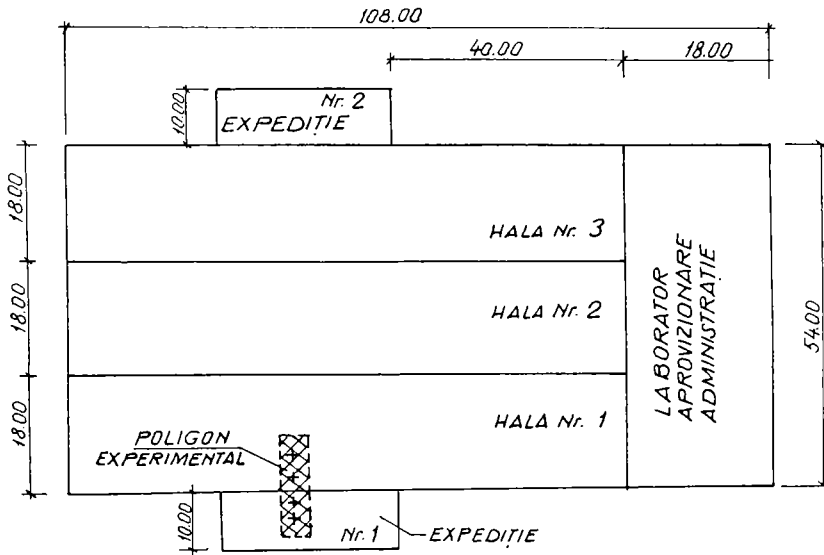


Fig. 4.1 Amplasamentul halelor și al poligonului experimental

Infrastructura stației este alcătuită din fundații directe de suprafață: fundații izolate elastice sub stâlpi, diafragme din beton armat sub pereții halelor de producție și fundații continue rigide sub ceilalți pereți. Cota tălpii fundațiilor sub stâlpi este de -2,10 m față de cota pardoselii finite, iar la celelalte elemente structurale, după caz, de -1,20...-1,80 m. Cota terenului sistematizat din jurul halelor este de -0,40 m. Pardoseala halelor este de tip dală din beton armat de 20 cm grosime, așezată pe un strat de umplutură, din balast de Mureș, de circa 1,20...1,50 m grosime.

Structura de rezistență a halelor este metalică, pereții și învelitoarea sunt formate din plăci ondulate din aluminiu, care transmit încărcările stâlpilor metalici, astfel că practic fundațiile sub pereți nu preiau decât o parte nesemnificativă din încărcarea suprastructurii. Din acest motiv, aceste diafragme au mai mult rolul de elemente despărțitoare decât de fundații propriu-zise. În acest fel, neexistând încărcare din pereți, fundațiile sub aceștia nu sunt evazate la partea inferioară, ci au forma unor diafragme din beton armat, rectangulare, având mai mult rol de separare și izolare.

Așa cum s-a amintit, suprastructura halelor, începând de la cota +2.00 m este metalică. Sub această cotă, ansamblul pereți-stâlpi este alcătuit din stâlpi și diafragme din beton armat, turnate monolit. Stâlpii cu secțiune de 40 x 45 cm sunt încastrați în

ELEVAȚIE FUNDAȚII

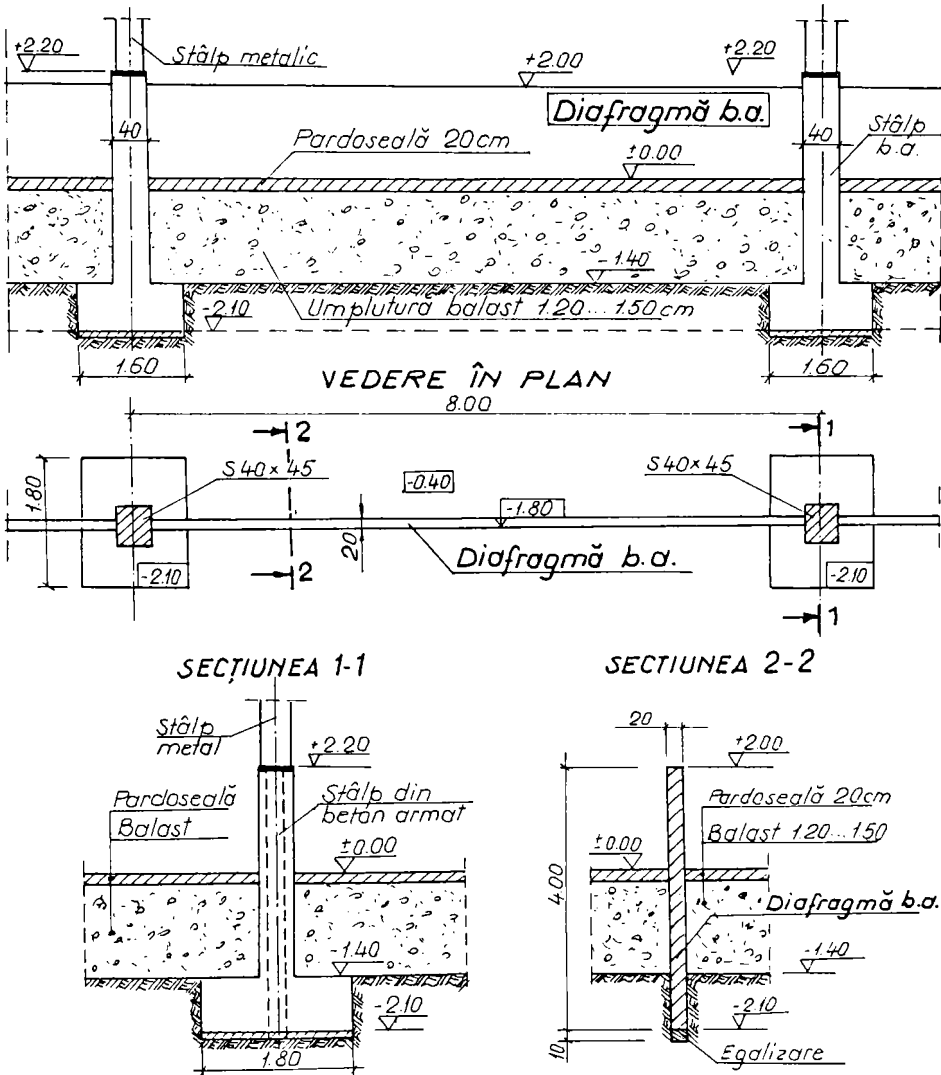


Fig.4.2 Detalii ale diafragmei (ecrianului) din beton armat

fundații elastice tip talpă paralelipipedică. Longitudinal, între stâlpii ce au traveea de 8,00 m, sub pereți, făcând corp comun cu aceștia, se află diafragmele din beton armat, de 20 cm grosime (fig.4.2). Cota de fundare a diafragmelor este aceeași ca și a stâlpilor (-2,10 m). Prin urmare, așa cum rezultă din figura 4.2 (secțiunea 2-2),

înălțimea unei diafragme este 4,00 m, diafragmă ce, așa cum s-a menționat, a fost asimilată cu un ecran de protecție antivibratorie. Lungimea unei diafragme este aceea a traveii, de 8,00 m, dar, făcând corp comun cu stâlpii în care este încastrată, ea are de fapt lungimea egală cu cea a halei (90 m), astfel că din punct de vedere al ecranării ea poate fi considerată infinită, putându-se face, prin urmare, ipoteza transmiterii vibrațiilor în cazul bidimensional, ipoteză ce a fost acceptată și în studiile teoretice de propagare a undelor R prin pământ, sau în cea de reflexie și transmitere a undelor pe /prin ecran.

4.1.3 Poligonul experimental

Poligonul experimental, așa după cum este arătat pe figura 4.1, este amplasat în zona halei numărul 1. O vedere în plan a poligonului experimental este prezentată în figura 4.3. Sursa de vibrații a fost o placă vibrocompactoare de 5 CP, de frecvență

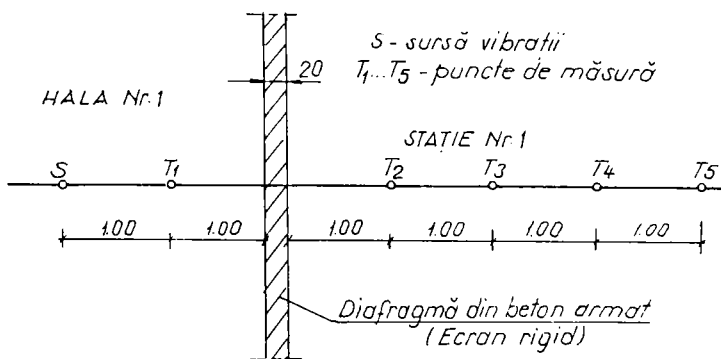


Fig. 4.3 Detalii ale poligonului experimental

-variabilă, frecvența maximă fiind de 80 Hz, placă folosită pe șantier pentru compactarea terasamentelor în spații înguste.

Măsurătorile s-au făcut la început fără ecran și apoi după realizarea ecranului. Sursa de vibrații a fost amplasată la 2 m de ecran, în hala nr. 1 (fig. 4.3). Punctul de măsură T₁ a fost așezat în fața ecranului, de aceeași parte cu sursa de vibrații. Celelalte puncte de măsură (T₂...T₅), s-au amplasat în spatele ecranului, în interiorul stației nr. 1. Pe cât posibil s-au respectat aceleași puncte de măsură, la aceeași distanță de sursă, înainte și după execuția ecranului. În figura 4.4 este prezentată o secțiune transversală prin poligonul experimental. Distanța între sursă, ecran și punctele de măsură a fost de 1 m, întreg ansamblul sursă-puncte de măsură fiind coliniar.

Mediul de propagare al vibrațiilor (terenul de fundare) a fost format din nisip argilos compact, peste care se află un strat de umplutură din balast compactat, de cca 1,40 m grosime.

Ecranul se află la 2 m sub cota la care s-au făcut măsurătorile, din care 1,40 m în stratul de balast și 0,60 m în cel de nisip argilos. Studiile s-au făcut înainte de turnarea pardoselii în clădire, în perioada de execuție a umpluturilor

În figura 4.4 nu este prezentată și partea de 2 m din ecran, aflată deasupra pardoselii, considerându-se că, pentru studiul propagării vibrațiilor prin ecran, influența acestei părți a ecranului va fi mult mai mică.

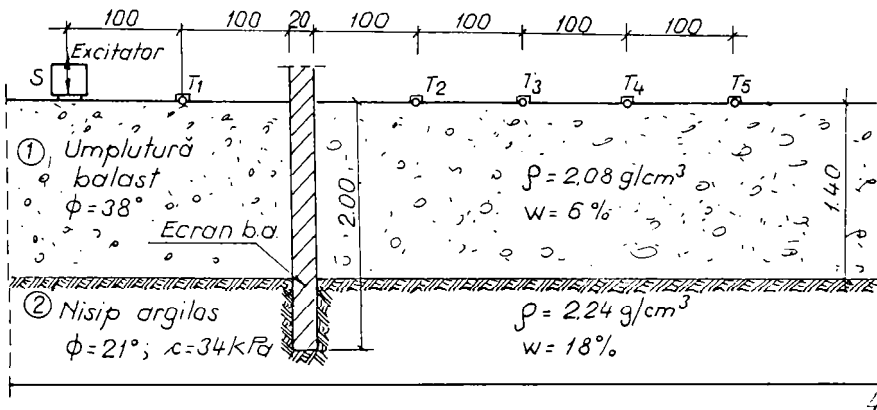


Fig.4.4 Secțiune transversală prin poligonul experimental

Traductorii de accelerație folosiți au fost plasați la suprafața umpluturii, astfel încât să măsoare componenta verticală a deplasării (vezi paragraful 4.6). Având în vedere cele afirmate în capitolul 1, legat de frecvența vibrațiilor provenite din traficul rutier, surse tehnologice etc. și anume că acestea se situează în domeniul 0...100 Hz și cele afirmate în capitolul 2 legat de undele R, care transmit 67% din energia indusă de sursa de suprafață în pământ și că aceste unde se propagă într-o bandă superficială a pământului de aproximativ $1,4\lambda_R$, măsurătorile au urmărit în mod special ecranarea acestor unde.

4.1.4 Caracteristicile ecranului

Caracteristicile geometrice ale ecranului, așa după cum s-a amintit, sunt:

- grosimea ecranului $B = 0,20$ m;
- înălțimea totală a ecranului $h = 4,00$ m;
- adâncimea ecranului sub nivelul umpluturii $H = 2,00$ m;
- lungimea unui panou $L = 8,00$ m.

Conform recomandărilor făcute de Woods și Richard, 1968 [111], recomandări prezentate în capitolul 3, ecranul devine eficient dacă adâncimea acestuia este de cel puțin $0,6\lambda$. Adâncimea de 2 m a ecranului studiat arată că acesta are efect de ecranare semnificativ, pentru unde care au lungimea de undă de cel mult $3,33$ m.

Materialul ecranului este betonul armat, de marcă B_c10 , având caracteristicile elastice și de amortizare prezentate în tabelul 4.1.

Subscrierea parametrului s sau d în tabelul 4.1 are semnificația unor mărimi determinate în condiții statice sau dinamice. Valorile din tabel sunt luate după J.Lipinski și M.Makhult din lucrarea [15], ținând seama de marca betonului.

Parametrii de material, care se așteaptă să aibă o influență semnificativă asupra ecranării sunt:

Tabelul 4.1 *Caracteristicile mecanice ale ecranului*

Parametri	ρ kg/m ³	E_s 10 ⁵ kPa	ν -	G_s 10 ⁵ kPa	E_d 10 ⁵ kP a	G_d 10 ⁵ kP a	δ -	D -	v m/s
Beton B _c 10	2500	240	0,20	98	290	120	0,28	0,05	1400

- raportul dintre modulii Young, E_k / E ;
- raportul densităților ρ_k / ρ ;
- raportul coeficienților Poisson ν_k / ν ;
- raportul coeficienților de amortizare α_k / α ,

k subscris indicând parametrii ecranului, iar parametrii fără indice pe cei ai terenului.

Deoarece pentru nisipuri și pietrișuri compacte și în general pentru pământuri tari, coeficientul ce caracterizează amortizarea undelor R (Q_R) este mai mare ca 5 (vezi cap.2), influența amortizării pentru cazul dat este redusă, astfel că valorile analitice ce vor fi calculate cu scop comparativ, pentru a simplifica calculele, se va neglija influența amortizării.

În ce privește coeficienții lui Poisson pentru ecran și teren, având în vedere cele prezentate în capitolul 2, legat de influența acestora asupra vitezei și deplasării terenului produs de undele R, raportul acestor mărimi va schimba puțin faza la trecerea undelor prin ecran. Aceasta se întâmplă și datorită valorilor apropiate a celor doi coeficienți, astfel că în calculele analitice se va considera că $\nu_k / \nu = 1$.

4.1.5 Caracteristicile terenului de fundare

Caracteristicile terenului de fundare care constituie mediul de propagare al vibrațiilor au fost stabilite în urma determinărilor efectuate de autor, în special cele legate de umplutura din balast. Beneficiarul investiției a cerut ca umplutura din interiorul hălelor să aibă un grad de compactare de cel puțin 95% față de Proctor normal (6daJ / cm³). Incercările efectuate au stabilit pentru balastul de umplutură $\rho_{d,max} = 2,06$ g/cm³, la o umiditate optimă $w_{opt} = 6\%$. Atingerea gradului de compactare amintit a fost verificată pe un poligon experimental amplasat în hala nr.2 (fig.4.1), de unde rezulta, pentru executant, necesitatea compactării până la atingerea unei densități a masei în stare uscată $\rho_d = 1,96$ g/cm³. Această valoare a putut fi atinsă în poligonul experimental prin compactarea cu cilindrul vibrocompactor tandem de 12 t. la 12 treceri.

Caracteristicile fizicomecanice ale umpluturii și ale stratului de nisip argilos de sub aceasta, sunt prezentate în tabelul 4.2.

Așezarea umpluturii din balast peste terenul natural s-a făcut numai după aducerea acestuia la același grad de compactare (95% - Proctor normal).

Tabelul 4.2 *Caracteristicile terenului de fundare*

Caracteristicile fizico-mecanice	Umplutură din balast compactat	Nisip argilos compactat
ρ_s , kg/m ³	2650	2670
ρ , kg/m ³	2080	2240
w, %	6	18
ρ_d , kg/m ³	1960	1890
n, %	26	29
Φ	36°	21°
c, kPa	-	34
ρ_{dmax} , kg/m ³	2060	2160
v	0,35	0,40
G _d , MPa	340	-
E _d , MPa	840	-

4.1.6 Lanțul de măsură

Pentru măsurarea și înregistrarea parametrilor dinamici s-a folosit un lanț de măsură a cărui schemă bloc este prezentată în figura 4.5. Pentru încercările pe ecranul din beton, beton plastic, precum și pe ecranele celulare, prezentate în capitolele 4 și 5 se va folosi aceeași schemă bloc de achiziție și prelucrare a datelor, excepție făcând doar sursa de vibrații care va fi diferită. Elementele componente ale lanțului de măsură sunt prezentate în cele ce urmează.

a. Sursa de vibrații (fig. 4.6)

La măsurătorile făcute pe ecranul rigid, sursa de vibrații este formată dintr-o placă vibrocompactoare, acționată cu un motor termic, având o turație variabilă. Placa, produsă de S.C. CATERVA SRL din Timișoara, are următoarele caracteristici tehnice:

- masa: 135 kg;
- puterea: 5 CP;
- frecvența maximă: 80 Hz;
- amplitudinea maximă: 0,5 mm;
- forța la frecvența maximă: 13 kN.

Caracteristicile geometrice ale plăcii sunt prezentate în figura 4.6. Dimensiunile tălpii sunt de 600 x 350 mm, iar presiunea maximă pe talpă, la turația maximă, este de circa 70 kPa.

b. Regulatorul de turație

La placa vibrocompactoare, reglarea turației se face din motorul termic tip BRIGGS STRATTON, de producție japoneză, cu care este dotată placa, iar la încercările ce vor fi prezentate la alte tipuri de ecrane schimbarea turației se va face electric, prin intermediul unui reostat montat în circuitul electric al motorului de antrenare.

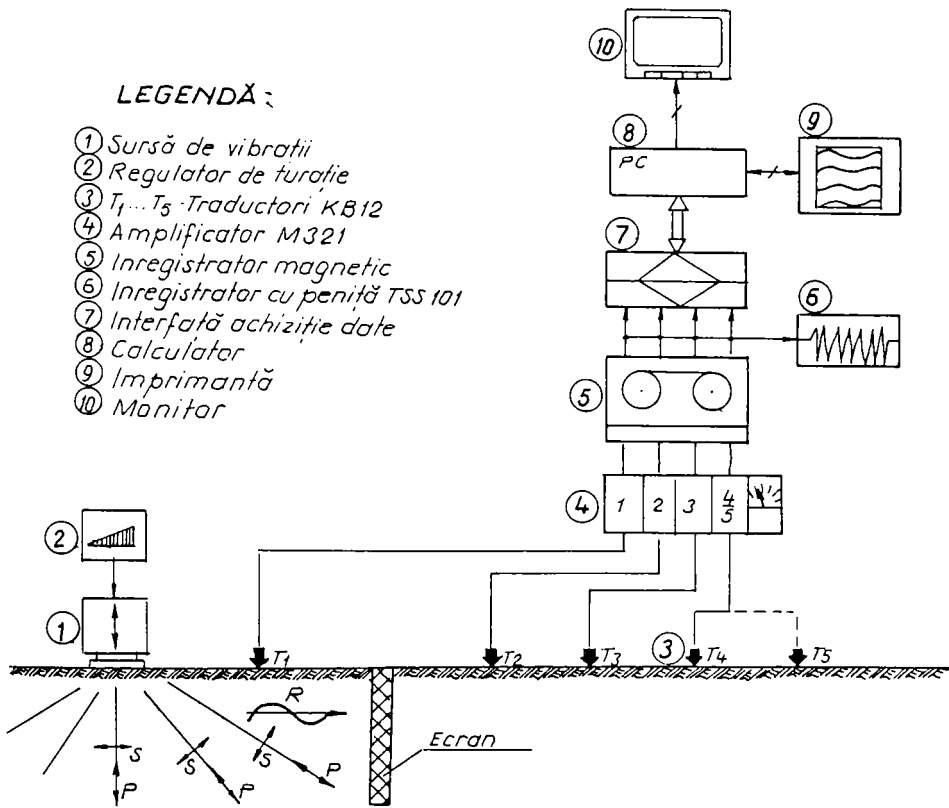


Fig. 4.5 Schema bloc a lanțului de măsură

c. Traductorii de accelerație

Traductorii de accelerație folosiți KB12 (fig.4.7), de fabricație VEB-MMF Germania, sunt de tip piezop-seismic și au următoarele caracteristici:

- factorul (tensiunea) de transmisie (B_d) 100...300 mV/m s⁻²;
- capacitatea internă (C_i) 2000 pF;
- frecvența de rezonanță (f_R) 400 Hz;
- factorul de calitate la rezonanță 2...4 ;
- domeniul de frecvență 1...250 Hz;
- accelerația minimă 3×10^{-4} m s⁻² ;
- accelerația maximă 30m s⁻² ;
- masa traductorului 180g ;
- temperatura de lucru -20...80°C.

Așa cum se vede și din figura 4.8, în domeniul de măsură folosit, de până la 80 Hz, traductorul are o comportare liniară, iar frecvența de rezonanță de 400 Hz este mult deasupra frecvenței de lucru.

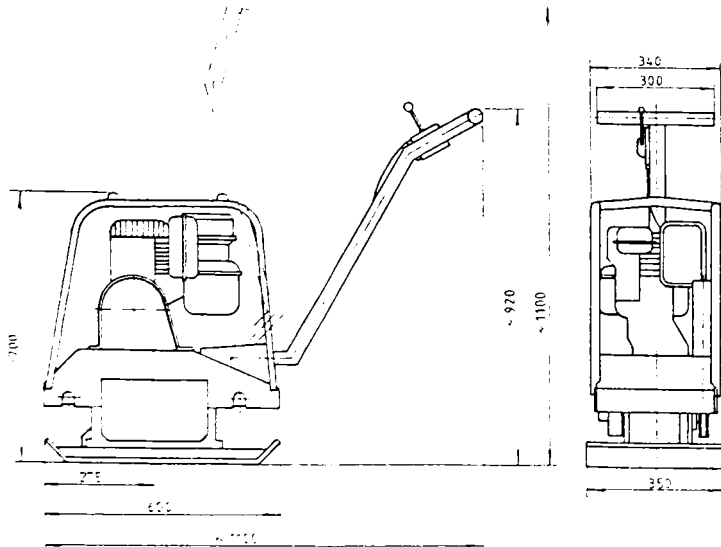


Fig. 4.6 Sursa de vibrații

Pentru efectuarea măsurătorilor s-au folosit simultan 4 traductori, număr egal cu cel al canalelor amplificatorului și cu numărul pistelor înregistratorului magnetic,

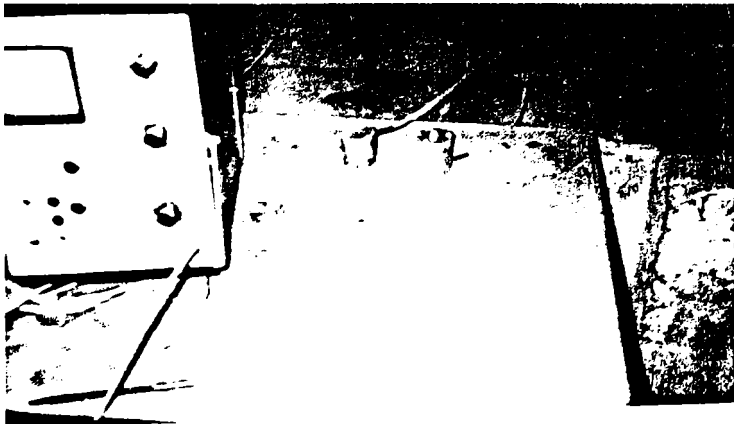


Fig. 4.7 Traductorii KB12

aceasta impunând ca pentru punctele de măsură T_4 și T_5 să se folosească un singur traductor, așa cum rezultă și din schema bloc (fig. 4.5). Directivitatea traductorilor este sub 15° , măsurând deci numai vibrațiile pe direcția pe care sunt montați. Pentru accelerații minime, sensibilitatea traductorului este de peste $30 \mu V$, fapt ce permite măsurarea de amplitudini de sub $1 \mu m$.

d. Aparat de măsură a parametrilor de mișcare

Măsurarea parametrilor cinematici s-a făcut cu un amplificator integrator tip

SM-321, cu patru canale, de fabricație VEB-RFT Germania.

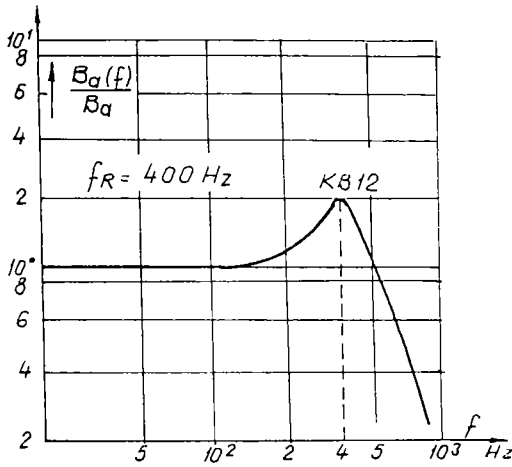


Fig. 4.8 Caracteristica dinamică a traductorilor KB12

- amplitudini 0,0032...100 mm, domeniu ce este și el împărțit în patru subdomenii.

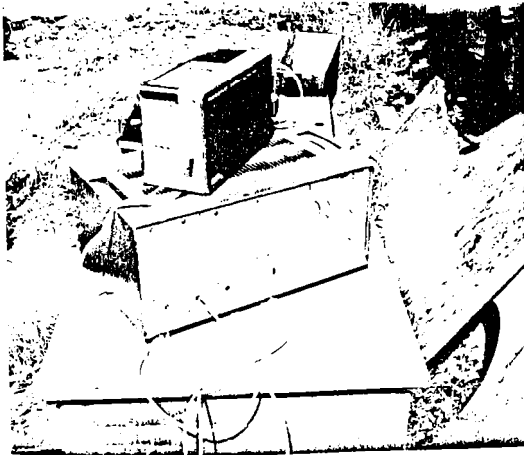


Fig. 4.9 Amplificatorul operațional SM231

Accesul semnalului de la traductorii este independent pentru fiecare din cele 4 canale ale amplificatorului. Semnalul, proporțional cu accelerația, este amplificat și integrat de două ori, astfel că la ieșire va rezulta un semnal proporțional cu amplitudinea deformației.

Domeniul de măsură al aparatului, pentru care se păstrează liniaritatea și o eroare sub 2%, la o frecvență de maximum 2 kHz este următoarea:

- accelerații 0,032...320 m/s²;
- viteze 0,0032...3,2 m/s pe o

scară,

0,00032...0,32 m/s pe

altă scară;

Valorile minime ale acestor mărimi sunt:

$$a_{\min} = 5 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2;$$

$$v_{\min} = 2 \times 10^{-5} \text{ m/s};$$

$$A_{\min} = 2 \times 10^{-4} \text{ mm}.$$

La aceste valori, tensiunea de intrare va trebui să fie de cel puțin 5 mV/m s², iar eroarea poate ajunge la 5% atunci când frecvența se află în domeniul 21 Hz...15 kHz.

Aparatul permite măsurarea mărimilor cinematice efective sau ar. f. p. v. g. v.

Calibrarea se face la o tensiune de intrare de 100 ± 1 mV și o frecvență de 70...130 Hz.

e. Înregistratorul magnetic (fig. 4.10).

Pentru stocarea datelor măsurate, lanțul de măsură cuprinde și un înregistrator magnetic profesional, care permite înregistrarea analogică sincronă, pe bandă magnetică, a patru mărimi. Aparatul permite schimbarea vitezei la înregistrare față de viteza la redare, în raport de 1:4,(2). La măsurătorile ce au avut loc, înregistrarea s-a

făcut cu viteză mare (38 mm/s, iar redarea cu viteză mică (9mm/s), obținându-se astfel o "dilatare" a timpului de $38:9 = 4,2$ ori.

Aceasta facilitate oferită de aparat are avantajul că permite măsurarea vitezei de fază cu o precizie mai mare și, de asemenea, permite vizualizarea mai clară a elongației mărimilor măsurate, eventual a interferențelor ce pot apărea prin suprapunerea undelor incidente cu cele reflectate sau a unei fundamentale cu armonice produse de alte elemente vibrante.

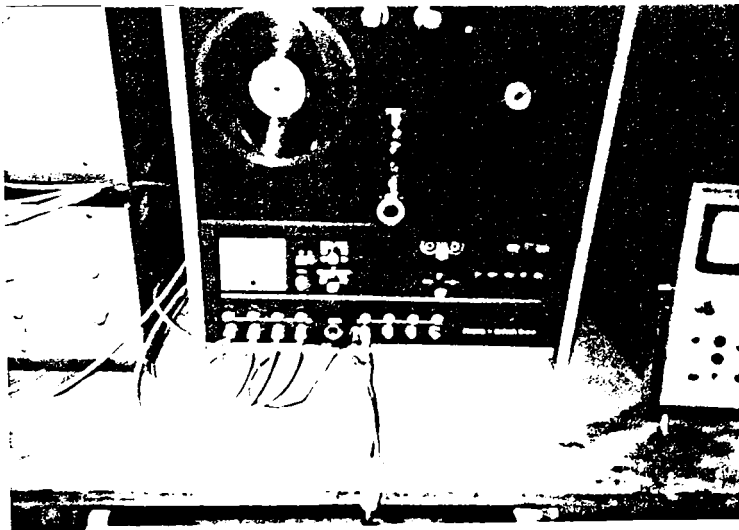


Fig4.10 Inregistratorul magnetic cu 4 canale

Prin "dilatarea" timpului se poate stabili la redare, cu precizie mai mare, frecvența de lucru și eșantionarea domeniului înregistrat pe frecvențe. Înregistrarea putându-se face continuu, cu frecvența crescând până la maximum ce poate fi atins de sursa de vibrații și apoi revenirea la minim, eventual oprirea sursei.

f. Inregistratorul cu peniță

Pentru redarea analogă a mărimilor măsurate, lanțul de măsură este completat cu un registrator rapid cu un canal, cu peniță și hârtie milimetrică. Viteza de înregistrare poate fi modificată, aparatul având trei viteze și anume: 1 mm/s, 25 mm/s și 50 mm/s.

La măsurătorile făcute, și prezentate în continuare, s-a folosit viteza maximă de deplasare a hârtiei, care, combinată cu viteza mică de redare a înregistratorului magnetic, permite ca frecvența înregistrată pe 50 mm/s a hârtiei milimetrice, să fie de $4,2$ ori mai mare. Prin urmare, redarea cu viteză mare oferă, și în acest caz, o parte din facilitățile perise de înregistratorul magnetic.

g. Interfața de achiziție a datelor

Legătura de la semnalul analog, la calculator, se face prin intermediul unei interfețe, care permite digitalizarea semnalului analogic. Rata de achiziție este de 5000 octeți/s, pe patru canale simultan. Comanda eșantionării se face de către calculator,

iar această viteză de lucru este suficientă pentru a permite prezentarea datelor pe monitor sau redarea simultană a celor patru canale pe imprimantă.

h. Calculatorul

Lațul de măsură a folosit și un calculator PC 486, având 4 Mb memorie RAM, iar la calcule este necesară cel puțin 8 Mb memorie liberă pe discul fix. El are de asemenea un port serial și două porturi paralele.

4.1.7 Rezultate experimentale

A. Ecranarea exprimată prin deplasările terenului

Deoarece undele R sunt cele care au efectul cel mai defavorabil asupra construcțiilor, instalațiilor sau oamenilor, măsurătorile au fost axate pe influența ecranului asupra propagării acestor unde prin pământ. Ca urmare, traductorul de accelerație a fost poziționat pentru a înregistra componenta verticală a deplasării

Tabelul 4.3 *Măsurători ale amplitudinii deplasării, fără ecran*

Frecvența, Hz	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
Valori măsurate în SERIA I					
10	110	50	64	50	30
20	149	86	68	47	42
30	260	150	110	100	76
40	320	180	144	114	88
50	355	220	152	130	95
60	389	232	182	150	112
70	440	255	190	162	120
80	450	280	220	170	125
Valori măsurate în SERIA a II - a					
10	105	70	41	30	25
20	148	85	70	52	36
30	245	150	110	96	80
40	310	180	142	121	93
50	351	220	162	140	95
60	392	232	175	150	110
70	415	252	185	164	120
80	466	280	204	175	130
Valori măsurate în SERIA a II - a					
10	115	75	42	40	26
20	153	88	66	54	39
30	245	147	110	98	70
40	316	183	146	125	92
50	346	218	164	120	102
60	386	227	175	157	110
70	405	260	194	164	119
80	466	290	200	172	120

terenului, la suprafața acestuia. Trecerea de la accelerații la deplasări se face automat, prin cele două integrări succesive pe care le face amplificatorul operațional.

După cum s-a menționat, măsurătorile s-au făcut fără ecran și apoi, respectând aceleași condiții geometrice, după realizarea ecranului.

Prezentăm în tabelul 4.3 amplitudinile deplasării verticale pentru cele cinci canale, ca rezultat a trei serii de măsurători fără ecran.

În tabelul 4.4 prezentăm media aritmetică a amplitudinilor deplasării verticale măsurate și prezentate în tabelul 4.3.

Tabelul 4.4 *Amplitudini medii măsurate fără ecran*

Frecvența, Hz	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
10	110	65	49	40	27
20	150	87	68	51	39
30	250	149	110	98	74
40	315	181	142	120	91
50	350	219	160	130	97
60	390	230	177	152	111
70	420	252	190	163	120
80	460	277	208	172	125

În tabelul 4.5 sunt prezentate amplitudinile calculate conform relațiilor analitice expuse în capitolul 2. Deoarece vibratorul folosit are multe subansamble în mișcare sau elemente componente cu rezonanță în domeniul de lucru, în spectrul rezultat apar armonice care au perturbat măsurătorile. Întrucât aceste armonice au frecvențe superioare frecvenței fundamentale, ele se amortizează rapid cu depărtarea de sursă. Din acest motiv, pentru calculul analitic au fost luate ca bază de calcul înregistrările pentru traductorul așezat în poziția T₁.

Tabelul 4.5 *Amplitudini deduse teoretic*

Frecvența Hz	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
10	110	74	64	54	44
20	150	101	83	73	80
30	250	170	139	122	100
40	315	212	176	153	126
50	350	236	196	171	140
60	390	263	218	190	157
70	420	283	234	205	167
80	460	310	257	224	184

În figura 4.11 prezentăm a mostră din înregistrările făcute pentru frecvența de 44 Hz. Având în vedere distanța relativ mare între sursă și traductorul T₃, semnalul a fost amplificat de 3,2 ori pentru a putea fi reprezentat în aceeași diagramă cu celelalte

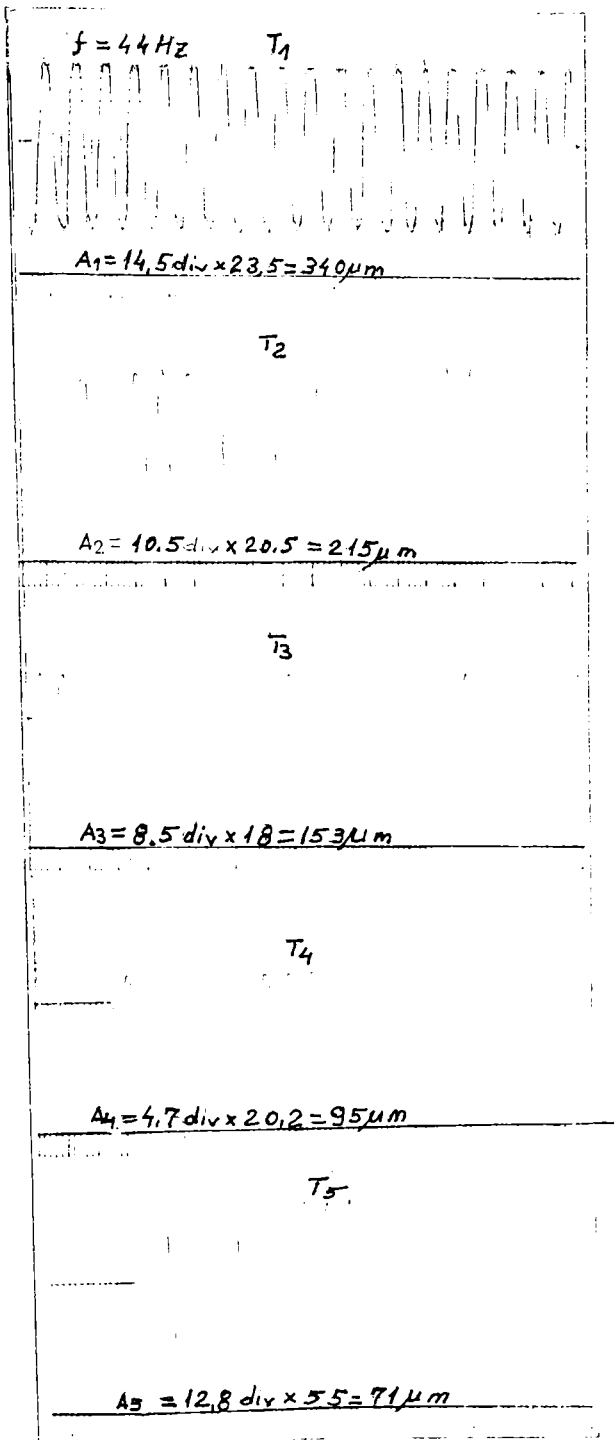


Fig. 4.11

Frecventa 44 Hz

$$A_1 = 340 \mu\text{m}$$

$$A_2 = 215 \mu\text{m}$$

$$A_3 = 153 \mu\text{m}$$

$$A_4 = 95 \mu\text{m}$$

$$A_5 = 71 \mu\text{m}$$

semnale. Amplitudinile rezultante, corespunzătoare acestei frecvențe, prezentate în figură, au fost cuprinse între 340 și 71 μm .

Calculul amplitudinii deplasării se face cu relația:

$$A_i = k_i N_i, \quad i = 1, 2, \dots, 5,$$

unde:

k_i este un coeficient ce rezultă din etalonare (pentru detalii vezi relațiile 5.1 și 5.2);

N_i reprezintă numărul de diviziuni pe hârtia milimetrică pe care se înregistrează cele i semnale (în cazul dat $i = 5$).

Variația amplitudinii verticale (A) cu depărtarea de sursă, este prezentată în figura 4.12, pentru frecvențe de 20, 70 și 80 Hz. Valorile măsurate, reprezentate cu linie întreruptă, au valori mai mici decât cele teoretice ce ar rezulta considerând numai amortizarea geometrică, datorită amortizării interne a pământului. Coeficientul de amortizare internă α_R are valori cuprinse între 0,063 și 0,07 m^{-1} , în funcție de frecvență.

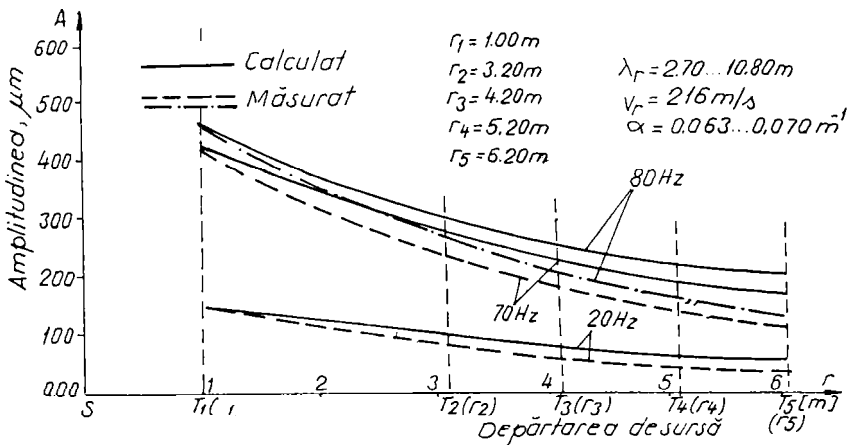


Fig. 4.12 Reducerea amplitudinii cu depărtarea de sursă

Caracteristicile elastice și de amortizare ale umpluturii din balast sunt prezentate în tabelul 4.6.

Tabelul 4.6 Caracteristicile umpluturii

Caracteristici dinamice	v_R m/s	v_S m/s	v_P m/s	G_d MPa	E_d MPa	α_R m^{-1}	Q_R -	ν -
Valoarea	216	237	493	97	202	0,063 0,07	3... 18	0,35

Având în vedere că la frecvența de 50 Hz, factorul de calitate Q_R are valoarea:

$$Q_R = \omega / 2v_{Rc}\alpha_R = 11,$$

influența amortizării de material, în modificarea vitezei în funcție de frecvență, este ne semnificativă de la această frecvență în sus. De aceea, în continuare, se va neglija amortizarea de material, aceasta cu atât mai mult cu cât se așteaptă ca efectul de ecranare să crească pe măsură ce crește frecvența.

După execuția ecranului, amplitudinile verticale ale deplasării terenului, la suprafața acestuia, sunt prezentate în tabelul 4.7.

Tabelul 4.7 *Amplitudini măsurate după ecranare*

Frecvența, Hz	Amplitudinea deplasării verticale, μm				
	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
Valori măsurate în SERIA I					
10	120	35	20	27	15
20	168	40	30	25	16
30	304	50	36	38	30
40	380	54	48	39	35
50	439	55	52	40	17
60	515	60	50	45	35
70	540	60	50	49	45
80	630	60	55	54	22
Valori măsurate în SERIA a II - a					
10	122	37	20	27	18
20	170	35	30	25	20
30	290	47	36	30	30
40	395	54	50	37	37
50	445	57	50	40	15
60	515	57	52	45	32
70	560	60	50	51	47
80	620	62	55	54	50
Valori măsurate în SERIA a III - a					
10	120	32	21	30	15
20	160	37	28	20	18
30	290	48	35	34	32
40	395	55	51	35	35
50	450	53	50	38	10
60	505	57	57	50	37
70	550	55	52	52	45
80	623	60	57	54	50

Ca și în cazul măsurătorilor făcute fără ecran, în tabelul 4.8 prezentăm media aritmetică a celor trei serii de măsurători cuprinse în tabelul 4.7.

Efectul pe care ecranul îl are poate fi apreciat prin raportul amplitudinilor măsurate înainte și după montarea ecranului. În tabelul 4.9 se prezintă aceste rapoarte

Tabelul 4.8 *Amplitudini medii măsurate după ecranare*

Frecvența, Hz	Amplitudinea deplasării verticale, μm				
	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
10	121	35	20	28	16
20	168	37	29	23	18
30	295	49	36	34	31
40	390	54	50	37	36
50	444	55	51	39	14
60	512	58	53	47	35
70	550	58	51	52	46
80	626	61	56	54	51

pentru valorile medii prezentate în tabelele 4.4 și 4.8. S-a făcut notația:

$$a = A_k / A$$

în care A_k este amplitudinea deplasării verticale cu ecran, iar A este amplitudinea deplasării verticale fără ecran.

Tabelul 4.9 *Raportul amplitudinilor cu și fără ecran*

Frecvența Hz	Raportul amplitudinilor					a_{med} %
	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	
10	1,1	0,54	0,40	0,70	0,57	55
20	1,12	0,43	0,42	0,47	0,45	44
30	1,18	0,33	0,33	0,35	0,43	37
40	1,24	0,30	0,35	0,35	0,40	35
50	1,27	0,26	0,32	0,31	0,35	32
60	1,31	0,25	0,30	0,31	0,36	31
70	1,30	0,23	0,27	0,32	0,33	28
80	1,36	0,22	0,21	0,23	0,31	24

În figura 4.13 este prezentat grafic raportul amplitudinilor pentru frecvențe de 20, 50, 70 și 80 Hz, iar în figura 4.1, același raport pentru 10, 30, 40 și 60 Hz.

Din datele tabelului 4.9 și din figurile 4.13 și 4.14 se poate observa că efectul de ecranare crește odată cu creșterea frecvenței. Dacă la 20 Hz, de exemplu, la distanța de 1 m în spatele ecranului (T_2), $a = 0,43$, la 80 Hz, în același punct, acest raport scade la $a = 0,22$. Aceasta arată o reducere a amplitudinii de 78%. De asemenea, pentru o aceeași frecvență, ecranarea scade cu depărtarea de sursă, astfel, la 80 Hz raportul amplitudinilor cu și fără ecran crește de la 0,22, în T_2 , la 0,40 în T_3 . Acest lucru era de așteptat, de altfel, datorită difracției undelor pe sub ecran. Aceasta se întâmplă cu atât mai mult cu cât, așa cum s-a arătat în capitolul 2, adâncimea minimă a ecranului, pentru a fi eficient, este de $0,6 \lambda_R$, lucru ce se întâmplă în cazul prezentat numai la frecvențe de peste 50 Hz.

După aprecierile făcute de Woods și Haupt, așa cum s-a menționat în capitolul 3, ecranarea poate fi considerată eficientă dacă raportul amplitudinilor deplasării scade sub 0,25. Chiar dacă ecranul studiat nu a avut adâncimea necesară, pentru domeniul

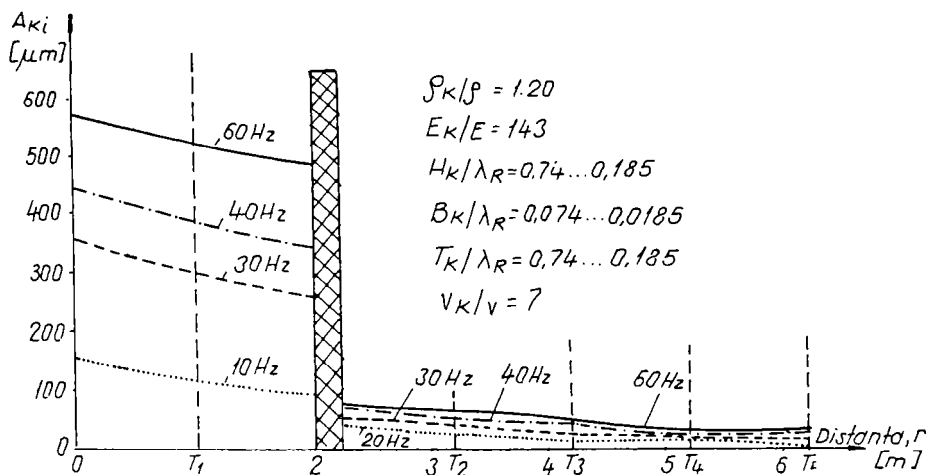


Fig. 4.13 Raportul amplitudinilor cu și fără ecran, la 20, 50, 70 și 80 Hz de frecvențe al sursei de vibrații, cercetările făcându-se pe un ecran deja executat, reducerea la 0,22 a raportului amplitudinilor, chiar la frecvențe de 50 Hz, se explică prin:

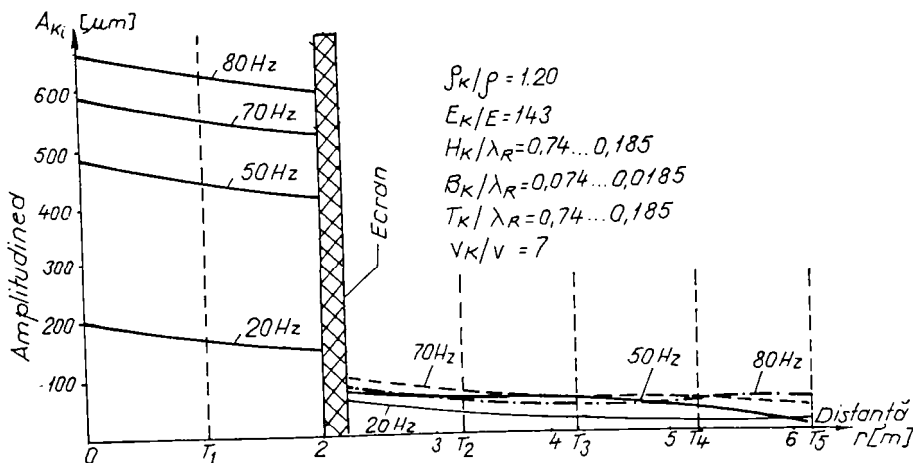


Fig. 4.14 Raportul amplitudinilor cu și fără ecran, la 10, 30, 40 și 60 Hz.

(a) imposibilitatea, pe de o parte, de difracție a undelor pe la capetele ecranului, lungimea acestuia fiind foarte mare (90 m) față de distanța sursă-ecran, precum și față de lungimea de undă;

(b) rigiditatea mare a ecranului, peste cea a diafragmei propriu-zise, datorită încastrării acesteia în stâlpi și fundații, precum și datorită creșterii masei ansamblului ce eventual ar intra în vibrație (diafragmă, stâlpi, fundație), pentru a fi transmise unde în spatele ecranului.

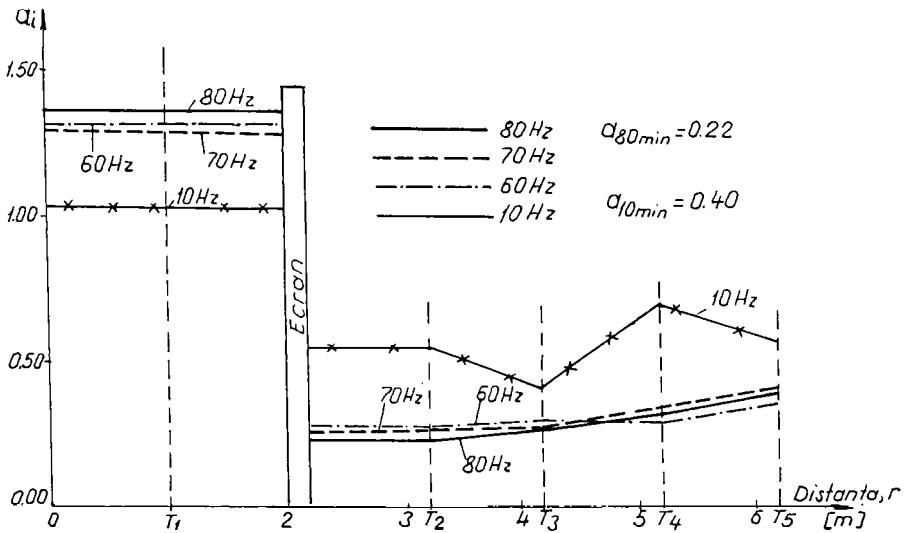


Fig. 4.15 Coeficienții de atenuare pentru 10, 60, 70 și 80 Hz

Figurile 4.15 și 4.16 prezintă coeficienții de atenuare (α_i) în funcție de depărtarea de sursă, pentru 10, 60, 70, 80 Hz și, respectiv, 30, 40, 50 Hz, iar în figura

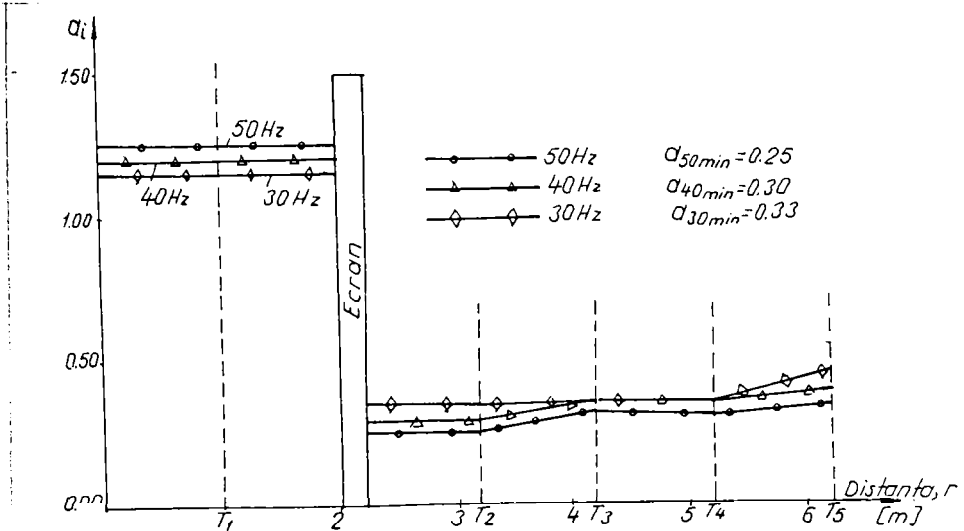


Fig. 4.16 Coeficienții de atenuare pentru 30, 40 și 50 Hz

4.17 variabilitatea acestor coeficienți pentru fiecare frecvență.

Pentru a ilustra mai bine efectul de ecranare se va reprezenta în figura 4.18

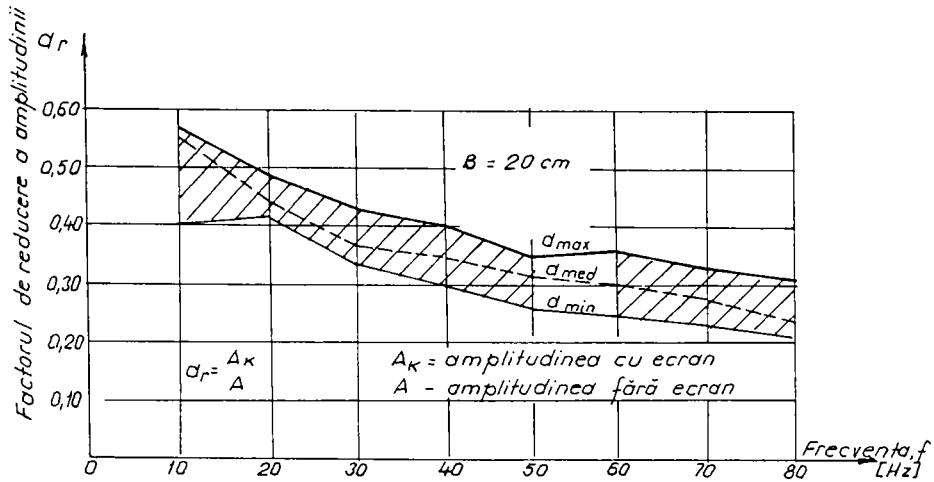


Fig. 4.17 Domeniul de variație a coeficienților de atenuare
valoarea medie a coeficienților de atenuare, calculați ca o medie aritmetică pentru cele patru valori obținute la fiecare frecvență, în cele patru puncte de măsură din spatele

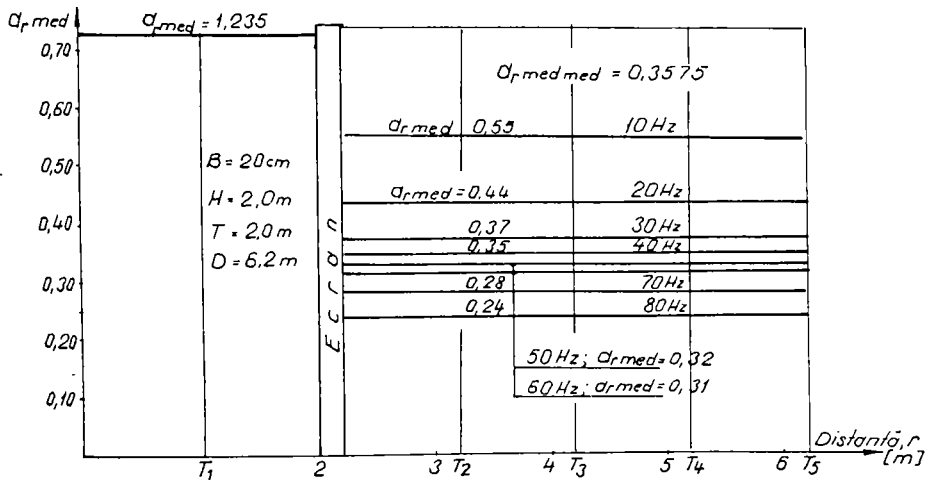


Fig. 4.18 Valorile medii ale coeficienților de atenuare

ecranului :

$$a_{r,med} = (a_{r1} + a_{r2} + a_{r3} + a_{r4}) / 4,$$

în care j reprezintă frecvența. Din analiza figurii 4.17 se observă că atenuare medie peste 75% se obține doar la frecvențe de cel puțin 80 Hz. În rest, așa cum se vede din

figura 4.15, există doar zone în spatele ecranului în care atenuarea scade sub această valoare. Prin urmare, se pune problema determinării "conului de umbră" din spatele ecranului, în care factorul de reducere al amplitudinii (a) să fie sub o valoare dată.

Făcând media celor opt valori medii măsurate, se poate calcula o mărime a_{med} $a_{med} = 0,3575$ în spatele ecranului și $1,235$ în fața acestuia, valori ce dau o imagine globală a efectului de protecție antivibratorie produs de ecran.

B Ecranarea exprimată prin energia undelor

Deoarece energia transmisă prin unde armonice este proporțională cu pătratul amplitudinii:

$$E = m \omega^2 A^2 \cos^2(\omega t - k r), \quad (4.1)$$

expresie ce reprezintă energia totală transportată de o undă plană progresivă, armonică, ce se propagă într-un mediu elastic omogen și nedispersiv, printr-un volum V al mediului, având masa m , pierderea de energie prin ecran este destul de semnificativă. Dacă în locul energiei totale transportată de undă se utilizează densitatea de energie, reprezentând energia totală raportată la volumul V al mediului ce delimitează unda [3]:

$$\varepsilon = dE / dV, \quad (4.2)$$

efectuând calculele se obține următoarea relație a densității de energie:

$$\varepsilon = \rho \omega^2 A^2 \cos^2(\omega t - kx), \quad (4.3)$$

la cărei unitate de măsură este J/m^2 .

Considerând amplitudinea unei incidente pe ecran unitară și o zonă în spatele ecranului de $6,20$ m, zonă în care s-au făcut măsurătorile și folosind valorile medii prezentate în figura 4.17, transmiterea de energie prin ecran, la diferite frecvențe, este prezentată în figura 4.19, în care:

$$\%e = 100 \varepsilon_k / \varepsilon_0, \quad (4.4)$$

adică raportul între energia specifică medie din spatele ecranului și energia specifică incidentă pe ecran.

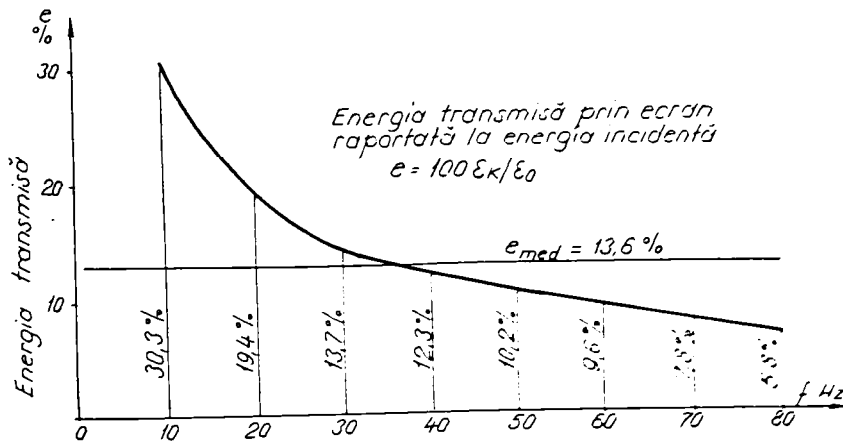


Fig. 4.19 Frațiunea din energie transmisă prin ecran

O. reprezentare mai sugestivă a energiei transmise prin ecran față de cea reflectată, sau, în general, pierdută prin alte fenomene ce au loc la incidența undelor

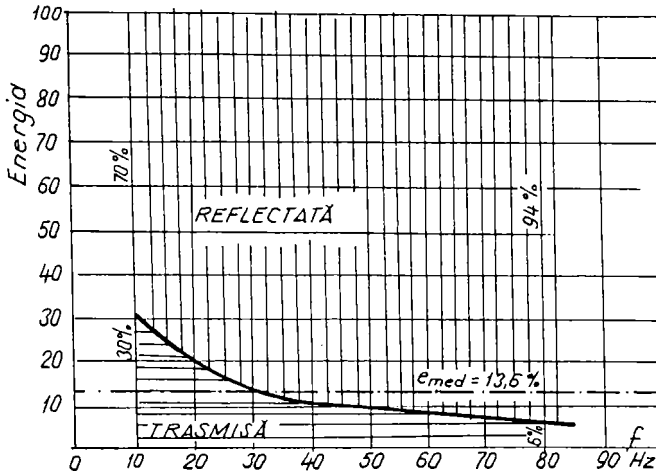


Fig. 4.20 Distribuția energiei reflectată - energie transmisă de ecran pe ecran, în funcție de frecvență, este prezentată în figura 4.20.

Din cele două figuri, 4.19 și 4.20, se observă că, în domeniul energiei, efectul de ecranare crește exponențial cu frecvența și că, chiar la 10 Hz, 70% din energia incidentă se pierde prin reflexie, dispersie, amortizare internă etc. Pentru domeniul de frecvențe studiat, de 10...80 Hz, valoarea medie a energiei transmise, față de energia incidentă, este de aproximativ 14%.

Desigur că exprimarea în energie a efectului de ecranare va da o informare globală asupra fenomenului, fiecare caz în parte va trebui să fie tratat corespunzător, în funcție de scopul urmărit prin ecranare: ecranarea față de accelerații, viteze sau amplitudini ce depășesc valorile admise.

4.1.8 Concluzii privind ecranele din beton armat

După cum s-a precizat în capitolul 1, ecranele din beton armat fac parte din categoria ecranelor rigide, adică acelea la care caracteristicile fizico-mecanice ale ecranului sunt superioare celor ale terenului înconjurător, teren ce constituie mediul de propagare al vibrațiilor perturbatoare. Rapoartele acestor caracteristici, ecran-teren, sunt:

$$E_k / E = 34,5;$$

$$\rho_k / \rho = 1,20;$$

$$v_k / v = 5,73, \quad v_{kS} = (G/\rho)^{1/2} = 1360 \text{ m/s}, \quad v_S = 237 \text{ m/s};$$

$$(E_k \rho_k / E \rho)^{1/2} = 6,43.$$

Aceste caracteristici fac ca ecranul studiat să fie de tipul A, după studiile făcute de W.A.Haupt, 1977, [52], prezentat în tabelul 1.2. Caracteristicile, într-o cântă

superioare, ale ecranului studiat în teză, față de cel amintit (studiat de Haupt), se explică prin aceea că este realizat din beton armat și nu din beton simplu.

Din analiza rezultatelor prezentate în tabelul 4.9 și figurile 4.17 și 4.18, se observă că atenuarea produsă de ecran crește cu creșterea frecvenței. Dacă la 10 Hz raportul amplitudinilor deplasării verticale medii a terenului din spatele ecranului a fost de 55%, el scade până la 24% pentru frecvența de 80 Hz. Fenomenul se explică prin difracția undelor cu frecvență joasă (deci cu lungime de undă mare) pe sub ecran. Așa cum s-a arătat în capitolul 2, undele având lungimi de undă mare vor ocoli cu atât mai ușor ecranul cu cât lungimea de undă crește.

Exprimată în energie, se poate totuși considera că o reducere cu 70% a energiei transmise prin ecran, față de energia incidentă, va da, în cele mai multe cazuri, o ecranare suficientă. Așa cum rezultă din figura 4.20, energia transmisă scade sub 20% din energia incidentă, dacă frecvența crește peste 20 Hz.

În studiul prezentat, viteza undelor R a fost de 216 m/s, ceea ce face ca lungimea de undă λ_R să fie de 2,16...2,7 m, pentru frecvențe de 10...80 Hz. Prin urmare, pentru ca efectul de ecranare la frecvența de 10 Hz să fie eficient, adâncimea ecranului ar trebui să fie de $H = 0,6 \lambda_R = 13$ m/s. Desigur că în cazul de față acest lucru nu este îndeplinit, fapt confirmat, de altfel, de efectul redus de ecranare măsurat la frecvențe joase.

Comparând măsurătorile obținute cu cele determinate de Haupt, pentru ecranul din beton simplu de tip A, valori prezentate în capitolul 1, se constată că ecranarea studiată pe ecranul din beton armat, este mai bună decât cea rezultată din măsurătorile pe model. Aceasta se explică prin aceea că rigiditatea ecranului este mai mare, partea din ecran de 2 m situată deasupra pardoselii măbind, de fapt, rigiditatea pe direcție verticală și, prin aceasta, scăzând posibilitatea vibrației verticale a ecranului. Rigiditatea crește și mai mult datorită încastrării ecranului în stâlp și, prin urmare, componenta verticală a undei R transmise va fi cu atât mai mică cu cât această rigiditate crește.

În ce privește componenta orizontală a undei R , tot datorită rigidității mari a ecranului pe direcție orizontală și a încastrării acestuia în stâlpi și fundații, intrarea în vibrație a bazei ecranului este mult redusă și, deci, numai undele difractate pe sub ecran vor aduce energie semnificativă, care să producă vibrații în spatele ecranului.

Concluzia care rezultă de aici este aceea că, atunci când ecranul poate fi legat de elemente de construcție rigide, elemente care prin vibrație nu perturbă zona de protecție, dar care măresc rigiditatea ecranului, se ajunge la mărirea gradului de protecție prin ecranare.

Pentru a măări suprafața relativă a ecranului, știut fiind că ecranarea crește odată cu creșterea acestei suprafețe, este recomandabil ca ecranul să fie așezat orizontal, tip dală, la suprafața terenului, între sursa de vibrații și zona izolată (așa cum ar fi pardoseala într-o încălă, de exemplu), efectul de ecranare fiind același. Dacă se izolează pasiv fundația unei mașini, de exemplu, între ecran și fundație nu trebuie să existe legătură, oricare deschidere creată între acestea duce la creșterea ecranării.

Se poate totuși aprecia că, în concordanță cu cele afirmate de alți autori, realizarea unui ecran din beton armat, în locul unui din beton simplu, nu este

justificată, sporul de material și manoperă neaducând un spor semnificativ de izolare. Betonul armat, în lucrări de ecranare, este justificat doar atunci când, ca și în cazul prezentat, ecranul intră în componența unor elemente de construcție.

În ce privește *suprafața relativă a ecranului*, în cazul dat ea are valoarea de aproximativ 0,12 pentru frecvența de 80 Hz, suprafață normală pentru un ecran din beton este de 0,1...0,2, valori mai mari ducând la consumuri foarte mari de beton.

Referitor la poziția ecranului față de direcția undelor, ecranul studiat fiind vertical, este considerat ca cel mai recomandat ecran, mai ales din punct de vedere constructiv. Realizarea unor forme mai complicate, așa cum s-a arătat în studiul lui Haupt [52] nu aduce un spor semnificativ în izolare.

Legat de *poziția ecranului față de sursa de vibrații*, studiile întreprinse pe acest ecran, în care sursa s-a aflat la 2 m de ecran, poate fi considerat ca reprezentând o izolare în câmp apropiat ($T = 2 \text{ m} < 2,5\lambda_R$), aici valoarea minimă a lungimii de undă fiind $\lambda_R = 2,70 \text{ m}$. Încercările nu s-au făcut cu sursa la distanță mai mare de ecran din cauza puterii limitate a acesteia. De altfel, după cum s-a mai arătat, există recomandarea ca, ori de câte ori este posibil, să se realizeze ecranarea în câmp apropiat, eficiența ecranării crescând cu apropierea de sursă, după cum s-a arătat în capitolul 3.

4.2 REZULTATE OBTINUTE PRIN EXPERIMENTĂRILE REALIZATE PE UN ECRAN DIN BETON PLASTIC

4.2.1 Condiții tehnice de realizare a ecranării

A. Ecranul din beton plastic a fost realizat la S.C. OPTICA SA din Timișoara, în perioada 1988-1989. El are rolul de a proteja fundația unei mașini de șlefuit lentile, față de eventualele vibrații perturbatoare ce se transmit prin terenul de fundare și care pot perturba buna funcționare a acesteia. După efectuarea fundației și a măsurătorilor, mașina urma să fie montată în interiorul halei laborator. Hala are două deschideri de 16 m fiecare, cu traveea de 8 m, realizată din elemente prefabricate (fig.4.21). Fundațiile sub stâlpi sunt de tip pahar, iar sub zidul de închidere exterior sunt realizate fundații continue rigide, de 40 cm lățime. Cota de fundare pentru fundațiile sub stâlpi este de -1,60 m, iar sub fundațiile pereților de -1,20 m. Poziția fundației mașinii este între axele A și B ale clădirii, având față de acestea distanța, de la marginea fundației mașinii, de 8,40 m și respectiv 4,40 m. Perpendicular pe clădire, fundația se află între traveile 5 și 7, la 3,60 m față de traveea nr.5.

Fundația mașinii are dimensiunile în plan de 7,20 x 3,20 m, și înălțimea de 2,40m. Mașina este izolată pasiv față de perturbațiile exterioare, transmise prin intermediul terenului de fundare. Această izolare constă în plăci de plută naturală, de 60 mm grosime, așezate la montaj în fundația mașinii (fig.4.21).

Ecranul s-a realizat la 80 cm distanță de fundație, pe care o înconjoară ca un batardou. Prezența ecranului are un dublu rol:

- în perioada de execuție constituie un element de sprijinire și impermeabilizare;
- în exploatare, ecranul are rolul de a produce o protecție antivibratorie pasivă a fundației mașinii, față de vibrațiile terenului de fundare, vibrații provenite de la

diferite surse aflate în apropiere (vibrații tehnologice, traficul rutier din incinta societății, perturbațiile produse de tramvaiul ce circulă în apropiere).

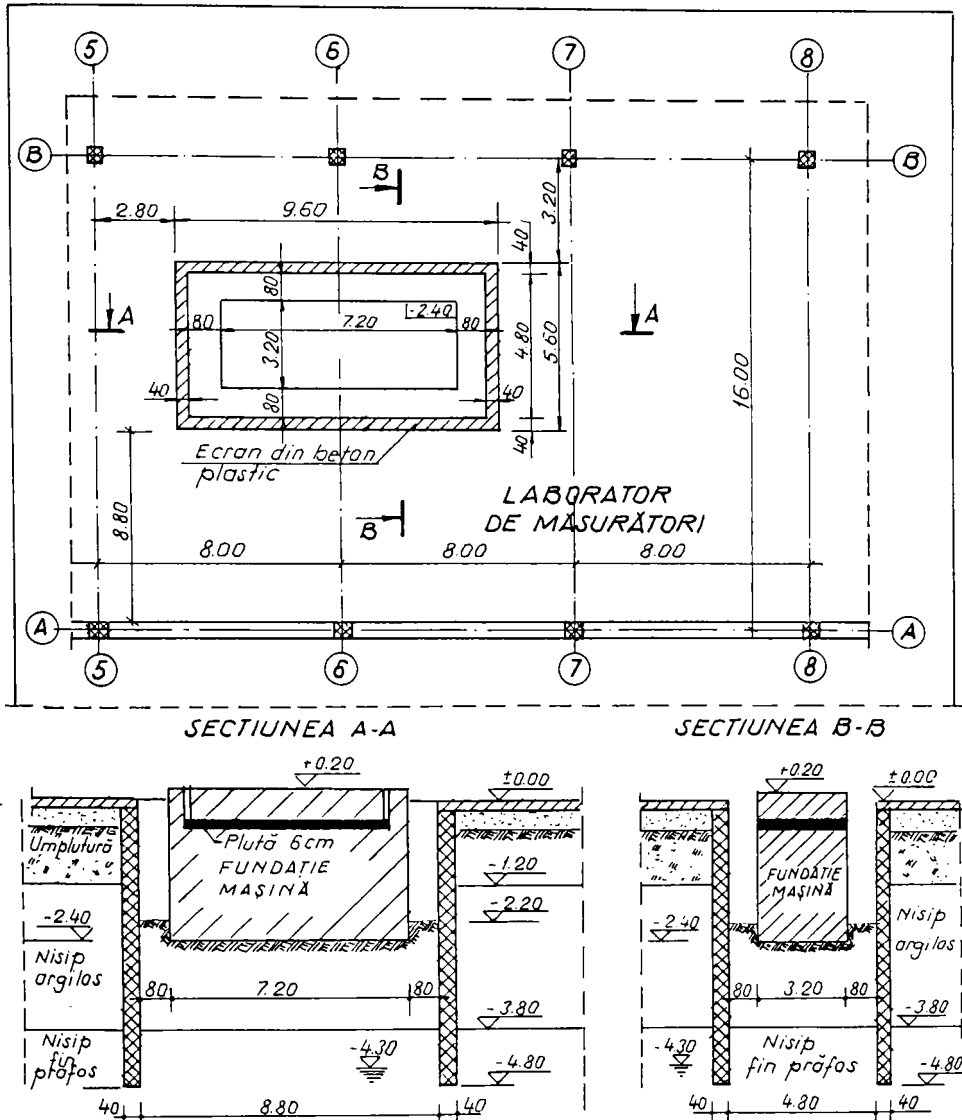


Fig. 4.21 Aplasamentul fundației și secțiuni transversale prin ecran

Prezența ecranului, ca o măsură suplimentară de izolare antivibratorie a fost necesară cu atât mai mult cu cât mașina de mare precizie folosită la șlefuirea lentilelor optice, impunea condiții foarte severe de izolare. În acest sens, accelerațiile maxime admise erau de 0,0012 g, iar amplitudinea maximă admisă de 6 μg . Furnizorul mașinii

mai impunea condiția ca presiunea statică pe pătura izolatoare din plută să fie de cel puțin 50 kPa, lucru asigurat de proiectantul fundației prin greutatea ansamblului mașină-fundație, ansamblu ce descarcă pe pătura de plută.

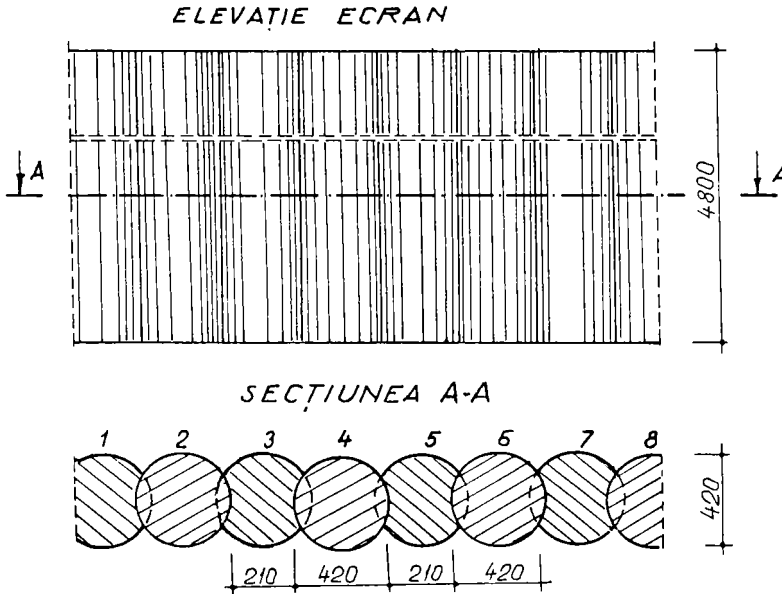


Fig.4.22 Detaliu de realizare a ecranului din beton plastic

Ecranul propriu-zis a fost realizat prin forare sub noroi bentonitic, utilizând tehnologia piloților secanți (fig.4.22). Coloana forată a avut diametrul de 420 mm, iar adâncimea de realizare a ecranului a fost de 4,80 m. Mai întâi s-au realizat piloții fără șoț, adică cei cu numerele 1, 3, 5, ..., după care, secant, s-au realizat cei cu număr par (2, 4, 6, ...). După atingerea cotei de fundare prin forare sub noroi bentonitic, s-a introdus noroiul autoîntăritor, format din emulsia de bentonită în apă cu adaos de 110 kg ciment la 1 m³ de material.

B. Sursele de perturbații

Perturbațiile existente în zonă care pot periclita buna funcționare a mașinii sunt:

- tramvaiul, care circulă la circa 35 metri depărtare de clădire;
- două ventilatoare de 22 kW fiecare, aflate la 30 metri depărtare de fundația mașinii;

- traficul industrial intern, mai ales camioanele ce transportă marfă, din și în întreprindere care trec prin fața halei;
- zgomotul industrial.

Măsurătorile efectuate în interiorul halei au arătat existență următoarelor valori ale vibrațiilor, prezentate în tabelul 4.10.

Tabelul 4.10 *Amplitudinile maxime ale vibrațiilor perturbatoare*

Tipul perturbației	Tramvai	Trafic rutier	Ventilatoare	Zgomot industrial
Amplitudinea maximă, μm	7	21	19	5...15

Perturbațiile produse de traficul rutier sunt cele mai mari și au fost măsurate la trecerea unui camion de 16 tone prin fața halei, la circa 3 metri de clădire, prin urmare la aproximativ 12 metri de punctul de măsură. Zgomotul industrial a avut un nivel mediu de 5 μm , hala ne fiind la timpul respectiv dată în funcțiune. Valorile de 15 μm au fost măsurate atunci când se lucra la instalațiile electrice și de ventilație din interior. În ce privește perturbațiile de la tramvai, acestea sunt destul de mici, deoarece distanța până la calea de rulare a tramvaiului este mare. Astfel că aceste perturbații s-au suprapus peste cele provenite din zgomotul de fond, separarea lor fiind destul de dificilă. Perturbațiile produse de ventilatoare au avut valori maxime de 19 μm , valori înregistrate la pornirea și oprirea acestora, dovadă că la aceste operații, ele treceau prin frecvența de rezonanță.

C. Caracteristicile terenului

Terenul de fundare este format dintr-o umplutură de nisip argilos compactat, de 90 cm grosime, așezată peste terenul natural, după înlăturarea pământului vegetal. Caracteristicile fizico-mecanice ale acestuia sunt prezentate în tabelul 4.11.

Tabelul 4.11 *Caracteristicile fizico-mecanice ale terenului de fundare*

Denumirea stratului	Grosimea, m	ρ g/cm ³	w %	e -	I_c -	Φ	c kPa	E_d MPa	E_k/E_d -	G_d MPa
Umplutură din nisip argilos	0,90	1,98	11	0,60	0,95	17°	32	142,7	4,21	54,9
Nisip argilos	2,60	1,87	18	0,68	0,84	17°	32	142,7	4,21	54,9
Nisip fin, prăfșos	De la -3,80 în jos	1,80	18	0,70	-	21°	-	-	-	-

Nivelul apei freatice a fost de -4,30 m față de cota 0,00 a construcției. Terenul sistematizat are cota -0,60 m, iar stratul vegetal are grosimea de 60...70 cm.

Măsurătorile de izolare antivibratorie s-au făcut înainte de turnarea pardoselii în interiorul laboratorului, după execuția ecranului, după și înainte de excavarea pământului din interiorul acestuia.

Observație: Lucrările de execuție a ecranului s-au făcut sub îndrumarea colectivului de fundații de la Universitatea de Construcții București, colectivul de

fundații de la Facultatea de Construcții din Timișoara făcând numai măsurătorile și studiile de transmitere a vibrațiilor prin ecran.

D. Sursa de vibrații

Ca sursă de vibrații s-a folosit un mai metalic de 10 kg, ce cade liber de la 60 cm înălțime, acționat manual. Frecvența de cădere a fost de aproximativ 30 lovituri pe minut. Prin urmare, vibrațiile induse în teren au fost de tip șoc. Prin măsurătorile efectuate s-a urmărit atenuarea undelor, mărime exprimată prin maximul deplasării înregistrată alternativ, în afara și în interiorul ecranului.

În prima fază s-a determinat viteza de fază a undelor de suprafață, viteză măsurată, așa cum se va vedea, prin determinarea timpului ca șocul provocat în teren de căderea mării să parcurgă o distanță bine precizată. În a doua etapă, încercările s-au axat pe măsurarea atenuării undelor produse de ecran, atenuare exprimată prin amplitudinea deplasării cu și fără ecran.

Lanțul de măsură a fost cel prezentat în 4.1.6, fiind alcătuit din traductor, amplificator, înregistrator etc. Deosebirea constă în faptul că măsurătorile s-au efectuat numai pe un singur canal, traductorul fiind montat alternativ în puncte situate pe direcția ecranului ($T_1...T_5$), figura 4.23, și cele situate în câmp liber, în afara ecranului ($T_6...T_{10}$). Mărimile corespunzătoare s-au notat cu A_i , la cele pe direcția ecranului și A_{oi} , la cele fără ecran, "i" reprezentând punctul de măsură ($i = 1, 2, \dots, 10$). Poziționarea traductorului a fost făcută astfel încât să se înregistreze componenta verticală a deplasării.

Diracția α_i (fig.4.23) sub care au fost amplasate punctele $T_6...T_{10}$ a fost diferită din cauza prezenței fundațiilor construcției, care, prin reflexia undelor, putea perturba înregistrarea undei directe.

4.2.2 Rezultate experimentale

Așa după cum s-a arătat, măsurătorile au constat în determinarea amplitudinii maxime a deplasării verticale a terenului, rezultate în urma unor căderi ritmice a unui mai metalic de 10 kg, de la 60 cm înălțime. În tabelul 4.12 prezentăm un eșantion

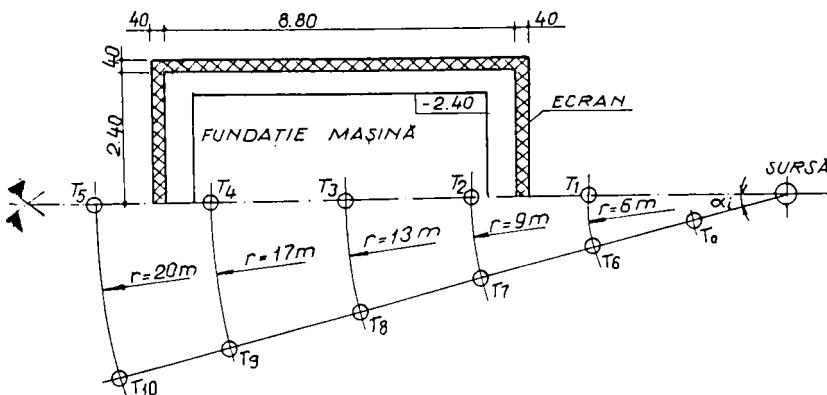


Fig. 4.23 Amplasarea punctelor de măsură în poligonul experimental

reprezentativ din amplitudinile măsurate ale deplasării verticale. Amplasarea punctelor de măsură și distanța între acestea și sursă sunt în conformitate cu figura 4.23.

Tabelul 4.12 *Amplitudinea deplasării verticale, în μm*

Punct citit	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀
Distanța de sursă	6m	9m	13m	17m	20m	6m	9m	13m	17m	20m
1	270	70	35	21	8	226	142	88	50	32
2	280	70	37	21	16	225	140	88	50	35
3	280	65	37	26	16	220	145	85	48	32
4	270	65	32	26	9	219	138	80	48	39
5	270	70	32	20	9	224	140	80	49	37
6	260	62	30	20	9	224	144	90	52	39
7	265	64	30	28	9	220	145	90	52	39
8	270	68	35	28	8	230	135	80	52	40
9	280	68	36	21	6	225	130	85	50	32
10	270	66	34	22	10	223	140	82	49	35
11	260	69	35	21	11	230	140	70	49	30
12	260	59	37	20	10	220	145	90	50	30
13	265	62	36	20	9	230	145	85	52	40
14	265	61	37	19	9	230	140	85	55	45
15	260	60	36	22	10	240	140	90	45	30
16	270	65	36	23	17	216	150	70	47	32
17	270	65	31	23	16	220	145	75	49	39
18	270	66	38	25	10	215	130	79	49	38
19	280	69	31	24	11	225	130	79	48	39
20	280	72	38	19	9	235	148	80	49	40
21	260	72	31	19	9	245	150	80	51	40
22	280	62	38	26	15	245	150	87	53	40
23	280	64	31	22	7	215	140	86	52	41
24	275	72	34	22	6	210	130	87	47	39
25	270	66	34	18	8	220	120	86	46	32
26	260	66	36	18	10	220	140	80	46	33
27	260	64	36	19	10	226	135	80	40	33
28	260	67	36	27	9	226	145	77	40	31
29	260	65	35	25	9	230	145	80	42	30
30	270	64	36	25	16	215	150	82	42	30

Pentru mărirea preciziei măsurătorilor, citirile s-au făcut în laborator, după înregistrarea pe teren a datelor pe bandă magnetică. Datorită formei complexe și aleatoare a semnalului rezultat, la citire s-a folosit și prezentarea semnalului pe osciloscopul aparatului de măsură. Se face mențiunea că ordinea de citire din tabelul 4.12 (1...30) nu este simultană pentru cele 10 puncte de măsură, citirea, după cum s-a

4.12 (1...30) nu este simultană pentru cele 10 puncte de măsură, citirea, după cum s-a menționat, făcându-se prin folosirea unui singur traductor. Prin urmare, citirile de pe linia 1, de exemplu, corespund la căderi diferite ale maiului, căutându-se a se înregistra maximul deplasării rezultate. S-a plecat de la premisa că fiecare lovitură va induce în teren aceeași energie, prin urmare, deplasările înregistrate pot fi comparate între ele, chiar dacă corespund la căderi diferite ale maiului. De altfel, folosind valori prelucrate statistic, se elimină o parte din erorile sistematice posibile.

În tabelul 4.13 prezentăm media aritmetică a amplitudinii maxime a deplasării, pentru cele 10 puncte de măsură din tabelul anterior.

Tabelul 4.13 *Media amplitudinii maxime a deplasării*

Punct citit	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀
Distanța de sursă	6m	9m	13m	17m	20m	6m	9m	13m	17m	20m
Amplit. medie, μm	270	66	34	22	10	223	140	82	49	35

În figura 4.24 se face o prezentare grafică, semilogaritmică, a acestor mărimi.

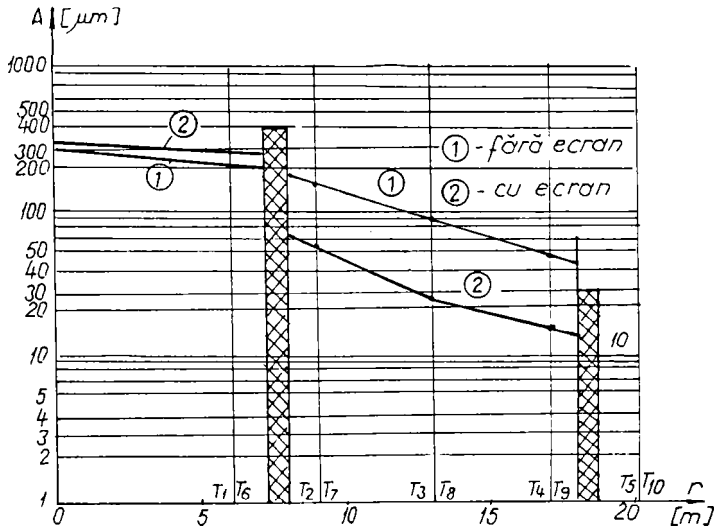


Fig. 4.24 Amplitudini maxime cu și fără ecran

Pentru determinarea amortizării interne, în tabelul 4.14 sunt prezentate valorile deplasării maxime în punctele T₆...T₁₀, măsurate, precum și cele calculate analitic, folosind relația 2.91, care consideră numai amortizarea geometrică. Aceste mărimi sunt prezentate grafic în figura 4.25, luând ca punct de referință amplitudinea din punctul T₆ (223 μm).

Tabelul 4.14 *Amplitudini cu fără amortizare*

Punct citit	T_6	T_7	T_8	T_9	T_{10}
Distanța de sursă	6m	9m	13m	17m	20m
Amplitudinea medie măsurată, μm	223	140	82	49	35
Amplitudinea calculată, μm	223	182	151	132	122

Aplicând relația lui Bornitz (2.92) se poate calcula un coeficient de amortizare internă mediu, de valoarea $\alpha = 0,087 \text{ m}^{-1}$, ceea ce indică un pământ cu proprietăți mari de amortizare.

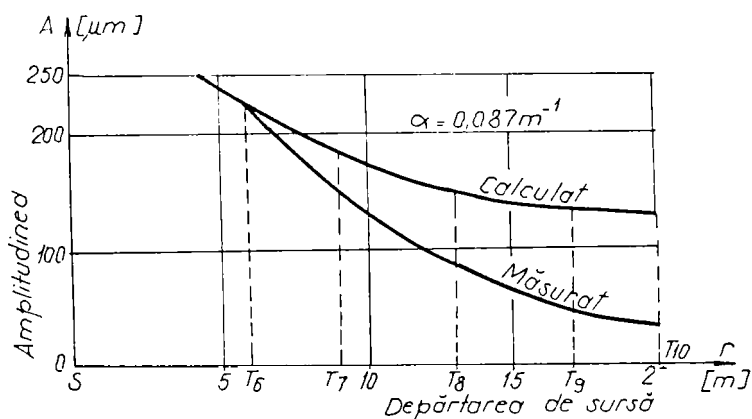


Fig. 4.25 Variația amplitudinii cu depărtarea de sursă

În figura 4.26 este prezentat un eșantion din măsurătorile efectuate în punctele T_3 și T_8 , situate la 13 m depărtare de sursă. Pentru ca cele două înregistrări să poată fi reprezentate la aceeași scară și, deci, să poată fi comparate, înregistrarea din punctul T_3 , situat în interiorul ecranului, a fost multiplicată de 3,2 ori. Acest raport reflectă, de altfel, efectul de izolare produs de ecran.

Pentru alte puncte de măsură, raportul amplitudinilor medii, cu și fără ecran, este prezentat în tabelul 4.15.

Pentru o mai bună interpretare, aceste rezultate sunt prezentate în figura 4.27.

Din datele prezentate în tabelul 4.15 se observă că pentru punctele T_3 , T_3 și T_4 , situate în interiorul ecranului (fig.4.23) valorile raportului de reducere a amplitudinilor, datorită ecranului, sunt cuprinse între 0,372 și 0,303, ceea ce în procente ar reprezenta o reducere a amplitudinii de 68...70%.

În punctul T_1 , situat în fața ecranului, se constată o mărire a amplitudinii ($A_6 / A_1 = 1,21$), mărire datorată interferenței unei incidente cu unda reflectată de ecran.

Pentru punctele T_5 și T_{10} , rezultatele nu sunt concludente din cauza distanței mari de sursa de vibrații și posibilității reduse de măsurare a vibrațiilor în câmp liber, din considerente locale.

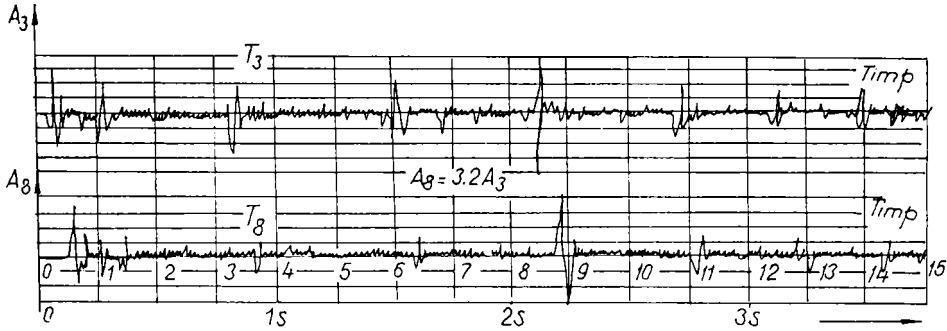


Fig. 4.26 Eșantion din măsurătorile efectuate

Viteza undelor Rayleigh, măsurată prin folosirea punctelor T_0 ($r = 3\text{m}$) și T_{10} ($r = 20\text{m}$) a fost de 155 m/s . Amplitudinile măsurate în aceste puncte au fost de 240

Tabelul 4.15 Raportul amplitudinilor cu și fără ecran

Punct de măsură	T_1/T_6	T_2/T_7	T_3/T_8	T_4/T_9	T_5/T_{10}	Media
Distanța, m	6	9	13	17	20	-
Λ_i/Λ_{0i}	1.21	0.472	0.412	0.443	0.291	0.442

μm și respectiv $20,1\ \mu\text{m}$. Diferența de timp măsurată pentru ca semnalul să parcurgă cei 17 m a fost de $0,11$ secunde, ceea ce conduce la viteza amintită. Folosind relația

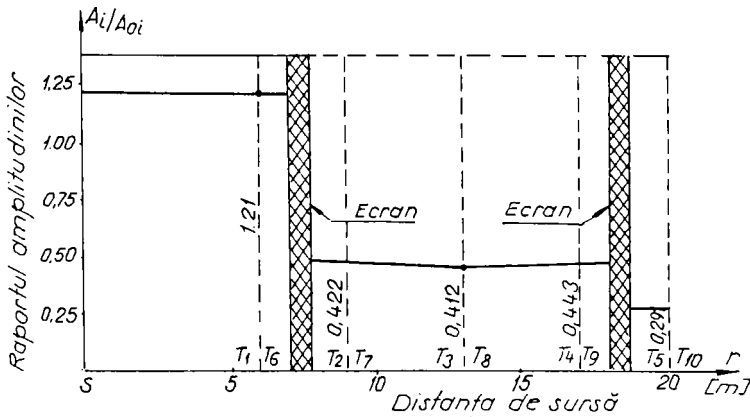


Fig. 4.27 Raportul amplitudinilor cu și fără ecran

2.92. rezultă un coeficient de amortizare $\alpha = 0,09 \text{ m}^{-1}$, valoarea apropiată de cea medie, prezentată în figura 4.25 ($\alpha = 0,087 \text{ m}^{-1}$).

Pe baza relațiilor între v_R și v_S , prezentate în paragraful 2.3, rezultă că viteza undelor de forfecare $v_S = 170 \text{ m/s}$. Densitatea medie, ponderată pe înălțime, a primelor două straturi de pământ, prin care se presupune că se propagă unda R, este $\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$ (pe 3.5 m adâncime). Din relațiile prezentate în capitolul 2 (2.5 și 2.18) se obțin, pentru terenul în care s-a executat ecranul, valorile: $G_d = 54910 \text{ kPa}$. $E_d = 142700 \text{ kPa}$ și un coeficient Poisson $\nu = 0,30$.

Pentru determinarea caracteristicilor dinamice ale ecranului s-a folosit tot metoda determinării vitezei de fază. Sursa de vibrații a fost aceeași, dar a fost montată pe peretele ecranului (fig.4.28).

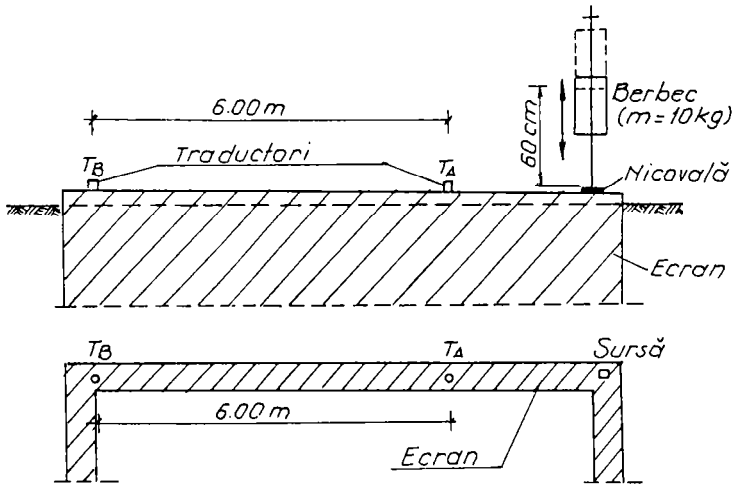


Fig. 4.28 Determinări experimentale pe ecran

Prin această măsurătoare s-a urmărit determinarea vitezei de propagare a undelor de forfecare. Pentru aceasta, traductorii au fost așezați pe direcție verticală. Timpul de propagare a distanței de 6 m între traductori, a fost de 20,5 ms. de unde rezultă o viteză $v_S = 321 \text{ m/s}$ și respectiv, $v_R = 292 \text{ m/s}$. Densitatea volumică a betonului plastic a fost de 2300 kg/m^3 , iar prin folosirea relației (2.18) se obține un modul de forfecare dinamic $G_d = 238 \text{ Mpa}$ și un modul de compresiune longitudinal, dinamic, $E_d = 600 \text{ MPa}$.

În concordanță cu studiile pe model întreprinse de A.W.Haupt (1978). [52], raportul mărimilor dinamice ale ecranului față de cele ale betonului sunt:

$$\rho_k / \rho = 2300 \text{ kg/m}^3 / 1900 \text{ kg/m}^3 = 1,21;$$

$$v_k / v = 292 \text{ m/s} / 155 \text{ m/s} = 1,88;$$

$$E_k / E = 600 \text{ MPa} / 142,7 \text{ MPa} = 4,21;$$

$$(E_k \rho_k / E \rho)^{1/2} = 2,26,$$

k scris indicând caracteristica ecranului.

Corelând aceste date cu cele prezentate în tabelul 1.2, rezultă că ecranul este de tip "D". Prin urmare, o parte din concluziile studiului teoretic cu element finit întreprins de Haupt [51], pe un model ipotetic, pot fi comparate cu măsurătorile făcute de autor, pe ecranul real din beton plastic.

4.2.3 Concluzii privind ecranele din beton plastic

Conform clasificării făcute în capitolul 1, dacă raportul $E_k/E > 1$, deci, rigiditatea ecranului este mai mare ca a terenului, în cazul de față $E_k/E = 4,21$, arată că ecranul realizat este rigid. Desigur că un astfel de ecran este de așteptat să nu aibe caracteristici de izolare similare cu un ecran din beton armat sau ecran deschis. Totuși, datorită economiei de materiale ce se realizează, mai ales la ciment și la agregate pentru beton, suntem tentați să înlocuim ecranele din beton cu cele din beton plastic.

Folosind tehnologia pereților mulați, la care săparea se face cu excavatorul cu cupă inversă, iar materialul săpat se amestecă direct în tranșee, fără a mai fi necesar transportul acestuia, soluția devine destul de economică

Un alt avantaj al protecției antivibratorii cu ecran din beton plastic este acela al posibilității folosirii ecranului în perioada de execuție a lucrărilor, ca element de sprijinire, sau, când este cazul, și de impermeabilizare.

Comparat cu ecranele deschise, ecranul din beton plastic are avantajul că nu necesită lucrări de sprijinire a pereților ecranului, lucru care, la ecranele deschise se face cu pereți din palplanșe, acestea măbind mult costul lucrării de ecranare, ceea ce le face comparabile ca preț cu ecranele din beton.

Comparat cu ecranele din noroi bentonitic, care la execuție pot fi mai ieftine, ecranele din beton plastic au marele avantaj că în timp își păstrează calitățile de ecranare. Ecranele noroioase își pierd calitatea de ecranare datorită reducerii fluidității noroiului, refacerea acestuia în timp, periodic, duce la mărirea cheltuielilor de întreținere.

Bucurându-se de avantajele amintite se pune totuși problema efectului de ecranare pe care îl au ecranele din beton plastic.

Din analiza măsurătorilor întreprinse, a căror rezultat este rezumat în tabelul 4.14, se observă că reducerea amplitudinii undelor incidente, reducere exprimată prin raportul amplitudinilor deplasării cu și fără ecran (A_1/A_0), este cuprins între 0,412 și 0,472, pentru punctele T_2 , T_3 și T_4 , situate în interiorul ecranului. Media aritmetică a acestui raport este de 0,442, valoare ce poate fi considerată ca mărime de referință în această ecranare (cu ecran din beton plastic).

Având în vedere că în cazul undelor armonice energia, este proporțională cu pătratul amplitudinii deplasării, între energia indusă și energia incidentă raportul va fi de 0,20, rezultă că numai 20% din energia incidentă pe ecran va ajunge în spatele ecranului.

Dacă acest efect de ecranare este suficient sau nu, într-un caz dat, depinde de fiecare situație în parte, după cum perturbațiile transmise prin ecran vor fi sau nu sub limita admisă. Pentru cazul de față această atenuare este insuficientă. Aceasta rezultă din corelarea factorului de reducere a amplitudinii perturbatoare, prezentat în tabelul

4.10. Din analiza acestor date rezultă, că după ecranare, perturbațiile vor avea amplitudini maxime date în tabelul 4.16.

Tabelul 6.6 *Perturbații înainte și după ecranare*

Sursa perturbatoare	Tramvai	Trafic rutier	Ventilatoare	Zgomot industrial	Limita admisă
Înainte de ecranare, μm	7	21	19	5...15	-
După ecranare, μm	3,1	9,3	8,4	2,2...6,6	6,0

Analizând valorile din acest tabel se observă că după ecranare traficul rutier din incintă și ventilatoarele vor continua să perturbe buna funcționare a mașinii, deplasările produse de aceste perturbații depășind limita admisă (de $6,0 \mu\text{m}$). Din această cauză s-a ajuns la luarea unor măsuri suplimentare, de izolare mecanică pasivă a mașinii, izolare realizată prin intermediul unui strat de plută de 6cm grosime, dar și prin asigurarea unui spațiu liber între ecran și fundația mașinii (vezi fig. 4.21). Acest spațiu, ce se comportă ca un ecran deschis, așa cum se va arăta în capitolul 6, împiedică undele Rayleigh să ajungă la ecran.

Prin urmare, eventualele perturbații ce ar ajunge la mașină, ar putea rezulta numai din difracția undelor pe sub ecran. Adâncimea acestui spațiu liber între ecran și fundație este de 2,20m, ceea ce, pentru o viteză a undelor de 155m/s acoperă o frecvență ce trece de 42 Hz. Dar, frecvențele joase, sub 42Hz, vor fi cele care vor difracta pe sub ecranul deschis. Este totuși de amintit că, în cazul dat, perturbațiile au avut ca limită accelerația (sub $0,0012g$) și că accelerații mari au vibrațiile cu frecvență mare, deci chiar acelea la care efectul de ecranare este mai eficient. De aceea, izolarea mecanică locală, pasivă, va trebui făcută pentru oscilații având componente de frecvență sub 50Hz.

CAPITOLUL V

STUDII ȘI CERCETĂRI EXPERIMENTALE ASUPRA ECRANELOR CELULARE

5.1. CONSIDERAȚII ASUPRA ECRANELOR CELULARE

După cum rezultă din capitolul I, una din concluziile desprinse din studii bibliografic și care constituie o propunere a autorului tezei, de protecție antivibratorie a construcțiilor este aceea a folosirii ecranelor celulare. Aceste ecrane, după cum s-a amintit, sunt alcătuite din panouri din tuburi de polietilenă (PVC) prinse împreună, cu dimensiunile (lungime, lățime, grosime) impuse de situația reală de pe teren.

Propunerea realizării ecranelor celulare, ca soluție de protecție antivibratorie, se bazează atât pe un suport teoretic, cât și pe unul practic.

5.1.1 Aspecte teoretice care impun folosirea ecranelor celulare

A. Ecranele celulare se aseamănă, din punct de vedere al reflexiei și transmisiei undelor prin ecran, cu ecranele deschise. Reamintim cele afirmate în capitolele 1 și 3, că transmisia undelor prin ecranele deschise este practic zero, prin urmare, prin ecranele deschise nu se transmite nici un tip de unde, deoarece impedanța aerului ce formează ecranul este neglijabilă față de impedanța terenului de fundare ce constituie mediul de propagare.

Sub acest aspect, pentru a apropia comportarea ecranelor celulare de cea a ecranelor deschise, tuburile din plastic ce alcătuiesc ecranul, trebuie să aibă densitate și rigiditate cât mai mică, știut fiind că impedanța $Z = \rho v$ scade odată cu scăderea densității, dar și cu rigiditatea, deoarece viteza de propagare a undelor scade odată cu scăderea modulului de deformație G . Din acest punct de vedere, tuburile folosite vor fi de tip ușor sau mediu (de joasă sau medie presiune), tuburi ce au pereți cât mai subțiri și diametrul cât mai mare.

Alegerea unor tuburi cu pereți mai groși va avea drept consecință creșterea rigidității, prin urmare a impedanței, concomitent cu reducerea efectului de ecranare. Însă, grosimea pereților poate fi impusă, după cum se va vedea, de adâncimea de realizare a ecranului; la ecranele adânci, presiunea din împingerea pământului fiind mare, se poate ajunge în situația strivirii ecranului de către pământ. Prin urmare, pentru a rezista, vor fi necesare tuburi cu rezistențe sporite.

B. *Reflexia undelor pe ecranele celulare se așteaptă să fie cât mai mare, comparabilă cu cea pe ecranele deschise, știut fiind că, dacă luăm în considerare numai prima interfață a ecranului, coeficientul de reflexie a amplitudinii deplasării*

(vezi relația 3.14) este: $R_{1,2} = (Z_1 - Z_2) / (Z_1 + Z_2)$. Acest coeficient crește odată cu scăderea impedanței Z_2 a ecranului și, conform celor afirmate la subparagraful (3.1.2), dacă $Z_2 \rightarrow 0$, rezultă că $R_{1,2} \rightarrow 1$, prin urmare, reflexia undelor incidente pe ecran va fi cu atât mai mare cu cât Z_2 este mai mic.

Sub acest aspect, rezultă ca fiind eficientă alegerea unui ecran cât mai puțin rigid și care să permită o deformare elastică cât mai mare, deoarece coeficientul de transmitere al deplasării este dublu în cazul suprafeței libere ($T = 1+R = 2$) și, prin urmare, ecranul va trebui să poată prelua aceste deformări.

C. În ce privește *transmiterea undelor prin ecranul celular*, dacă se ia în considerare, de exemplu, energia transmisă, conform legii conservării energiei, energia transmisă este egală cu energia totală, incidentă pe ecran, din care se scade energia reflectată, (vezi relația 3.41):

$$|T|^2 = 1 - |R|^2$$

și cum, la ecranul celular, R^2 tinde la 1, așa cum s-a arătat înainte, rezultă că T^2 tinde la 0.

Condiția importantă care se pune pentru ecranele celulare este deci ca acesta să poată prelua deformării normale cât mai mari și, în măsura în care acest lucru este posibil, eficiența ecranului va fi mai mare. Aceasta explică de ce de la ecranele din panouri duble, triple sau mixte se așteaptă să aibă o eficiență mai mare și tot astfel ecranarea să crească odată cu creșterea diametrului tuburilor și cu scăderea grosimii pereților acestora.

5.1.2 Aspecte tehnice ce impun folosirea ecranelor celulare

Avantajele practice ce se obțin prin folosirea ecranelor celulare rezultă din compararea lor cu alte tipuri de ecrane.

A. *Față de ecranele deschise*, ecranele celulare au avantajul că nu necesită sprijinirea pereților săpăturii decât, eventual, în perioada de execuție. Reamintim că la ecranele deschise trebuie luate măsuri de sprijinire a pereților săpăturii pe toată perioada de existență a ecranului. Prin urmare, la acestea sunt necesari pereți din palplanșe, pereți ce rămân înglobați în ecran și care măresc mult costul unei astfel de ecranări. Chiar acolo unde pământul își menține verticalitatea pereților săpăturii, în perioada de execuție și când ecranele celulare nu au nevoie de sprijiniri pentru a fi executate, la ecranele deschise aceste sprijiniri nu pot lipsi.

B. *Față de ecranele noroioase*, realizate cu noroi bentonitic, ecranele celulare au avantajul că nu necesită în timp lucrări de întreținere. Odată realizate, ele sunt acoperite cu pământ și nu mai este necesară nici o lucrare de întreținere pe perioada existenței acestora. La ecranele noroioase sunt necesare lucrări periodice de menținere a fluidității noroiului, lucru care în timp duce la reducerea calității ecranului, prin prăbușirea pereților săpăturii.

C. *Față de ecranele din beton*, ecranele celulare au avantajul unui preț de cost mult mai mic pe metru pătrat de ecran. Aceasta rezultă atât din materialele folosite la execuție, cât și din manopera utilizată la realizarea ecranului. La ecranele din beton turnat pe loc, după tehnologia pereților mullați, grosimea ecranului este determinată de dimensiunile cupei utilajului de săpat, ceea ce, în general, duce la consum apreciabil de beton. Pe de altă parte, așa cum recomandă diferiți autori și în special W.A.Haupt (1974) [52], ecranul rigid devine eficient dacă grosimea acestuia este de cel puțin $0,1 \lambda_R$, grosimea recomandată fiind $0,2 \lambda_R$. Prin urmare, dacă lungimea de undă este de exemplu de 4 metri, valoare ce de multe ori este depășită, mai ales la frecvențe de sub 50 Hz, frecvențe des întâlnite la vibrațiile din domeniul tehnologic sau din trafic, ar rezulta un ecran cu grosimea de 80 cm, grosime ce implică un consum apreciabil de beton.

Același efect de ecranare se poate obține însă cu un ecran celular mixt, la care grosimea acestuia să nu depășească 20 cm, sau chiar mai puțin, dacă adâncimea acestuia nu depășește 6 metri.

D. *Față de ecranele din beton armat*, ecranele celulare au avantajul că sunt mult mai ieftine datorită faptului că necesită și mai puține materiale și mai ieftine, iar manopera este mai redusă. De fapt, așa cum s-a arătat în capitolul 4, ecranele din beton armat trebuie bine justificate, creșterea calității betonului și sporul de armătură neaducând avantaje semnificative în ecranare.

E. *Față de ecranele din beton plastic* (realizate direct în tranșee, prin amestecul materialului săpat cu ciment, zgură sau var și care pot fi mai ieftine ca ecranele celulare deoarece acestea necesită transportul pământului din spațiul ocupat de ecran), ecranele celulare realizează o ecranare mult mai bună. Așa după cum s-a arătat în capitolul 1, din studiile teoretice întreprinse de Haupt [52], dar și din măsurătorile pe care autorul tezei le-a făcut pe un ecran din noroi bentonitic autoîntăritor, tip batardou, măsurători prezentate în capitolul 4, acest ecran nu realizează o reducere a amplitudinilor sub 50%, decât prin aportul unei cantități mari de ciment, ceea ce le face neeconomice în comparație cu ecranele celulare.

5.2 CONDIȚII TEHNICE DE REALIZARE A EXPERIMENTĂRILOR

5.2.1 Poligonul experimental

Inercările s-au efectuat în hala laborator a Departamentului de Inginerie Geotehnică și Căi de Comunicații Terestre a Facultății de Construcții din Timișoara, într-un buncăr din beton armat umplut cu nisip (fig.5.1). Dimensiunile în plan ale zonei din buncăr folosite la experimentări este de 4,00 x 6,00 metri, zonă delimitată de restul buncărului de un perete metalic despărțitor. Adâncimea nisipului din buncăr a fost de 3 metri, adâncime ce face ca undele reflectate de fundul buncărului și care pot influența măsurătorile în punctele de măsură să fie suficient de mare pantru ca

intensitatea acestor unde să scadă semnificativ datorită amortizării interne, dar mai ales a amortizării geometrice.

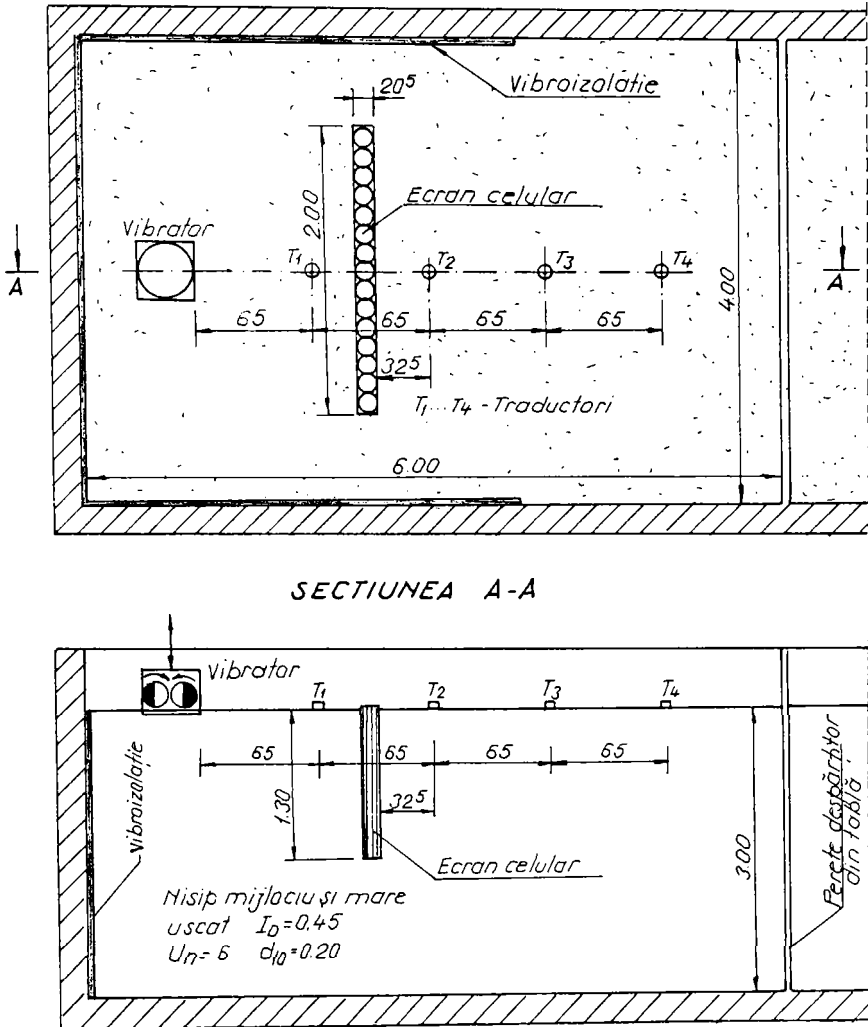


Fig. 5.1 Poligonul experimental

Pentru a reduce reflexia undelor de pereții laterali ai buncărului, aceștia au fost căptușiți cu plăci ondulate din plastic, care, pe lângă absorbția unei părți din energia undelor incidente, prin forma lor vor provoca și o oarecare dispersie.

Poligonul experimental este prezentat în detaliu în figura 5.2, pentru cazul ecranului dublu și în figura 5.3, pentru cel al ecranului simplu (vezi 5.2.2).

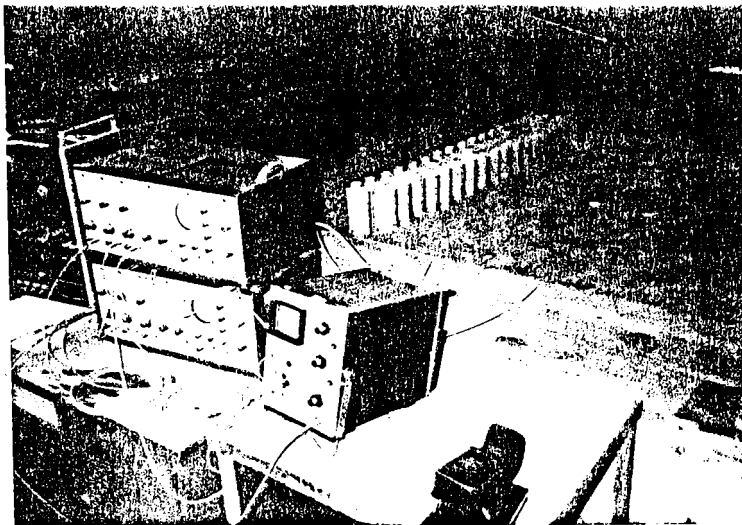


Fig. 5.2 Poligonul experimental. Măsurători pe ecranul dublu
 Punctele de măsură $T_1 \dots T_4$ au fost amplasate la 65 cm distanță între ele și față de vibrator (fig.5.1). În aceste puncte s-au amplasat simultan 4 traductori de

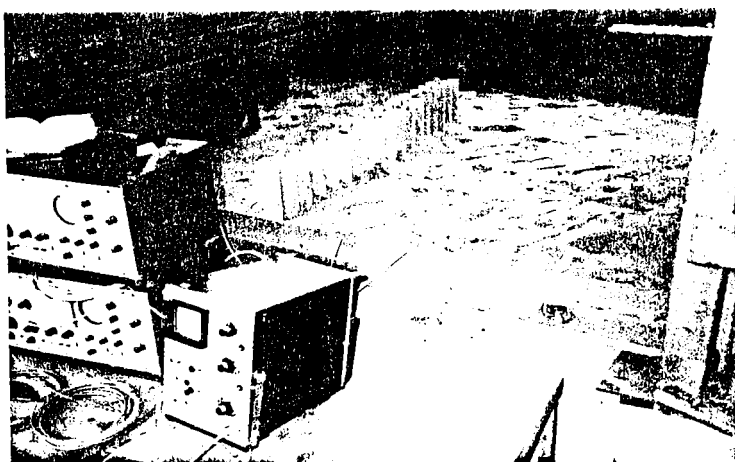


Fig.5.3 Poligonul experimental. Măsurători pe ecranul simplu

același tip KB12 legați la cele patru canale ale lanțului de măsură prezentat în capitolul 4.

Măsurătorile s-au făcut cu ecranul montat între traductorii T_1 și T_2 , la 32,5 cm distanță de T_2 , așa cum se vede în figura 5.1. Al doilea set de măsurători s-a făcut cu ecranul având grosimea pe jumătate (fig.5.3). Lucrul realizat prin scoaterea unuia din cele două panouri din care a fost realizat ecranul.

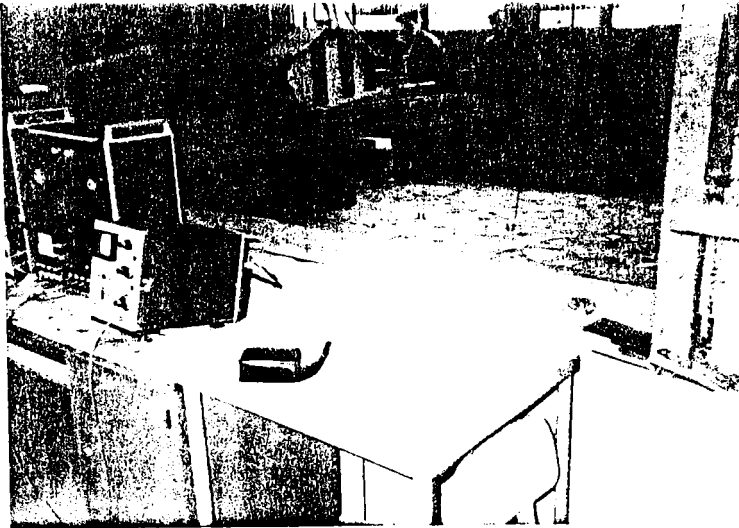


Fig. 5.4 Poligonul experimental. Măsurători fără ecran

În a treia fază, ecranul a fost scos definitiv, măsurătorile făcându-se fără ecran (fig.5.4); detaliile de montare ale traductorilor și ale ecranelor sunt prezentate în figurile 5.5, 5.6 și 5.7.

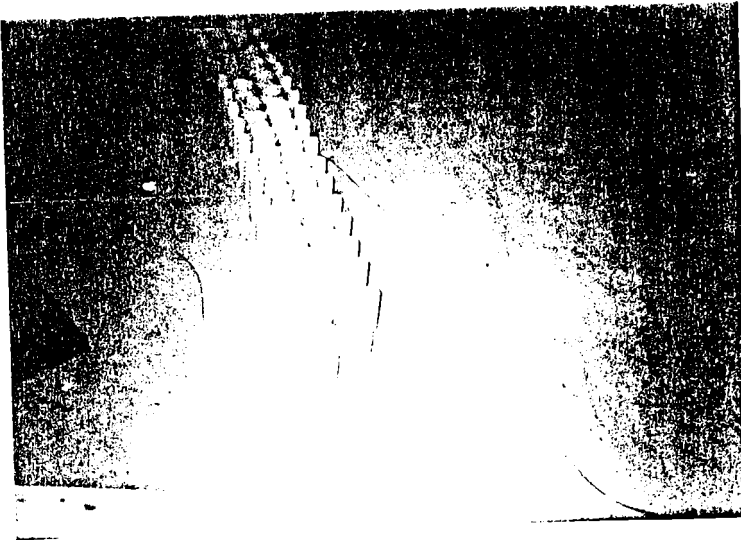


Fig. 5.5 Detaliu de montare a ecranului dublu

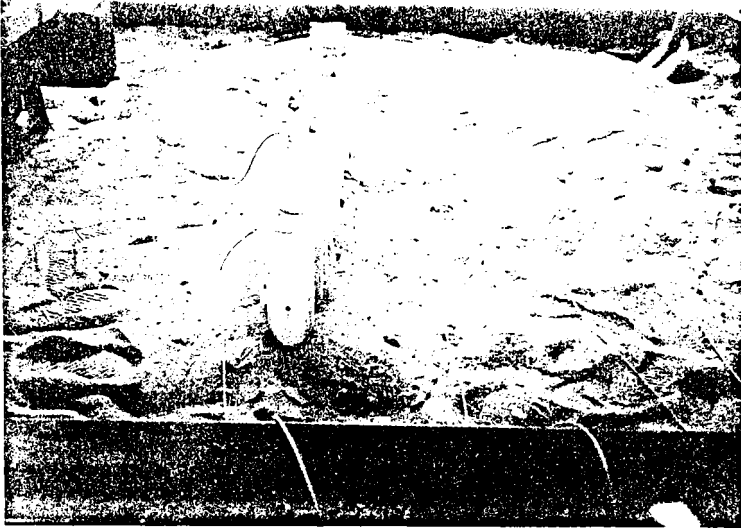


Fig. 5.6 Detaliu de montare a ecranului simplu

Toate măsurătorile efectuate în cele trei faze menționate au avut ca scop evidențierea influenței grosimii ecranului celular în realizarea ecranării.

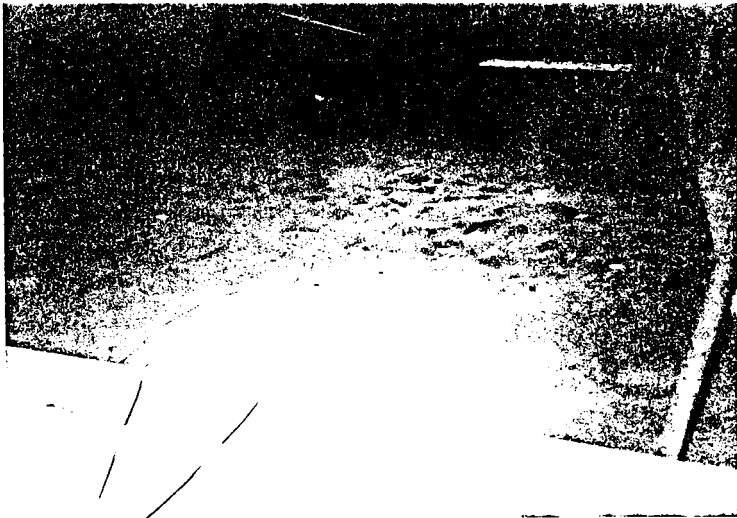


Fig. 5.7 Detaliide montare a traductorilor fără ecran

5.2.2 Ecranul și mediul de propagare a vibrațiilor

Ecranul a fost realizat din două rânduri de panouri puse față în față (fig.5.8 și 5.9). Un panou este alcătuit din tuburi de PVC neplastefiat, de tip ușor (U), având diametrul de 110 mm și din tuburi de 50 mm între rosturi (tuburi tip STAS

6675/1...8-74); tuburile mici au și rolul de a împiedica pătrunderea nisipului între panouri și a asigura astfel spațiul liber necesar pentru funcționarea ecranului.

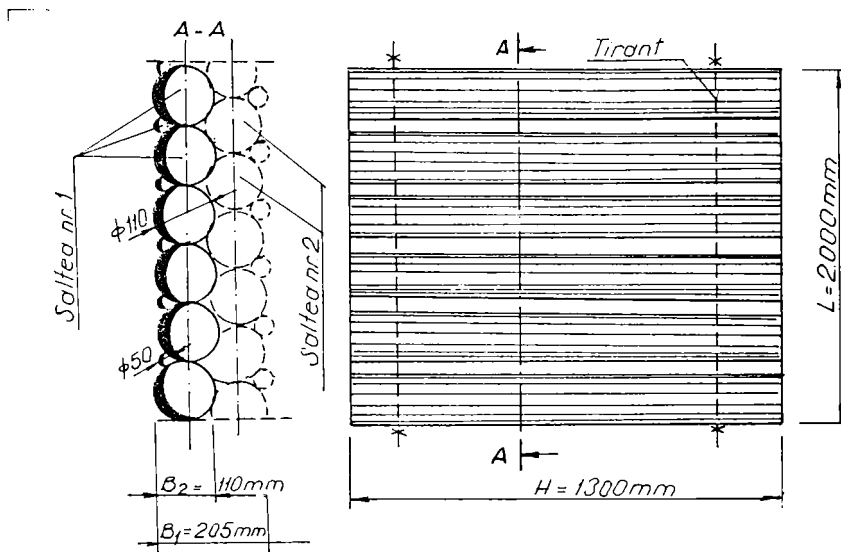


Fig. 5.8 Detaliu de realizare a ecranului celular
Dimensiunile ecranelor folosite au fost:

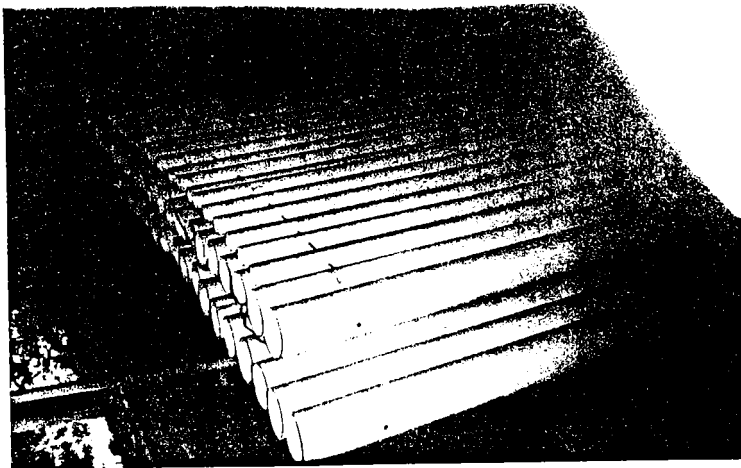


Fig.5.9 Panouri pentru realizarea ecranului celular

- lungimea $L = 2$ m;
- adâncimea $H = 1,30$ m;
- grosimea $B = 0,205$ m, în cazul *ecranului dublu* (ecran format din două panouri alăturate) și $B = 0,11$ m pentru *ecranul simplu* (cel format dintr-un singur panou). În figura 5.8, secțiunea A-A, al doilea panou este reprezentat punctat.

Tuburile subțiri nu au fost prinse de panoul din tuburi mari și nici cele două panouri între ele, apropierea lor făcându-se numai sub presiunea nisipului în care au fost montate.

Poziția tuburilor în ecran a fost verticală, aceasta mai ales din considerente de execuție, dar și pentru a împiedica pătrunderea nisipului în tuburi, în cazul montării orizontale a acestora. Totodată, montarea orizontală a tuburilor ar favoriza, așa cum se va arăta, propagarea vibrațiilor prin ecran, în cazul montării acestuia sub nivelul apei freactice.

Mediul de propagare a vibrațiilor este format din nisipul cuarțos, mijlociu și mare, cu care a fost umplut buncărul. Principalele caracteristici ale acestuia sunt prezentate în tabelul 5.1.

Tabelul 5.1 *Caracteristicile nisipului*

Caracteristica	d_{10} mm	U_n -	γ_s kN/m ³	γ kN/m ³	w %	n %	e_{\min} -	e_{\max} -	I_D -
Valoarea	0,20	6	26,5	17,2	1	42	0,45	0,94	0,45

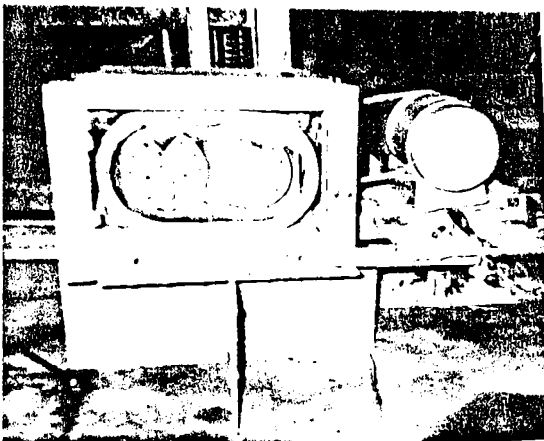


Fig. 5.10 Sursa de vibrații

amortizare pe pereții buncărului (căptușeala), se poate considera că nisipul, pe durata de execuție a încercărilor, a avut o îndesare medie ($I_D = 1/3 \dots 2/3$).

Fracțiunile granulometrice sunt cuprinse între 0,15 și 2,0 mm, iar umiditatea este cea naturală din laborator (aproximativ 1%). Practic nisipul poate fi considerat uscat.

Valorile mărimilor γ , n, I_D și e_{\min} , e_{\max} sunt date în tabelul 5.1, ele depinzând de starea de îndesare a nisipului în timpul execuției încercărilor. Oricum, datorită faptului că nisipul este redusă a nisipului și afănarea acestuia prin lucrările aferente montării ecranului, precum și a stratului de

5.2.3 Sursa de vibrații și lanțul de măsură

Sursa de vibrații a fost alcătuită dintrun vibrator cu excentrici, ce se rotesc sincron, cu turație variabilă, între 0 și 65 Hz (fig. 5.10). Prin compunerea forțelor centrifuge ce apar se obține o forță rezultantă verticală, orientată în sus sau în jos, în funcție de poziția maselor excentrice (fig. 5.11). Excentricii (în număr de 4 bucăți), ce se rotesc sincron, invers unul față de celălalt, pot fi reglați în 6 trepte de câte 120g fiecare. Prin urmare, o treaptă are masa excentrică $M = 4 \times 120g = 480g$.

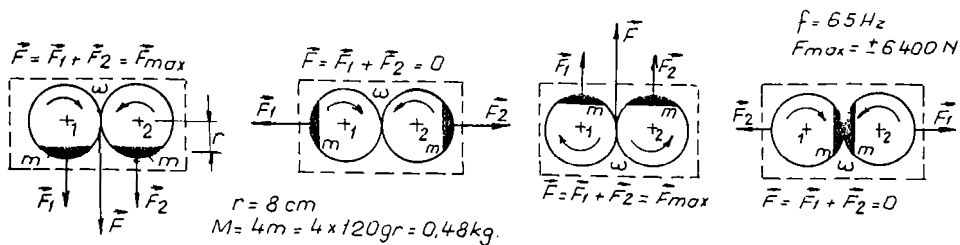


Fig.5.11 Compunerea forțelor centrifuge excitatoare

Pentru cazul studiat s-a folosit cea mai mică treaptă a sursei, cea cu masa de 480g, rezultând o forță armonică, a cărei amplitudine, la frecvența maximă de 65Hz, este $F_{max} = \pm 6400 \text{ N}$.

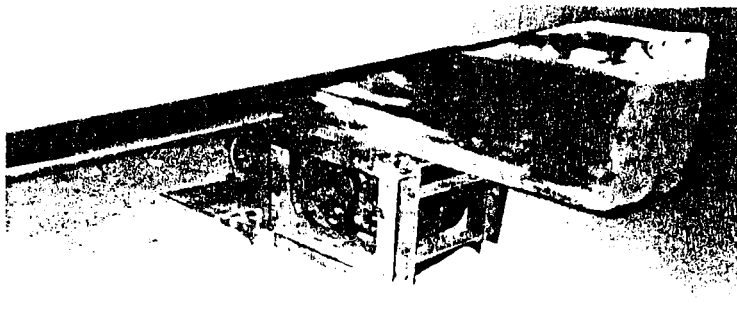


Fig.5.12 Sursa de vibrații în poziție de lucru

Pentru preluarea acestei forțe, când este orientată în sus, sursa a fost lestată cu grinzi metalice, așa cum se vede în figura 5.12. De asemenea, pentru a împiedica alunecarea pe talpă a sursei în timpul lucrului, la partea inferioară a acesteia au fost sudate 4 aripi metalice, aripi ce se afundă în nisip la lestarea sursei, înainte de înce-rea rocesului de vibra-re riu-zis.

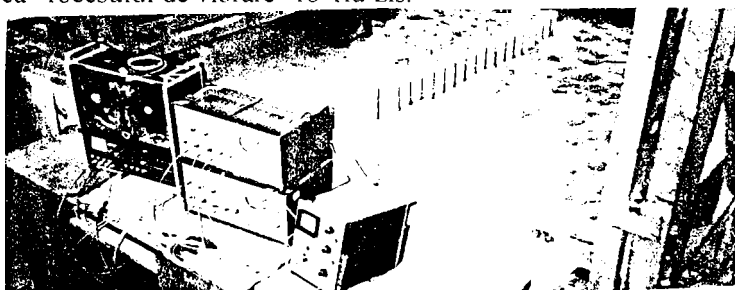


Fig. 5.13 Lanțul de măsură în poziție de lucru

Un inconvenient al acestui mod de excita-re a terenului este acela al inducerii în teren a unei energii ce crește proporțional cu pătratul frecvenței. De aceea, în exprimările grafice sau numerice ale efectului de ecranare, se va face raportul a două mărimi identice, amplitudini ale deplasării, vitezei sau accelerației, ceea ce duce la eliminarea acestui inconvenient.

Lanțul de măsură folosit la măsurarea și înregistrarea parametrilor dinamici, este cel a cărui componente și schemă bloc este prezentată în capitolul 4.

Măsurătorile s-au făcut simultan pe patru canale, cu înregistrarea datelor pe bandă magnetică, iar prelucrarea acestora s-a făcut după aceea, în laborator.

Lanțul de măsură, în poziție de lucru, este prezentat în figura 5.13, iar detalii ale componentelor acestuia sunt date în figurile 5.14 și 5.15.

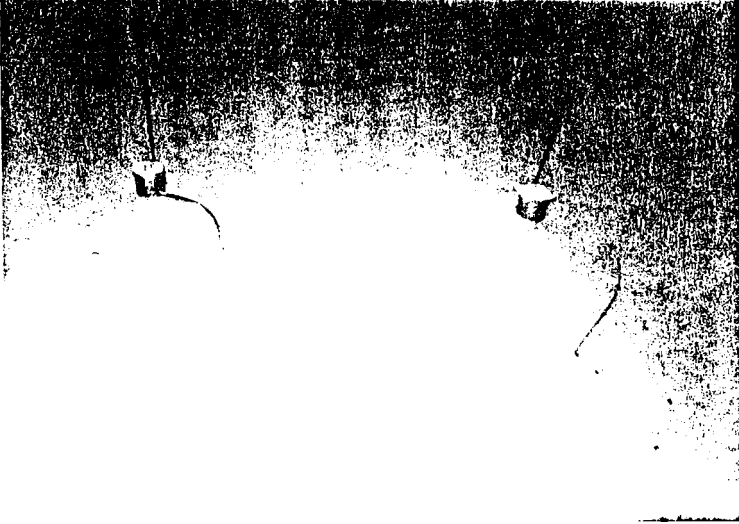


Fig.5.14 Traductorii KB12 în poziție de lucru

Deoarece sistemul de măsură a fost prezentat în detaliu, în capitolul 4, nu vom mai insista aici asupra acestuia.

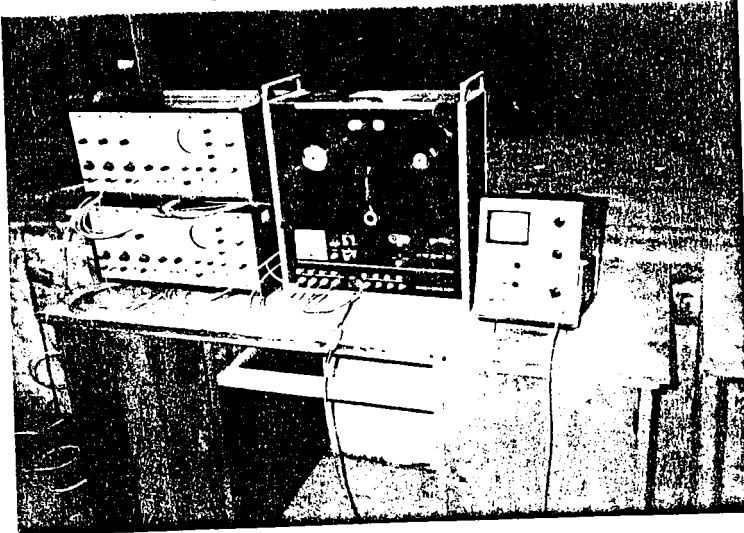


Fig.5.15 Componente ale lanțului de măsură: magnetofon, amplificator M231, osciloscop

5.3 REZULTATE EXPERIMENTALE OBȚINUTE

5.3.1 Metodologia determinărilor experimentale

Prima serie de măsurători, așa cum s-a arătat în paragraful anterior, s-a făcut după montarea ecranului dublu. Acesta este format din două panouri din tuburi de 110mm, montate față în față (fig.5.16), interspațiile între aceste tuburi fiind ocupate

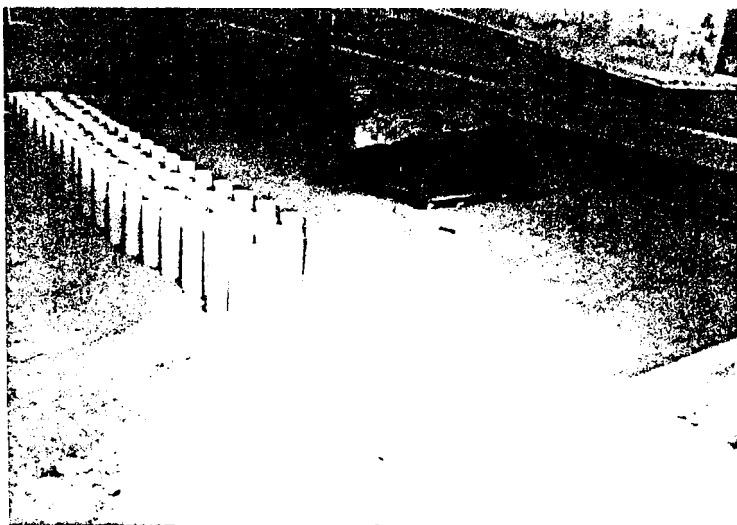


Fig5.16 Ecran dublu , de 205mm grosime, în poziție de lucru

prin montarea, lateral, a tuburilor de 50 mm diametru. Ecranul rezultat astfel are grosimea de 205 mm, celelalte dimensiuni fiind lungimea $L = 2$ m și adâncimea $H = 1,30$ m. Poziția de montare a panourilor este cu tuburile așezate vertical, normal pe direcția de propagare a undelor.

A doua serie de măsurători s-a făcut pe ecranul simplu, de 110 mm grosime (fig.5.17), obținut prin scoaterea din ecranul anterior a unui panou cu tuburi de 110 mm.

A treia serie de măsurători s-a făcut fără ecran (fig.5.18). Pentru a putea fi comparate rezultatele, în fiecare din cele trei cazuri prezentate, s-a respectat aceeași distanță între punctele de măsură, precum și față de sursa de vibrații, măsurându-se de fiecare dată amplitudinile deplasării verticale.

Amplitudinea deplasării a fost obținută, ca și la măsurătorile din capitolul 4, prin integrarea automată, succesivă, de două ori, de către amplificatorul operațional M231 (fig.5.19) a semnalului electric provenit de la cei patru traductori de accelerație KB12. Acești traductori au eroarea sub 2% pentru domeniul de frecvențe de 2,5...120 Hz. Se poate astfel aprecia că eroarea indusă de lanțul de măsură este acceptabilă și nu este mai mare decât cea acceptată de normele din construcții.

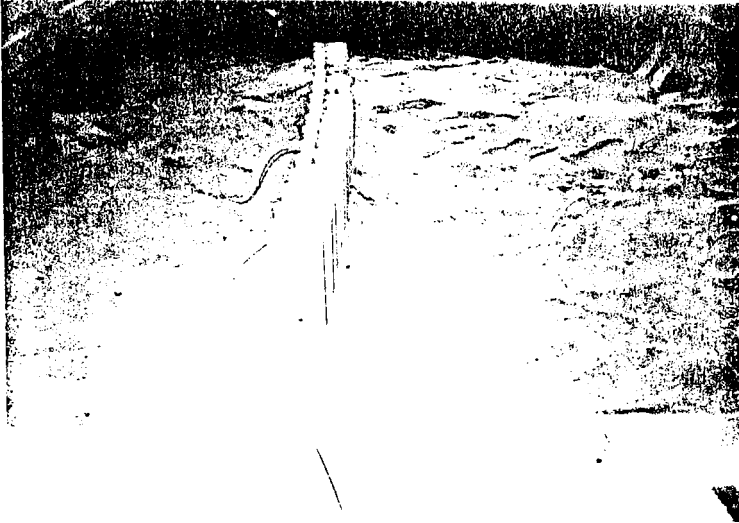


Fig.5.17 Ecran simplu de 110 mm grosime

De altfel, prin raportarea amplitudinilor măsurate cu ecran, la cele fără ecran, se va căuta tocmai eliminarea erorilor sistematice pe care lanțul de măsură le poate introduce

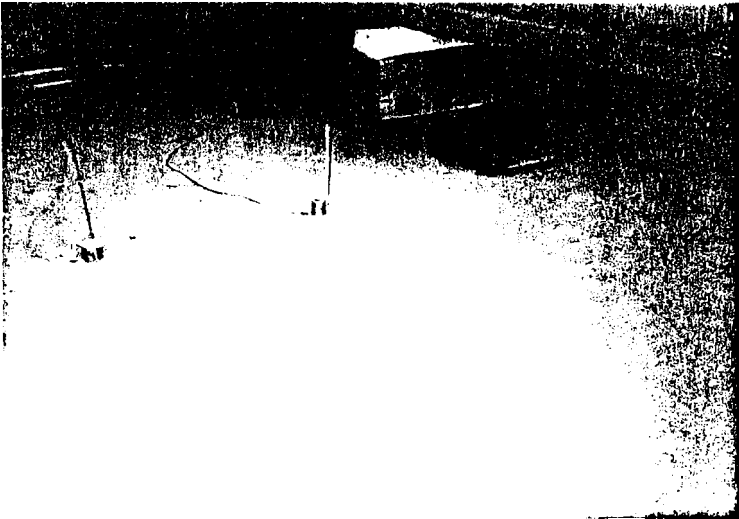


Fig.5.18 Măsurători fără ecran

5.3.2 Etalonarea lanțului de măsură

Pentru a putea determina, în fiecare din cele trei cazuri prezentate, valoarea amplitudinii, s-a făcut etalonarea separată a fiecăruia din cele patru canale ale lanțului de măsură, cu traductorul aferent. În acest scop s-a folosit o sursă de vibrații etalon, care la frecvența de 78 Hz produce oscilații armonice cu

amplitudinea deplasării constantă ($A_{0i} = 35 \mu\text{m}$, $i = 1,2,3,4$) pentru cele patru canale de măsură.

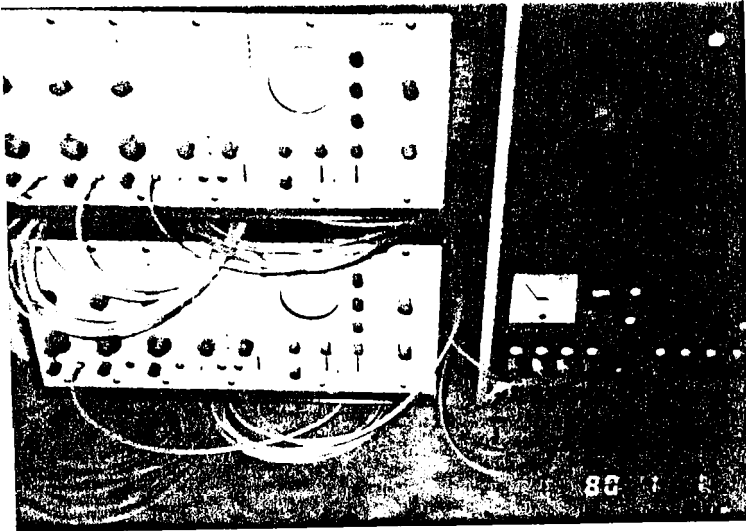


Fig. 5.19 Amplificatorii operaționali SM231

Diagramele de etalonare a celor patru canale sunt prezentate în figura 5.20. La fiecare canal s-a folosit același domeniu de măsură ($0,1 \text{ mm}$) și capătul de scală de 32 diviziuni ($0,1 \times 32$). Scopul menținerii acestor constante de etalonare este de a simplifica astfel calculele și de a da o imagine cât mai clară asupra măsurătorilor pe fiecare canal.

La fiecare canal s-a măsurat amplitudinea deplasării, exprimată prin numărul de diviziuni pe hârtia milimetrică, N_{0i} , $i = 1,2,3,4$. Nu s-au folosit în notațiile lui N_{0i} în milimetri, pentru a nu crea impresia că aceasta ar fi valoarea amplitudinii măsurate, ci s-a folosit termenul de *diviziuni* pe hârtia milimetrică, care are o semnificație mai abstractă.

Având în vedere că fiecare traductor a fost excitat cu aceeași frecvență (78 Hz) și aceeași amplitudine ($35 \mu\text{m}$), numărul de diviziuni este diferit pentru cele patru canale (fig. 5.20), valorile fiind cuprinse între $N_{04} = 5$ diviziuni pe canalul 4 și N_{03} pe canalul 3.

Din aceste diagrame de etalonare se observă că fiecare canal are de fapt alt coeficient de amplificare, valoarea de care se va ține seama la determinarea amplitudinilor măsurate.

În acest sens, amplitudinea măsurată se determină cu relația:

$$A_i = k_i N_i, \quad i = 1,2,3,4; \quad (5.1)$$

în care :

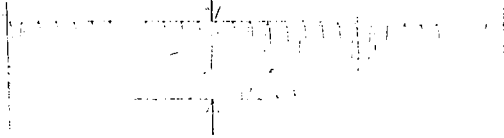
k_i este un coeficient de amplificare ce rezultă din etalonare și din poziția scalei aparatului de măsură în timpul măsurătorilor;

ETALONARE LANȚ DE MĂSURĂ

CANAL Nr. 1

T₁

0,1x32

 $N_{01} = 6,3 \text{ div.}$ $A_{01} = 35 \mu\text{m}$

CANAL Nr.1

Scala:

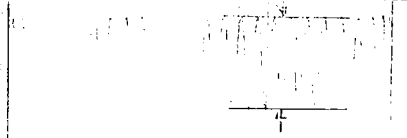
0,1x32

 $A_{01} = 35 \mu\text{m}$ $N_{01} = 6,3 \text{ div.}$

CANAL Nr. 2

T₂

0,1x32

 $N_{02} = 7,5 \text{ div.}$ $A_{02} = 35 \mu\text{m}$

CANAL Nr. 2

Scala:

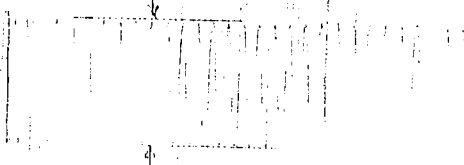
0,1x32

 $A_{02} = 35 \mu\text{m}$ $N_{02} = 7,5 \text{ div.}$

CANAL Nr. 3

T₃

0,1x32

 $N_{03} = 11,2 \text{ div.}$ $A_{03} = 35 \mu\text{m}$

CANAL Nr. 3

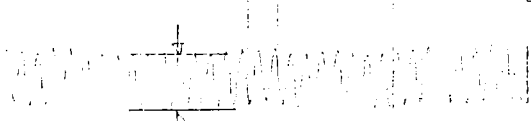
Scala:

0,1x32

 $A_{03} = 35 \mu\text{m}$ $N_{03} = 11,2 \text{ div.}$

CANAL Nr. 4

0,1x32

 $N_{04} = 5 \text{ div.}$ $A_{04} = 35 \mu\text{m}$

CANAL Nr. 4

Scala:

0,1x32

 $A_{04} = 35 \mu\text{m}$ $N_{04} = 5 \text{ div.}$

N_i reprezintă numărul de diviziuni (milimetri) determinați pe diagrama pe care s-au reprezentat datele.

Valoarea coeficientului de amplificare se determină cu relația:

$$k_i = \frac{A_{0i}}{N_{0i}} \frac{a_1 b_1 c_1}{a_2 b_2 c_2}, i = 1, 2, 3, 4, \quad (5.2)$$

în care:

A_{0i} reprezintă amplitudinea deplasării etalon (35 μm);

N_{0i} - numărul de diviziuni pe diagrama etalon;

c_1, c_2 - coeficienți de poziție (scală) pentru înregistratorul cu peniță TSS (pentru cazul dat $c_1 = c_2 = 10 \text{ V}$);

a_1, b_1 - coeficienți de scală, la etalonare, pe amplificatorul SM 231;

a_2, b_2 au aceleași semnificații, dar în timpul măsurătorilor.

Valorile acestor mărimi sunt precizate, în fiecare caz în parte, pe diagramele de măsură sau de etalonare, precum și în tabelul 5.2.

Tabelul 5.2 *Date tehnice ale aparatului SM 231, la etalonare și la măsurători*

Starea de lucru	Canalul C_1	Canalul C_2	Canalul C_3	Canalul C_4
Etalonare, $a_1 x b_1$	0,1x32	0,1x32	0,1x32	0,1x32
Măsurători pe ecran dublu, $a_2 x b_2$	0,1x10	0,1x10	0,1x10	0,1x1
Măsurători pe ecran simplu, $a_2 x b_2$	0,1x10	0,1x10	0,1x10	0,1x1
Măsurători fără ecran, $a_2 x b_2$	0,1x32	0,1x10	0,1x10	0,1x1

Coeficienții de amplificare k_i , corespunzători, calculați cu relația 5.2, sunt prezentați în tabelul 5.3.

Acești coeficienți sunt valori cu care se vor înmulți citirile de amplitudine ale diagramelor determinate pe teren, în condițiile unui ecran dat (simplu sau dublu), în diviziuni ale diagramelor măsurate, obținându-se mărimile reale, conform relație 5.1.

Tabelul 5.3 *Coeficienți de amplificare k_i*

Măsurători pe:	Canalul C_1	Canalul C_2	Canalul C_3	Canalul C_4
Ecran dublu	1,367	1,460	0,990	0,220
Ecran simplu	1,367	1,460	0,990	0,220
Fără ecran	4,38	1,460	0,990	0,220

Din aceste date se observă că mărimile reale (în cazul de față - deplasări), vor fi mai mari decât cele citite în cazul canalelor C_1 și C_2 , vor fi aproape aceleași în cazul canalului C_3 și vor fi de cinci ori mai mici (1/0,22) în cazul canalului C_4 .

5.3 PREZENTAREA SI PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE

Pentru a ușura prelucrarea statistică a datelor și pentru a prinde în calcul un număr cât mai mare de date, decât s-a făcut în capitolul 4, s-a ales pentru înregistrarea datelor înfășurătoarea amplitudinilor deplasării. Această înfășurătoare s-a obținut prin "dilatarea timpului" de redare, lucru posibil prin reducerea vitezei de redare la prelucrarea datelor, față de cel folosit la înregistrările în poligonul experimental.

Înfășurătorile amplitudinilor deplasării, pentru cazul ecranului dublu, sunt prezentate în figura 5.21, ale ecranului simplu în figura 5.22 și cele fără ecran în figura 5.23.

Valorile maxime obținute, ale deplasărilor prezentate în figurile amintite, sunt date în tabelul 5.4.

Tabelul 5.4 *Amplitudinile maxime ale deplasării*

Starea de măsură	A_1 μm	A_2 μm	A_3 μm	A_4 μm
Ecran dublu	23,92	5,11	3,86	1,54
Ecran simplu	23,24	6,27	4,95	2,34
Fără ecran	27,60	21,90	16,40	4,21

Pentru o mai bună vizualizare a efectului de ecranare, în figura 5.24 prezentăm grafic aceste valori (cu ecran dublu, simplu și fără ecran). Din figură se poate observa mult mai bine efectul de ecranare în cele două cazuri prezentate.

O altă metodă de a prezenta efectul de ecranare se poate face prin raportul amplitudinilor deplasării după și înainte de ecranare. Aceste rapoarte sunt prezentate în tabelul 5.5.

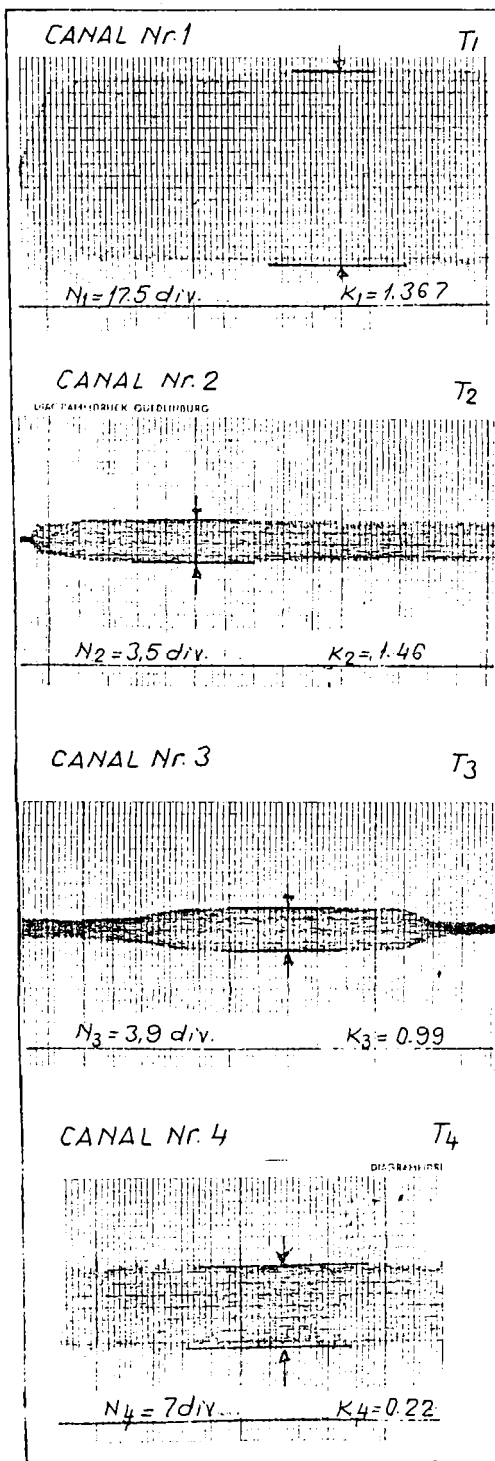
Pentru o imagine mai sugestivă a efectului de ecranare, datele din tabelul 5.5 sunt prezentate grafic în figura 5.25.

Tabelul 5.5 *Raportul amplitudinilor după și înainte de ecranare*

Canalul	C_1	C_2	C_3	C_4
Ecran dublu	0,87	0,232	0,235	0,365
Ecran simplu	0,84	0,286	0,301	0,555

Analizând rezultatele obținute se poate observa că, în punctul T_4 de măsură, situat la 2,60 m distanță de sursă, apare o interferență a undelor directe cu cele reflectate, rezultatul fiind o creștere a amplitudinii. Acest lucru se observă mai ales în figura 5.22, pe canalul C_4 , când, chiar la creșterea frecvenței, în faza inițială, apar amplitudini care depășesc 18 diviziuni, fenomenul ducând în această fază la semnal ce depășește capătul de scală al aparatului. La depășirea a circa 30 Hz, amplitudinea începe să scadă treptat, pe măsura creșterii frecvenței. Considerăm că aceasta se datorează schimbării fazei undei reflectate și prin urmare, interferența acesteia cu unda incidentă duce la variația semnificativă a amplitudinii rezultante.

MĂSURĂTORI PE ECRAN DUBLU



$$\textcircled{11} \begin{aligned} L &= 2.00 \text{ m} \\ H &= 1.30 \text{ m} \\ B &= 0.205 \text{ m} \end{aligned}$$

$$A = N \cdot K$$

A - amplitudinea deplasării

N - nr. diviziuni

K - coeficient de amplificare

$$AK_1 = 23.92 \mu\text{m}$$

$$r_1 = 0.65 \text{ m}$$

$$c_2 = 10 \text{ V}$$

$$AK_2 = 5.11 \mu\text{m}$$

$$r_2 = 1.30 \text{ m}$$

$$c_2 = 10 \text{ V}$$

$$AK_3 = 3.86 \mu\text{m}$$

$$r_3 = 1.95 \text{ m}$$

$$c_2 = 10 \text{ V}$$

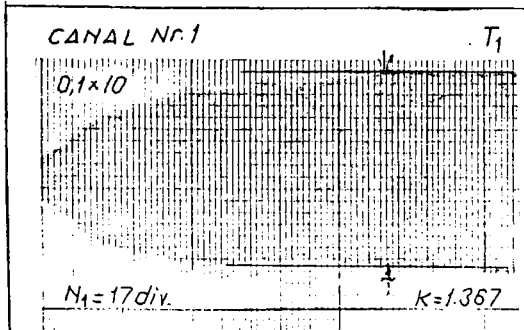
$$AK_4 = 1.54 \mu\text{m}$$

$$r_4 = 2.60 \text{ m}$$

$$c_2 = 10 \text{ V}$$

MASURATORI CU ECRAN SIMPLU

$$\textcircled{1/2} \begin{aligned} L &= 2.00 \text{ m} \\ H &= 1.30 \text{ m} \\ B &= 0.11 \text{ m} \end{aligned}$$



$$A = k \cdot N$$

A - amplitudinea

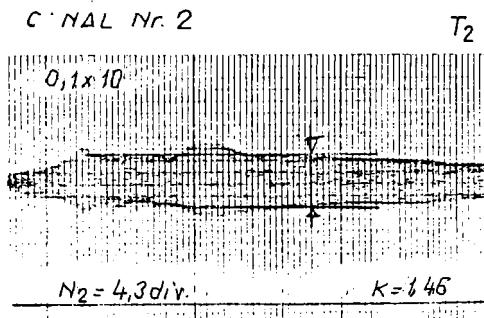
k - factor de multiplicare

N - nr. diviziuni

$$A_{k_1} = 23.24 \mu\text{m}$$

$$r_1 = 0.65 \text{ m}$$

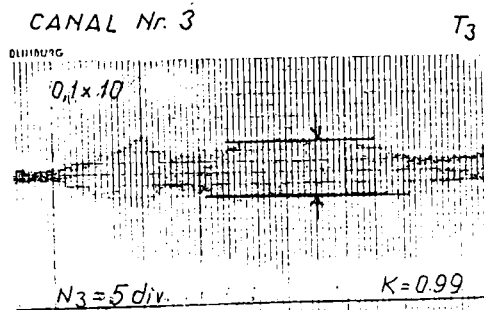
$$c_2 = 10 \text{ V}$$



$$A_{k_2} = 6.27 \mu\text{m}$$

$$r_2 = 1.30 \text{ m}$$

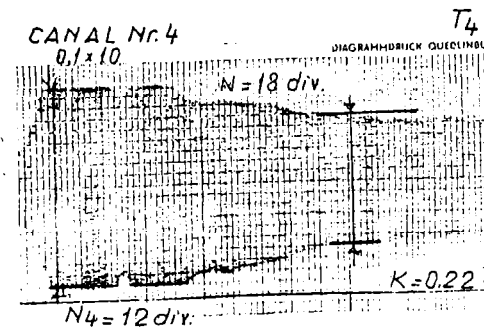
$$c_2 = 10 \text{ V}$$



$$A_{k_3} = 4.95 \mu\text{m}$$

$$r_3 = 1.95 \text{ m}$$

$$c_2 = 10 \text{ V}$$

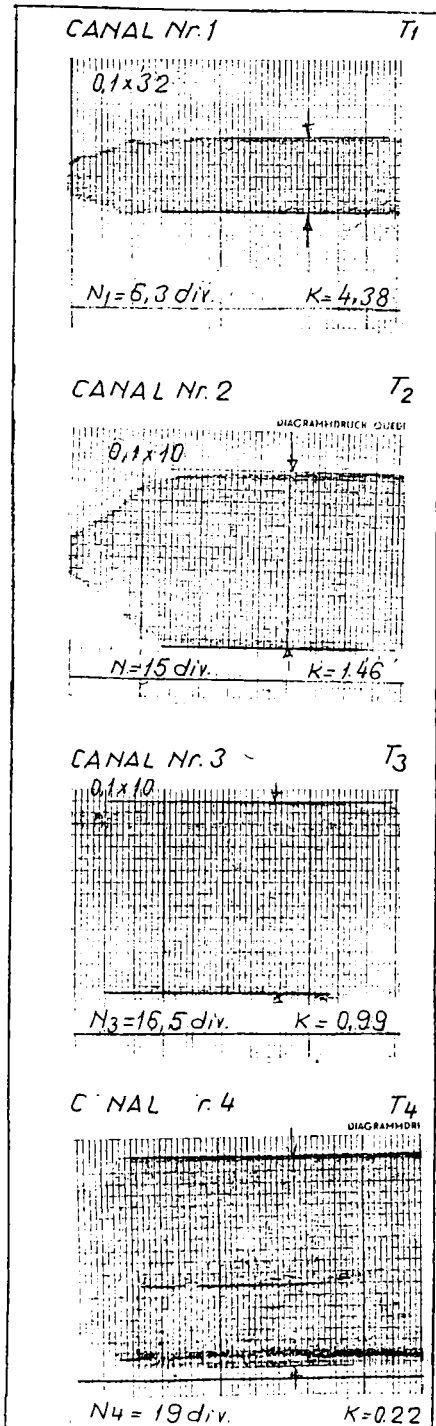


$$A_{k_4} = 2.34 \mu\text{m}$$

$$r_3 = 2.60 \text{ m}$$

$$c_2 = 10 \text{ V}$$

MĂSURĂTORI FĂRĂ ECRAN



$A = K \cdot N$
A - amplitudinea
N - nr. diviziuni
K - coeficient de amplificare

$A_1 = 27,60 \mu\text{m}$
 $r_1 = 0,65 \text{ m}$
 $c_2 = 10 \text{ V}$

$A_2 = 21,90 \mu\text{m}$
 $r_2 = 1,30 \text{ m}$
 $c_2 = 10 \text{ V}$

$A_3 = 16,4 \mu\text{m}$
 $r_3 = 1,95 \text{ m}$
 $c_2 = 10 \text{ V}$

$A_4 = 4,21 \mu\text{m}$
 $r_4 = 2,60 \text{ m}$
 $c_2 = 10 \text{ V}$

Unda reflectată respectivă se consideră a proveni din reflexia pe peretele metalic din partea opusă sursei (vezi fig.5.1), perete aflat cel mai aproape de punctul de măsură T_4 , al canalului 4. Dar tot atât de posibilă este și reflexia undelor P sau S pe fundul din beton armat al buncărului și suprapunerea acestor unde peste unda directă.

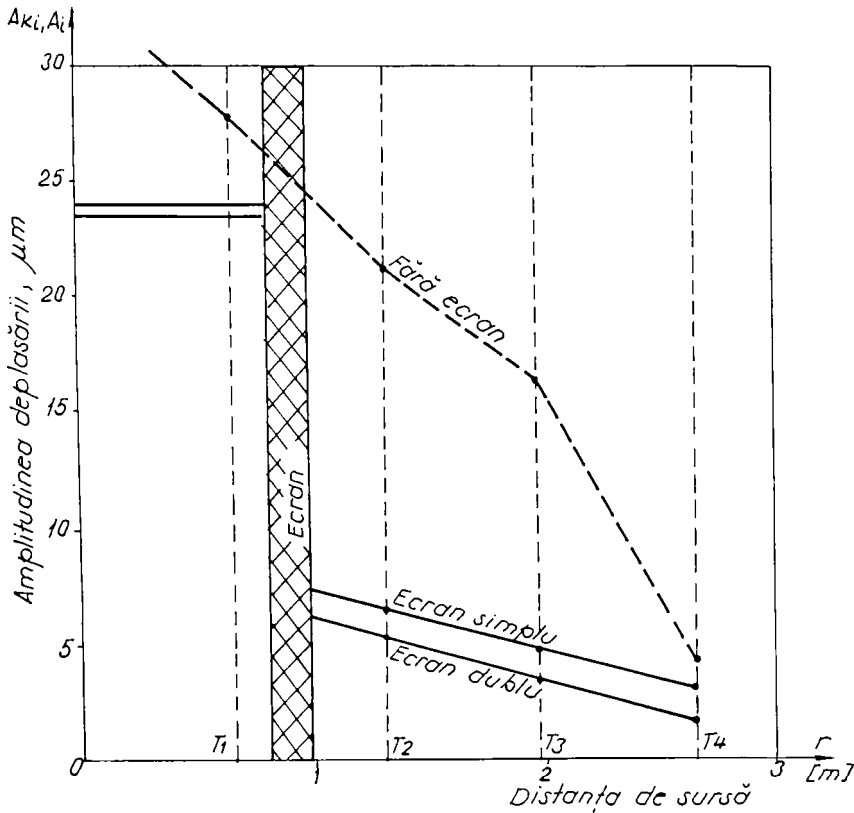


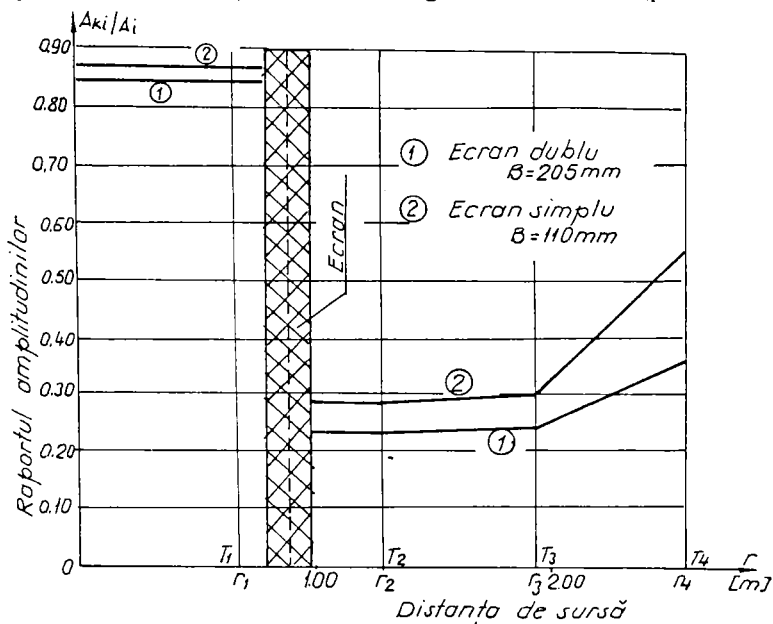
Fig. 5.24 Ecranarea exprimată prin amplitudinea deplasării

Din aceste motive, în referirile cantitative ulterioare ale ecranării, se va face abstracție de rezultatele măsurătorilor obținute de la ultimul canal (C_4).

Analizând celelalte date și în special cele de la canalele 2 și 3, se observă că ecranul dublu asigură o ecranare de $A_{2,3} / A_{023} = 0,232 \dots 0,235$, adică o reducere a amplitudinii sub valorile recomandate de toți autorii de ecranare la care s-a făcut referire în capitolul 1 (de 0,25).

În ce privește ecranul simplu, ecranul care are grosimea de 110 mm, reducerea amplitudinii prin ecranare este de 0,286...0,301, valori destul de mici, având în vedere că ecranul este format numai dintr-un singur panou de tuburi de 110 mm și interspații cu tuburi de 50 mm, pe ambele părți.

Se poate remarca totuși că o dublare a grosimii ecranului (prin trecerea de la



ecranul simplu la ecranul dublu) nu duce la o dublare a ecranării, sporul de izolare

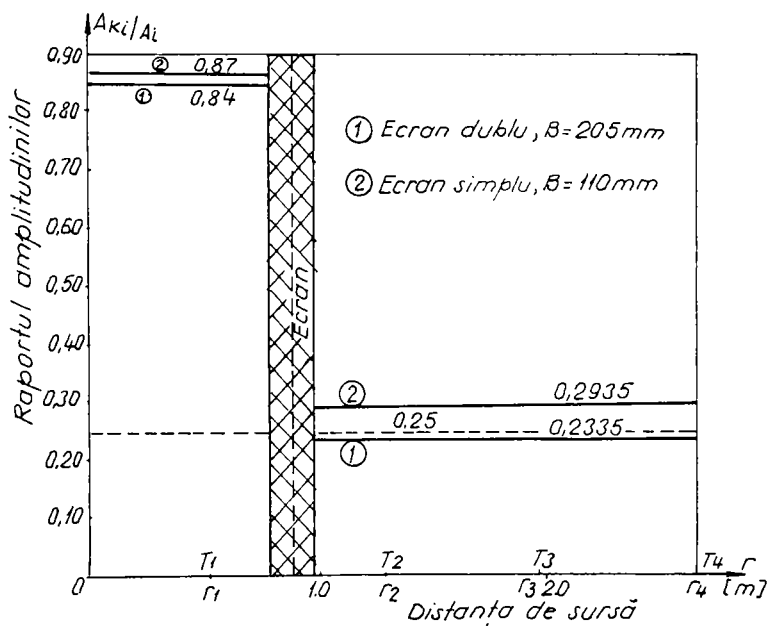


Fig. 5.26 Eficiența ecranării exprimată în amplitudii medii

fiind de circa 24%.

Considerând valorile medii ale raportului amplitudinilor corespunzătoare canalelor 2 și 3, în figura 5.26 sunt prezentate aceste mărimi pentru cele două tipuri de ecrane, având grosimile de 205 și respectiv 110 mm.

Cu aceste valori medii obținute se poate stabili o dependență a ecranării, exprimată prin raportul amplitudinilor cu și fără ecran, în funcție de grosimea ecranului. Acest raport este prezentat în figura 5.27. Ca limită admisă s-a luat raportul amplitudinilor $A/A_0 = 0,25$, conform recomandărilor făcute de Haupt [52] și Woods [111].

Din analiza acestei figuri, deși bazată pe un număr limitat de date, se poate constata că *valori ale ecranării sub limita recomandată se obțin, în cazul ecranului bine executat, pentru grosimi ale acestuia de cel puțin 17 cm*. De asemenea, cu astfel de ecrane, până la grosimi de 40 cm nu se produc reduceri ale amplitudinii undei incidente peste 80%. Se poate face totuși observația că aceste date nu sunt inferioare celor obținute la ecranele din beton armat, la care, așa cum s-a mai arătat, ecranul începe să devină eficient dacă grosimea acestuia depășește $0,1\lambda_R$.

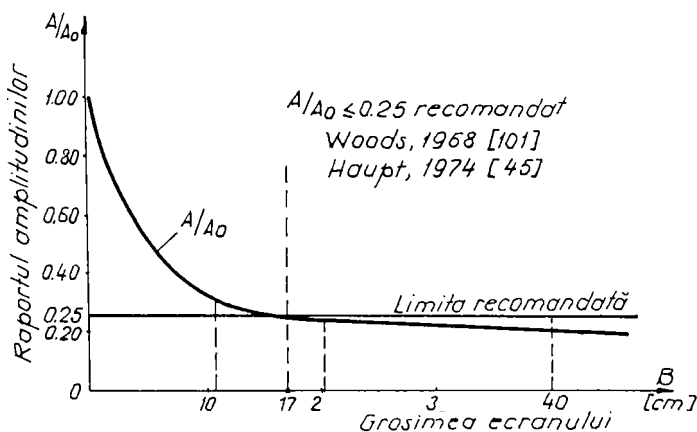


Fig.5.27 Dependenta ecranării de grosimea ecranului

5.3.4 Reflexia și transmisia undelor prin ecranul celular

După cum s-a arătat în capitolul 4, lanțul de măsură are în compoziția sa și un calculator, care, prin intermediul unei interfețe, preia simultan datele analogice înregistrate pe bandă magnetică pe cele 4 canale, le transformă în mărimi digitale, oferind posibilitatea de a le reda pe imprimanta calculatorului.

Prezentarea simultană a acestor mărimi are avantajul că oferă, la un moment dat, la o frecvență dată, o privire de ansamblu asupra mărimii măsurate pe cele 4 canale. În acest sens, se poate observa, de exemplu, evoluția fazei frontului de undă ce atacă succesiv cei 4 traductori. Aceasta prezintă o serie de avantaje, mai ales în ce privește determinarea unor caracteristici dinamice ale mediului de propagare și

ne gândim aici mai ales la cele care au importanță în studiul procesului de transmitere a undelor prin ecran.

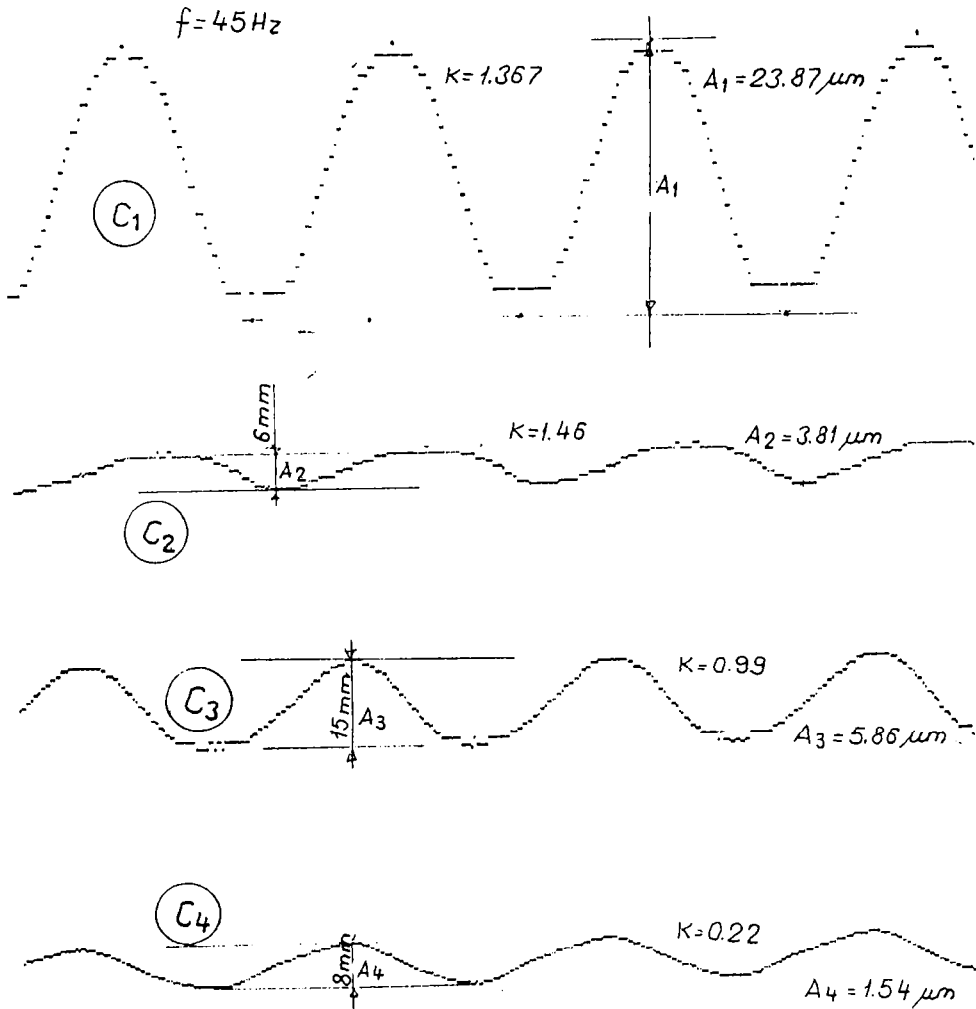


Fig. 5.28 Măsurători simultane la 45 Hz, pe ecran dublu

O mostră din aceste rezultate, pentru ecranul dublu, este dată în figura 5.28, corespunzând unei frecvențe de 45 Hz. Se observă că dacă în fața ecranului amplitudinea deplasării este de $23,87 \mu\text{m}$, în spatele acestuia amplitudinile scad, fiind cuprinse între $5,86 \mu\text{m}$ pe canalul 3 și $1,54 \mu\text{m}$ pe canalul 4. De asemenea, imediat în spatele ecranului, amplitudinea este de numai $3,81 \mu\text{m}$, ceea ce arată o eficiență destul de bună a acestuia, comparabil cu înregistrările fără ecran.

Un eșantion din înregistrările pe ecranul simplu sunt prezentate în figura 5.29. Și în acest caz amplitudinea la nivelul traductorului 2, imediat în spatele ecranului, este remarcabil mai mică decât cea din fața acestuia. Astfel, în fața ecranului amplitudinea a fost de $25,7\mu\text{m}$ și de numai $3,41\mu\text{m}$ în spatele ecranului celular simplu.

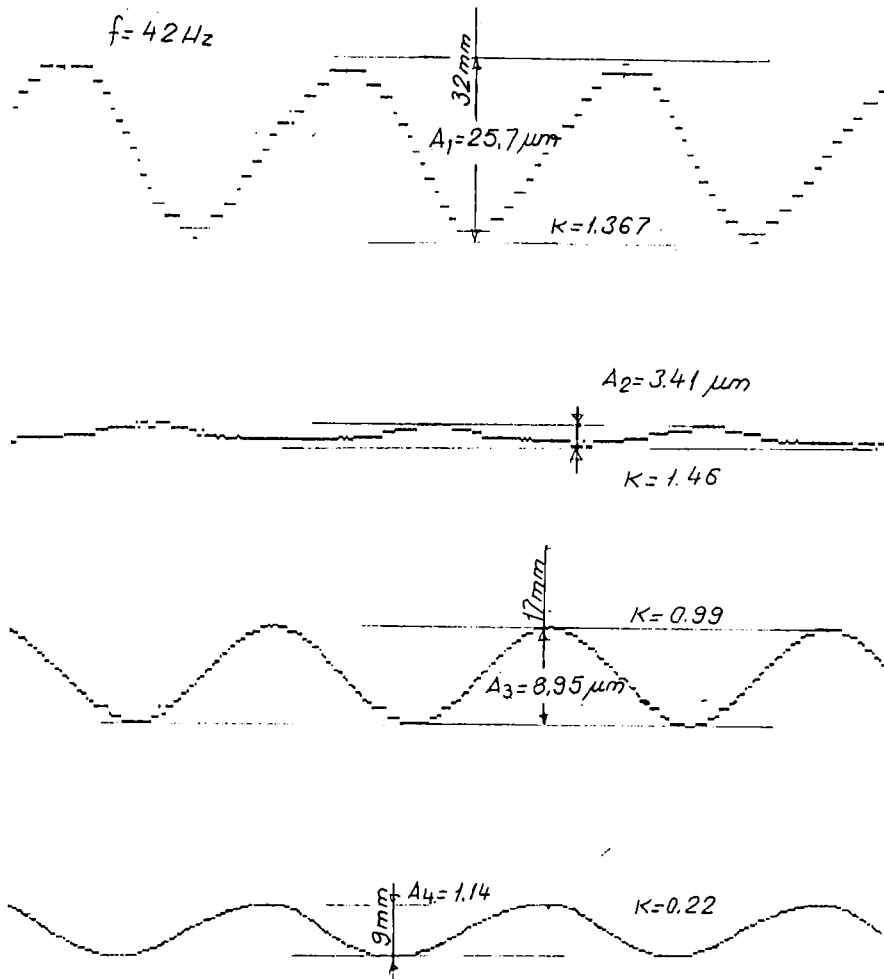


Fig. 5.29 Măsurători simultane pe ecran simplu, la 42Hz

Creșterea amplitudinii pe canalul 3 la $8,95\mu\text{m}$ arată că în spatele ecranului, în cazul experimentărilor făcute în buncărul din beton, există unde reflectate în fază cu undele directe, a căror interferență duce la creșterea amplitudinii. Altfel nu ar exista nici o explicație a creșterii amplitudinii cu depărtarea de sursă, avându-se în vedere amortizarea geometrică și cea de material.

Pentru frecvențe de 53 Hz se dă un eșantion din înregistrările fără ecran în figura 5.30. Din această figură se observă reducerea amplitudinii progresiv cu depărtarea de sursă, datorită amortizării.

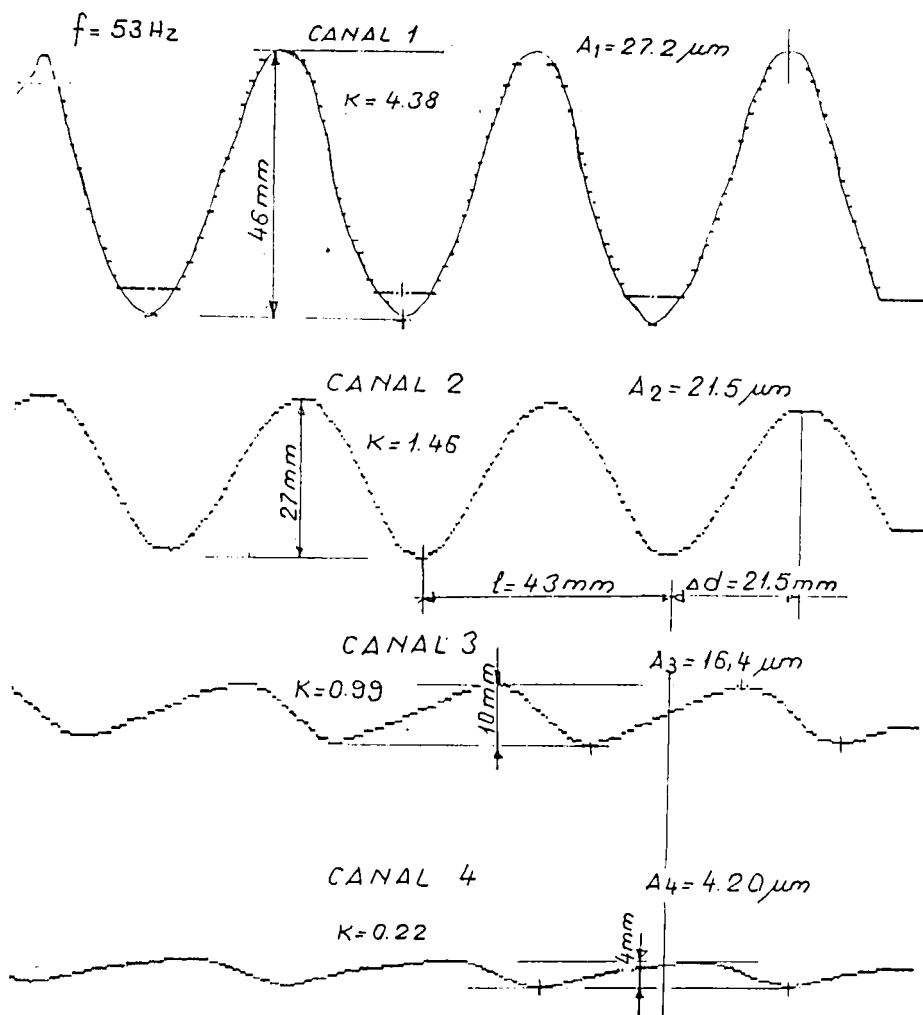


Fig. 5.30 Măsurători simultane fără ecran, la 53 Hz

Una dintre mărimile cinematice importante în procesul de ecranare este, după cum s-a văzut, viteza de propagare a undelor R, față de care, în primul rând, se face ecranarea. Dacă se ia, de exemplu, în considerare diferența de fază ($\Delta \varphi$) dată prin diferența de drum (Δd), între maximum corespunzător canalului 2 și cel al canalului 4, se obține valoarea $\Delta d = 21,5 \text{ mm}$ (vezi fig.5.25), cele două puncte de măsură fiind la distanța $d = 1,3 \text{ m}$ depărtare unul de celălalt (distanța între T_2 și T_4).

Deoarece distanța între două maxime sau două minime, ținând seama de efectul de scară (distanță ce în realitate reprezintă lungimea de undă λ_R) este de $l = 43$ mm, pentru frecvența de 53 Hz, cu aceste mărimi se poate calcula viteza undelor R și anume:

$$v_R = d / t = d f l / \Delta d = 1,3 \times 53 \times 43 / 21,5 = 137,8 \text{ m/s.}$$

Se observă că diferența de fază este chiar $\lambda_R / 2$, prin urmare 1,3 m reprezintă jumătatea lungimii de undă și, deci, $\lambda_R = 2 \times 1,3 \text{ m} = 2,6 \text{ m}$, valoare ce rezultă, de fapt, și din calcul:

$$\lambda_R = v_R / f = 137,8 / 53 = 2,6 \text{ m.}$$

Considerând coeficientul lui Poisson $\nu = 1/3$, rezultă cu $v_R / v_S = 0,91$, conform celor arătate în capitolul 2 și, prin urmare:

$$v_S = v_R / 0,91 = 137,8 / 0,91 = 151,4 \text{ m/s.}$$

Din aceste mărimi se poate calcula modulul dinamic de forfecare:

$$G = v_S^2 \gamma / g = 151,4^2 \times 17200 / 9,81 = 40189 \text{ kPa.}$$

Prin urmare, impedanța mediului de propagare (aici, nisipul) este:

$$Z_1 = \rho v_R = 1750 \text{ kg/m}^3 \times 137,8 \text{ m/s} = 241150 \text{ kg / m}^2 \text{ s.}$$

Considerând amplitudinea undei incidente $0,84 \mu\text{m}$ și cea a undei transmise prin ecran $0,2335 \mu\text{m}$, așa cum s-a prezentat în paragraful 5.3.3, rezultă că energia reflectată de ecran conform relației (3.) este:

$$|R|^2 = 1 - |T|^2 = 1 - \left| \frac{0,2335}{0,84} \right|^2 = 0,922,$$

de unde :

$$R = 0,84 (0,922)^{1/2} = 0,806.$$

Pentru simplificare considerăm că reflexia se face numai pe prima față a ecranului, în acest caz, din relația (3.27) se obține:

$$Z_2 = Z_1 \frac{1 - R_{12}}{1 + R_{12}} = 241150 \frac{1 - 0,806}{1 + 0,806} = 25.900 \text{ kg / m}^2 \text{ s.}$$

Analizând aceste rezultate se observă că un ecran dublu, ca și cel pe care s-au făcut măsurătorile, are impedanța de $Z_1 / Z_2 = 9,31$ ori mai mică ca a mediului de propagare. De asemenea, energia reflectată reprezintă 92% din energia incidentă pe ecran. Prin urmare, energia transmisă prin ecran este sub 10% din energia incidentă.

Comparându-l cu ecranul din beton armat, ale cărui măsurători au fost prezentate în capitolul 4, se observă că ecranul celular produce o ecranare mai bună.

5.4 CONCLUZII PRIVIND ECRANELE CELULARE

Folosirea ecranelor celulare în probleme de protecție antivibratorie a construcțiilor, împotriva vibrațiilor transmise prin pământ, **constituie o metodă nouă de protecție, propusă de autorul tezei**. Soluția are, așa cum s-a arătat în paragraful 5.1, o susținere teoretică substanțială, bazată pe fenomenele ce au loc la

reflexia și transmisia undelor prin ecran, așa cum s-a prezentat în capitolul 3. De aici s-a desprins concluzia că efectul de ecranare, exprimat, de regulă, prin raportul amplitudinilor înainte și după ecranare, este cu atât mai mare cu cât impedanța ecranului diferă mai mult de cea a mediului de propagare, în speță, terenul de fundare.

De aici se trage concluzia că ecranul va trebui să aibă rigiditate cât mai mare, cum ar fi, de exemplu, ecranul din beton (rigid), sau rigiditate cât mai mică, cum este, de exemplu, aerul (cazul ecranelor deschise).

Sub acest aspect, ecranele celulare caută să se apropie cât mai mult de ecranele deschise, care, din punct de vedere al împiedicării transmisiei undelor prin ele sunt cele mai eficiente.

Totodată, ele înlătură neajunsurile ridicare de ecranele deschise, mai ales sub aspectul menținerii verticalității pereților săpăturii timp îndelungat. Prin alegerea unui tub PVC de tip ușor (U), mediu (M), sau greu (G), conform STAS 6675/1...8-74, așa cum se va arăta în capitolul 6, se pot realiza ecrane care să se comporte bine la împingerea pământului pentru adâncimile necesare și posibilitățile tehnice de realizare a ecranelor.

Referitor la izolarea unei construcții sau a unui amplasament dat, prin folosirea acestor ecrane, din studiile întreprinse rezultă următoarele concluzii.

A. *Izolarea crește odată cu creșterea grosimii ecranului*, astfel că dacă la un ecran simplu (de 110 mm grosime), raportul amplitudinilor cu și fără ecran a fost de 0,2935, același raport la ecranul dublu (de 205 mm grosime) scade la 0,2335. De aici rezultă că pentru mărirea efectului de ecranare va trebui să realizăm un ecran de grosime cât mai mare.

B. *Există o limită la care ecranul devine eficient*, dacă se consideră ca acceptabilă ecranarea la care raportul amplitudinilor scade sub 0,25. Această limită este determinată de un ecran ce are grosimea de 170 mm, în cazul tuburilor PVC de tip ușor, pentru care s-au făcut măsurătorile. Este de așteptat ca această mărime să crească în cazul tuburilor de tip mediu sau greu.

C. *Efectul de ecranare obținut*, corelat cu cel al ecranelor din beton armat sau din beton plastic, prezentate în capitolul 4, se poate trage concluzia că este comparabil cu cel al ecranului din beton armat, la care, la 70 Hz, valoarea medie a acestui raport a fost de 0,28 (vezi tabelul 4.9) și mult mai bun ca cel al ecranului din beton plastic de 40 cm grosime, la care acest raport este de 0,442 (vezi tabelul 4.15).

D. *Amplificarea în fața ecranului* este supraunitară, lucru important în cazul izolării active, când între sursa de vibrații și ecran pot apărea amplificări ce se transmit în partea opusă ecranului și care pot afecta eventualele construcții sau instalații aflate în această zonă. Problema trebuie avută în vedere la izolarea față de vibrațiile provenite din trafic, când undele reflectate de ecran pot amplifica undele incidente din fața ecranului, afectând suplimentar calea de acces sau construcțiile aflate în cealaltă parte a drumului. Tot în acest caz, deoarece spectrul de frecvență este mult mai larg, undele reflectate vor amplifica oricum anumite frecvențe ale

undelor incidente, dând amplificări locale, așa cum rezultă, de altfel, și din diagramele contur prezentate în capitolul 1, după Woods [111].

E. În ce privește "**umbra**" creată în spatele ecranului, dimensiunile limitate ale poligonului experimental nu au permis stabilirea acestui lucru, dar, având în vedere coeficientul de reducere al amplitudinilor, comparabil cu cel al ecranelor din beton sau deschise, ecranul celular poate fi considerat la fel de opac ca acestea. Prin urmare, relațiile analitice stabilite în capitolul 3, pentru lungimea și adâncimea ecranului "opac", sunt valabile și pentru ecranul celular. Condiția este, deci, de asigurare a "opacității" corespunzătoare a ecranului, la propagarea undelor prin el. Dar, *această "opacitate" depinde, așa cum s-a arătat, de alegerea grosimii corespunzătoare a ecranului.*

Din cercetările experimentale prezentate în acest capitol, dar și din studiul teoretic întreprins în capitolul 3, rezultă că un ecran celular va fi cu atât mai eficient cu cât interspațiul cu goluri, creat de tuburile din plastic, va fi mai mare, iar rigiditatea acestor tuburi va fi mai mică. Ideea este, deci, de a realiza un astfel de ecran celular, încât, acesta să se apropie cât mai mult de ecranul deschis. În practică, acest lucru se poate realiza prin combinarea cât mai eficientă a tuburilor de diametru mare și pereți subțiri (care asigură efectiv ecranarea), cu tuburi de dimensiuni reduse, care au mai mult rolul de a împiedica pătrunderea pământului între tuburile cu diametru mare.

F. Un alt avantaj al ecranelor celulare, care le face comparabile cu cele din beton, este acela că **fenomenul de transmitere a undelor prin ecran este diminuat chiar și în cazul când ecranul ajunge temporar sau permanent sub nivelul apei subterane.** Fenomenul se explică prin aceea că undele de compresie ce se transmit prin apă vor fi mult diminuate la trecerea prin ecranul celular submersat datorită posibilității de deformare liberă a apei pe direcție verticală sau după caz, tuburile ce alcătuiesc ecranul celular vor fi închise ermetic la capete.

Această importantă observație justifică, printre altele, așezarea în poziție verticală a tuburilor în ecran. Poziționarea orizontală, a tuburilor deschise la capete, în ecran, ar duce la crearea de punți de apă captivă în aceste tuburi, când, temporar sau permanent, ecranul ajunge sub nivelul apei freatice. Chiar în situația tuburilor deschise din ecranul ce funcționează sub nivelul apei, ecranul celular se comportă, sub aspect de izolare, asemănător ecranului noroios, recomandat de Woods și Dolling [111], [139]. Și în această situație, de ecran submersat, ecranul celular are avantajul că nu necesită lucrări de întreținere, în timp, și nici lucrări de sprijinire a pereților ecranului, ceea ce argumentează încă o dată soluția de ecranare propusă propusă.

CAPITOLUL VI

CRITERII DE ELABORARE A UNOR INSTRUCȚIUNI TEHNICE DE PROTECȚIE ANTIVIBRATORIE PRIN ECRANARE

6.1 SOLUȚII DE PROTECȚIE ANTIVIBRATORIE A CONSTRUCȚIILOR PRIN AMPLASARE

6.1.1 Câteva elemente privind poziționarea construcțiilor față de sursa de vibrații

Protecția antivibratorie prin amplasarea corespunzătoare a construcției față de o sursă fixă sau mobilă de vibrații se pune la proiectarea și realizarea construcțiilor noi, la care alegerea amplasamentului permite schimbarea acestuia, astfel încât, fără a se lua măsuri de protecție, construcția să se afle într-o zonă în care, eventualele vibrații ale terenului de fundare, existente sau viitoare, să nu perturbe comportarea sau desfășurarea activității normale a acesteia în exploatare.

De regulă, perturbațiile care pot produce aceste inconveniente sunt date de traficul rutier intens, circulația tramvaielor în apropierea construcției, existența în apropiere a unor surse tehnologice de vibrații etc.

Vibrațiile ce pot afecta construcția depind atât de intensitatea vibrațiilor induse în teren de sursa perturbatoare, precum și de natura terenului de fundare care transmite mai ușor sau mai greu undele perturbatoare. Relația care înglobează aceste dependențe este dată în capitolul 2 (2.92), cunoscută sub numele de relația Bornitz, dată în [102], care, luând în considerare și factorul armonic, are expresia:

$$w(r, t) = w_0 (r_0 / r)^{1/2} \exp 2\pi D(r - r_0) \exp i[\omega t - 2\pi(r - r_0) / \lambda_R], \quad (6.1)$$

relație în care s-a înlocuit coeficientul de amortizare (α) cu fracțiunea din amortizarea critică (D) (vezi cap.2), ale cărei valori, pentru diferite pământuri, în lipsa unor date experimentale, sunt date în tabelul 2.7.

Luând în considerare situația cea mai defavorabilă, când factorul armonic este unitar, relația devine mai simplă, iar $w(r, t)$ poate fi amplitudinea maximă a deplasării terenului de sub construcție, situată la distanța r de sursa de vibrații, astfel:

$$w(r) = w_0 (r_0 / r)^{1/2} \exp \pi D(r - r_0) \quad (6.2)$$

Valorile lui w pot fi luate în funcție de destinația construcției ca limite ale deplasării admise pentru construcții, instalații sau oameni etc., așa cum s-a arătat în capitolul 1.

Prin urmare, dacă la o distanță dată r_0 de sursa perturbatoare se măsoară amplitudinea maximă s deplasării, de exemplu, se pot determina perturbațiile care vor solicita o clădire aflată la distanța r dată, sau se poate alege astfel amplasamentul construcției, încât pentru un amplasament dat, vibrațiile ce ajung

din diferite surse să nu depășească, eventual luând în considerare și interferența, o anumită valoare.

În capitolul 2 s-a arătat că undele R sunt cele care transportă cea mai mare parte a energiei induse în teren de o sursă de vibrații aflată la suprafață (67%) și că aceste unde se propagă după un front de undă cilindric, deci au amortizarea geometrică cea mai mică. Prin urmare, aceste unde se vor resimți la distanța cea mai mare de sursa de vibrații și sunt cele care constituie principala sursă de influență a construcțiilor în cazul vibrațiilor ce se transmit prin pământ. Deci, în calculul sau măsurarea fracțiunii din amortizarea critică (D), se vor lua în considerare vibrații de forfecare (oscilații verticale în cazul suprafeței pământului), putându-se accepta, în acord cu recomandarea făcută de Prange (1978), [102], ca:

$$D = D_S = D_R, \quad (6.3)$$

mărimi ale căror valori sunt date, așa cum s-a arătat, în tabelul 2.7.

În locul fracțiunii din amortizarea critică (D) se poate utiliza, în calculul coeficientului de amortizare cu distanța (α), decrementul logaritmic al amortizării (δ), sau factorul de calitate Q (vezi relația de legătură 2.109).

Folosind observația făcută în capitolul 2, în care se recomandă ca pentru $Q > 10$ se poate neglija amortizarea internă de material (pământ), relația 6.2 devine și mai simplă, rezultând că reducerea amplitudinii se face numai prin amortizare geometrică și, deci:

$$w(r) = w_0 (r_0 / r)^{1/2}. \quad (6.4)$$

Această simplificare poate fi luată în calcul în cazul nisipurilor și pietrișurilor îndesate, a rocilor tari, sau a pământurilor argiloase uscate sau saturate, tari.

De asemenea, relația (6.4) poate fi luată în calcul la predimensionare, ea reprezentând, de fapt, situația cea mai defavorabilă, deoarece prin folosirea acestei relații rezultă amplitudinile cele mai mari, orice amortizare care se produce în pământul real, va face ca amplitudinile rezultante să fie mai mici ca cele date de această relație.

6.1.2 Stabilirea cotei de fundare ținând seama de influența vibrațiilor

După cum s-a arătat în capitolul 2, undele R, față de care, de regulă, se iau măsuri de protecție antivibratorie, se propagă la suprafața pământului, au un front de undă cilindric, iar deplasarea pământului produsă de aceste unde se face în planul vertical xOz. Un punct aflat la suprafața pământului, sub influența undelor R, suferă o mișcare retrogradă, după o traiectorie eliptică (fig. 6.1). Această mișcare se transmite și în interiorul terenului de fundare, dar cele două componente ale mișcării $u(z)$ și $w(z)$, date de ecuațiile (2.58) și (2.59), au valori tot mai mici, astfel că la o adâncime de aproximativ $1,4\lambda_R$ deplasarea terenului produsă de aceste unde devine ne semnificativă. Acest lucru a fost arătat pe larg în capitolul 2 și ilustrat grafic în figura 2.5.

Conform recomandărilor făcute de Woods, 1968 [111], [139], Prakash, 1981 [101], Prange, 1978 [102], adâncimea minimă în teren de la care reducerea amplitudinii undelor R devine semnificativă (sub 50% față de amplitudinea la

laterale, exterioare, a construcției de terenul înconjurător, prin realizarea unui gol, a unei săpături, sau a unui ecran (fig.6.2).

Problema este valabilă atât în izolarea activă, când fețele laterale ale fundației sursei de vibrații sunt izolate de terenul înconjurător, cât și în cea pasivă, când fundațiile protejate sunt separate lateral de teren.

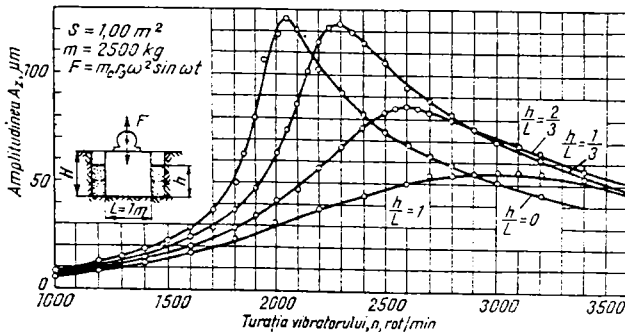


Fig. 6.2 Influența umpluturii laterale asupra rezonanței [15]

Problema este pe larg studiată în cazul fundațiilor de mașini unde problema se pune însă invers, adică a influenței umpluturilor laterale asupra frecvenței de rezonanță a ansamblului fundație - mașină.

Observațiile care se desprind din aceste studii sunt importante și în cazul protecției antivibratorii prin ecranare, de aceea se va insista asupra fenomenului care are loc.

În lucrarea *Izolarea antivibratorie a mașinilor*, Gh. Buzdugan, [15], sunt prezentate, după studiile făcute de Koloušek și colaboratorii, în 1967, la Bratislava, influența umpluturii laterale (fig.6.2) asupra modificării rezonanței unei fundații de mașină. Fundația, de masă 2500 kg, este adusă la rezonanță, în cazul diferitelor valori ale înălțimii umpluturii laterale (h). Se observă că pentru $h = 0$ rezonanța are loc la $n = 2050$ rot/min, pe când la $h/L = 1$, ea se mută la $n = 3000$ rot/min. Autorul spune că efectul este și mai puternic dacă fundația se îngroapă total sau parțial în terenul natural.

Fenomenul poate extins și pentru cazul izolării pasive a unei fundații, deci de separare a unei fundații față de vibrațiile exterioare. acest lucru se poate obține, în cazul protecției antivibratorii prin izolare pasivă prin realizarea unui interspațiu între fundațiile clădirii și terenul înconjurător (fig.6.3). Acest interspațiu poate fi realizat cu un perete din palplanșe, sau, și mai ușor, cu panouri din tuburi din PVC, de tipul unui ecran celular. Acesta are avantajul că nu necesită producerea de șocuri sau vibrații cum se produc la introducerea palplanșelor în teren, vibrații care pot periclita stabilitatea sau exploatarea normală a construcției. În practică se pot găsi, desigur, și alte metode pentru crearea acestui spațiu liber între clădire și teren. Dacă acest spațiu rămâne deschis, este suficient să aibă doar câțiva centimetri grosime. el

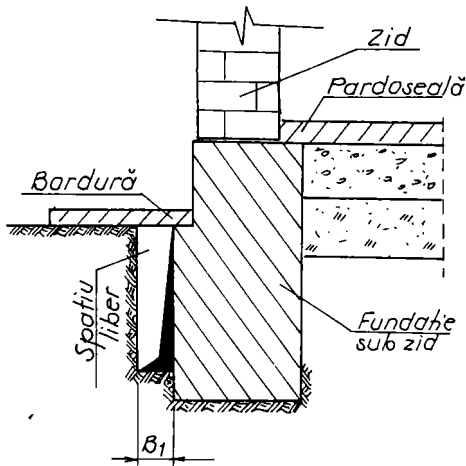


Fig. 6.3 Separarea laterală a fundațiilor de teren

6.2 RECOMANDĂRI CU PRIVIRE LA STABILIREA TIPULUI DE ECRANARE ȘI A MATERIALULUI ECRANULUI

6.2.1 Cu privire la stabilirea tipului de ecranare

Așa cum s-a arătat în capitolul 1, protecția antivibratorie a unei construcții se poate face prin izolare activă sau pasivă.

A. Protecția prin *izolare activă*, la sursă sau în câmp apropiat, este aceea la care ecranul se află imediat lângă sursa de vibrații. Distanța între ecran și sursă, conform recomandărilor făcute de Lysmer, 1966 [63], se consideră mică, în câmp apropiat sau la sursă, dacă este sub $2,5\lambda_R$, recomandabil sub $1\lambda_R$. Se poate face observația că, cu cât ecranul se apropie de sursă, pentru o aceeași adâncime (H) a acestuia, eficiența ecranării crește. În acest sens, la fundațiile de mașini ca surse de vibrații, fețele laterale ale acestora se recomandă să nu fie în contact cu terenul de fundare, creându-se un spațiu liber între fundație și teren.

Al doilea aspect ce trebuie avut în considerare la izolarea activă este recomandarea ca ecranul să înconjoare, când este posibil, sursa de vibrații. Desigur că acest lucru nu este posibil la sursele mobile de vibrații. De fapt, asupra acestui caz se va mai reveni.

B. Protecția prin *izolare pasivă*, la obiect sau în câmp îndepărtat, se realizează atunci când ecranul se află la peste $2,5\lambda_R$ depărtare de sursa de vibrații. Când izolarea activă nu este posibilă, izolarea pasivă devine, în general, singura alternativă. Pentru a fi eficientă, în izolarea pasivă intervin o serie de elemente, de care trebuie ținut seama, așa cum ar fi:

- alegerea materialului ecranului (beton, noroi bentonitic, ecran deschis, ecran celular);

comportându-se ca un ecran deschis. În celelalte cazuri, grosimea se poate stabili ca la ecranele celulare (când interspațiul este realizat din panouri din tuburi de PVC).

Uneori, acestui spațiu I se pot da anumite utilități (pozare de cabluri electrice, telefoane etc.). În orice situație, partea superioară a acestui spațiu va fi acoperită cu bordura din jurul clădirii. Dacă lățimea (B_1) a spațiului liber este mare, va trebui avut în vedere reducerea capacității portante a terenului de fundare, datorită reducerii suprasarcinii (q) din rețea a presiunii critice sau a celei de plasticizare, calculată conform STAS 3300/2-85 [146].

- influența adâncimii relative H/λ_R :
- influența lungimii relative a ecranului L/λ_R :
- influența grosimii ecranului, la ecranele din beton, noroi sau celulare.

Aceste mărimi vor constitui probleme de analiză în subparagrafele următoare.

Atât în izolarea activă, cât și în cea pasivă, mărimea importantă care poate influența în mod deosebit dimensiunile ecranului este lungimea de undă $R(\lambda_R)$. Această mărime, la rândul ei, este dependentă de frecvență și de viteza de propagare a undelor prin pământ. Prin urmare, atât frecvența sursei perturbatoare, cât și viteza de propagare a undelor prin pământ, sunt mărimi care vor fi determinate cât mai precis. La clădirile deja existente, aceste determinări se fac direct pe teren, iar la clădirile ce urmează a fi construite, viteza se poate determina fie pe teren, fie prin calcule, în funcție de caracteristicile terenului, iar frecvența perturbatoare poate fi apreciată în funcție de tipul sursei sau măsurată, după caz.

6.2.2 Cu privire la alegerea materialului ecranului

În stabilirea tipului de ecran ce va fi folosit într-o izolare dată, problema se identifică cu stabilirea materialului din care se va executa ecranul.

După cum s-a arătat în capitolul 1, sub acest aspect, se pune problema alegerii între ecranele grele (din beton sau beton plastic), ușoare (celulare sau din noroi bentonitic), sau ecrane deschise (cu interspațiu din aer).

Alegerea unuia dintre aceste ecrane depinde de mai mulți factori, printre care cei mai importanți considerăm a fi:

- caracteristicile cinematice ale sursei de vibrații și ale terenului de fundare (deplasări, viteze, accelerații);
- limitele admise pentru vibrațiile construcției ce urmează a fi protejată;
- resursele materiale disponibile pentru realizarea unui ecran de un anumit tip;
- posibilitățile tehnice și financiare de realizare a ecranului propus;
- durata necesară a ecranării (dacă este temporară sau permanentă).

Dacă ecranarea este temporară, de exemplu numai pentru perioada de batere a unor piloți sau palplanșe etc., de regulă folosirea unui ecran deschis, acolo unde pereții săpăturii își mențin verticalitatea, poate rezolva problema. Când acest lucru nu este posibil, tranșeea formată prin ecranare se poate umple cu noroi bentonitic (eventual se sapă sub noroi), iar dacă în timp noroiul trece din stare de sol în stare de gel, se va face refluidizarea acestuia.

La lucrări de ecranare de tip definitiv, în funcție de restricțiile de vibrații ale obiectului protejat, se poate alege soluția ecranelor din beton plastic, din beton sau celulare.

a) *Ecranele din beton plastic*, așa cum s-a arătat în capitolul 4, se folosesc atunci când sursa de vibrații face ca la ecran să ajungă vibrații care, prin reducerea la jumătate a caracteristicilor cinematice, se ajunge la valori sub limita admisă a obiectului protejat. Deoarece aceste ecrane sunt mult mai ieftine ca oricare alt tip de ecran, prin:

- reducerea consumului de ciment, de regulă de la 300 kg/m^3 cât ar fi necesar la un ecran din beton simplu, la circa 100 kg/m^3 la ecranul din beton plastic;

- ecranul din beton plastic nu necesită transportul materialului rezultat prin săparea tranșeii în care se va executa ecranul, acest material amestecându-se, după cum s-a mai arătat, direct în tranșee cu ciment și apă, el constituind "agregatul" din care se realizează corpul ecranului;

- nu necesită utilaje speciale pentru execuție și transport (malaxoare, betoniere etc.), execuția făcându-se, de exemplu, cu un singur excavator cu cupă inversă;

- nu sunt necesare agregate pentru realizarea ecranului (așa cum sunt necesare la ecranul din beton).

b) Ecranele din beton simplu constituie o soluție recomandabilă la lucrări de ecranare cu restricții mai mari (de exemplu, reduceri de amplitudini sub 25%). Aceste ecrane sunt recomandate la lucrări definitive, au o comportare stabilă timp îndelungat (ca orice element din beton, de altfel), este posibil de realizat de către orice șantier de construcții necesitând pentru execuție utilaje obișnuite de preparare și transport a betonului, ca și cele de săpat pentru execuția tranșeii. Ele pot fi executate atât ca ecrane adânci, cât și ca ecrane de suprafață, tip dală, dală ce în practică, de multe ori, poate primi și alte utilități.

Singurul inconvenient al acestor ecrane este dat de consumul mare de beton care, chiar dacă, de exemplu, se folosește betonul ciclopian, consumul poate fi considerat tot mare, datorită grosimii mari a ecranului, grosime ce se situează în jurul valorii de $(0,1 \dots 0,2)\lambda_R$, ceea ce duce frecvent la grosimi de 60...80 cm. Prin urmare, folosirea acestor ecrane, recomandate, de altfel, trebuie bine justificată din punct de vedere economic. În lucrări de izolare activă, aceste ecrane pot fi destul acceptabile și din punct de vedere economic, când, așa cum s-a arătat în capitolul 4, adâncimea lor este în jur de $0,6\lambda_R$.

c) Ecranele celulare, după cum s-a arătat în capitolul 5, suplinesc cu succes ecranele din beton în ce privește ecranarea, dar sunt mult mai economice. Ele sunt ușor de realizat și nu necesită utilaje deosebite (cu excepția unui excavator și a unui utilaj de transport a materialului săpat - la fel ca și la ecranul din beton).

Montarea acestor ecrane se face direct în tranșee, când nu există apă subterană, în apă sau noroi bentonitic când există apă subterană sau săpătura nu își menține verticalitatea. În cazul executării ecranului celular sub noroi bentonitic sau sub nivelul apei, pentru a mări eficiența acestuia, tuburile din polietilenă ce alcătuiesc ecranul pot fi realizate cu capac la partea inferioară, împiedicând în acest fel pătrunderea apei sau a noroiului în interior.

d) Ecranele deschise executate sub formă de tranșee cu pereți de palplanșe au, după cum s-a arătat în capitolele 1 și 2, cel mai bun efect de ecranare. dezavantajul lor principal fiind acela al utilizării a doi pereți din palplanșe ce rămân înglobați definitiv în lucrare și care, nu de puține ori, ridică probleme deosebite la înfigere, datorită vibrațiilor sau baterii necesare. Acest lucru se întâmplă mai ales în izolarea pasivă a unor construcții vechi, la care șocurile sau vibrațiile produse la înfigerea palplanșelor, fac ca aceste ecrane să fie inacceptabile.

Oricum, prezența pereților din palplanșe, la ecranele deschise, mărește mult costul lucrării. Din aceste considerente se recomandă înlocuirea lor cu ecrane din beton sau cu ecrane celulare.

6.3 STUDII ȘI RECOMANDĂRI PRIVIND STABILIREA FORMEI ȘI DIMENSIUNILOR ECRANULUI

Lungimea și adâcimea ecranului depind, așa cum s-a arătat în capitolul 3, de următorii factori:

- difracția undelor pe la capetele ecranului;
- difracția undelor pe sub ecran;
- poziția ecranului față de sursa de vibrații (izolarea activă sau pasivă);
- dacă sursa de vibrații este fixă sau mobilă etc.

Grosimea ecranului, după cum a rezultat din studiile teoretice întreprinse în capitolul 3, precum și din determinările experimentale prezentate în capitolele 4 și 5, depinde de transmisia și reflexia undelor prin ecran respectiv de către ecran.

Vom încerca să prindem, în câteva exemple frecvent întâlnite în practică, multitudinea acestor factori. În fiecare caz, din considerente arătate în capitolul 2, sursa de vibrații se va considera la suprafața terenului (așa cum sunt vibrațiile tehnologice, cele din traficul rutier etc.). Această particularizare nu scade din generalitatea metodelor de ecranare ce sunt prezentate, iar în această lucrare ne-am oprit asupra lor din cauza frecvenței lor ca surse perturbatoare întâlnite în practică.

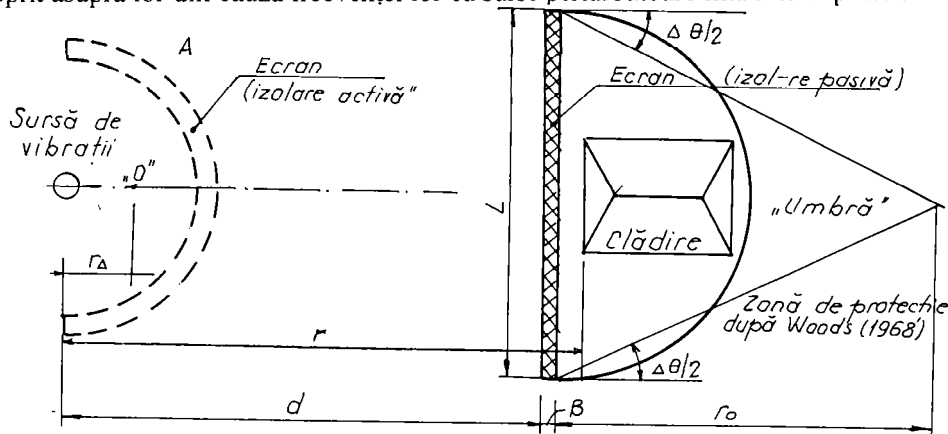


Fig. 6.4 Ansamblul clădire, ecran, sursă de vibrații

6.3.1 Asupra ecranării împotriva unor surse fixe de vibrații

Presupunem că o sursă fixă de vibrații, de caracteristici cunoscute (prin măsurători direct pe teren sau determinări analitice) perturbă, prin vibrațiile ce le

transmite terenului, buna funcționare a activității într-o construcție aflată la distanța (r) de sursa de vibrații (fig.6.4). Deci, la distanța (r) de sursă, amplitudinile, de exemplu, calculate cu relațiile (6.1), (6.2), sau (6.3), depășesc valorile admise pentru oameni, clădiri sau instalații. Vor fi necesare, deci, măsuri de protecție antivibratorie, iar ecranarea poate fi una dintre aceste soluții.

Ecranul poate lua orice poziție între sursă și clădire, dacă $d < 2,5\lambda_R$ (poziția "A" pe figura 6.4) spunem că facem izolare activă, iar dacă $d \geq 2,5\lambda_R$ izolarea este pasivă.

A. La *izolarea activă*, așa cum s-a prezentat în capitolul 3 (fig.3.12 și 3.15), se recomandă ca, atunci când este posibil, ecranul să înconjoare complet sursa de vibrații (ca un batardou). Dacă acest lucru nu este posibil, ecranul va înconjura sursa pe cel puțin 180° , așa cum s-a prezentat punctat pe figura 6.4 (poziția "A"). Reamintim ce s-a spus și anterior că, ori de câte ori este posibil, este de preferat izolarea activă față de cea pasivă.

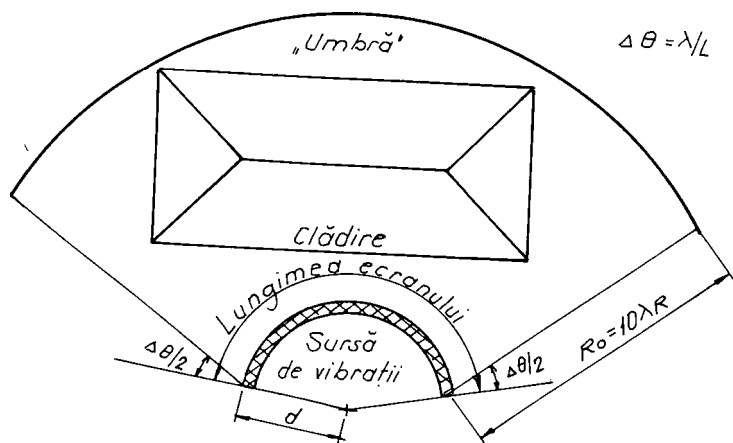


Fig. 6.5 Zona de protecție în izolarea activă

Zona de protecție ("umbra"), care în acest caz are valoarea $r_0 = 10\lambda_R$ (fig.6.5), se măsoară pe normala la mijlocul ecranului, în spatele acestuia. Pentru această zonă, raportul amplitudinilor cu și fără ecran, este sub 0,25. Această zonă este determinată, în special, de difracția undelor pe sub ecran. Pentru a asigura protecția necesară, trebuie ca adâncimea ecranului să respecte condiția $H/\lambda_R \geq 0,6$.

Lateral, zona de protecție este limitată de unghiurile $\Delta\theta / 2$, duse de la marginile ecranului, unghiul de difracție are valoarea $\Delta\theta = \lambda_R / L$ (vezi cap.3), λ_R fiind lungimea de undă R maximă, pentru care se face protecția antivibratorie.

Pentru a exista, deci, protecția necesară, clădirea va trebui să fie amplasată în această zonă de protecție.

B. La *izolarea pasivă*, ecranul se plasează la distanța de peste $2,5\lambda_R$ de sursă. Lungimea umbrei (r_0), (fig.6.4), se determină cu relația:

$$r_0 = L^2 / \lambda_R \quad (6.8)$$

Cunoscând dimensiunile clădirii, din această relație, printr-o simplă iterație, se poate determina lungimea ecranului (L), care asigură o zonă de protecție suficientă ca să acopere întregul amplasament al construcției.

Conform recomandării făcute de Woods, 1968 [111], zona activă ar fi limitată de un semicerc având diametrul egal cu lungimea ecranului (fig.6.4). In acest caz, lungimea ecranului rezultă și mai simplu, dacă se cunoaște dimensiunile clădirii ce urmează a fi protejată și, eventual, distanța ecran-clădire.

Pentru a menține același grad de protecție de 0,25, același autor recomandă ca:

$$H / \lambda_R \geq 1,33 \quad , \quad (6.9)$$

atunci când ecranul se află la distanța:

$$2 < d / \lambda_R < 7.$$

Pentru a ține seama de difracția undelor pe sub ecran, Woods recomandă ca aria normalizată să fie:

$$H L / \lambda_R^2 = 2,5, \quad (6.10)$$

pentru $d / \lambda_R = 2$, și:

$$H L / \lambda_R^2 = 6 \quad (6.11)$$

pentru $d / \lambda_R = 7$. Peste această distanță, autorul nu face nici o recomandare, din lipsă de date.

Considerăm că stabilirea zonei de protecție prin difracția undelor pe la capetele ecranului se poate face cu relațiile (6.8) și (6.10) sau (6.11).

In testele de izolare pasivă, adâncimea ecranului va trebui să respecte și condiția (6.9), și numai când această adâncime nu poate fi respectată, zona de protecție (r_0) se poate calcula ținând seama de deviația prin difracție a undelor pe sub ecran, cu unghiul $\Delta\theta$ (vezi 3.57). In acest caz, lungimea umbrei devine (6.13):

$$r_0 = H \operatorname{ctg} \beta - \frac{\Delta\theta}{2}$$

relație în care unghiul β este unghiul de vedere al ecranului din punctul în care se

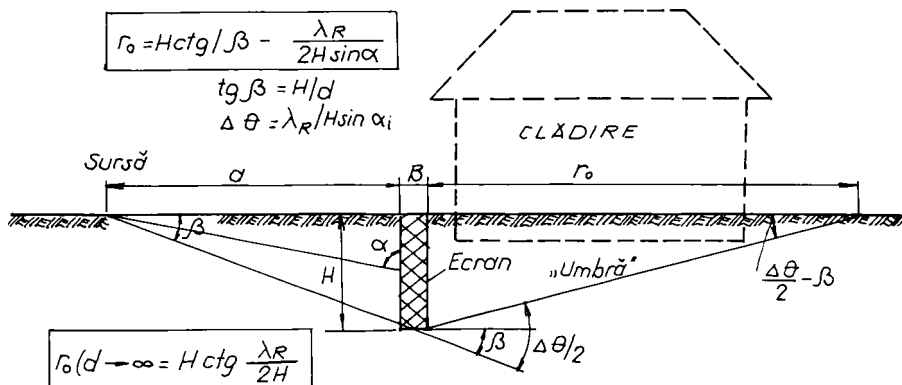


Fig. 6.5 Zona de protecție la difracția undelor pe sub ecran

află sursa (fig.6.6) și se poate calcula cu relația:

$$\operatorname{tg} \beta = H / d \quad (6.14)$$

Inlocuind valoarea deviației $\Delta\theta$ în relația (6.12) rezultă (6.15):

$$r_0 = H \operatorname{ctg} \left| \beta - \frac{\lambda_R}{2H \sin \alpha} \right|$$

acă sursa este foarte departe de ecran, teoretic la infinit, deci $\beta = 0$ și $\alpha = 90^\circ$, umbra devine minimă, de valoare (6.15):

$$r_0 = H \operatorname{ctg} \frac{\lambda_R}{2H}$$

Cunoscând valoarea lui r_0 (lungimea necesară a umbrei) se poate calcula adâncimea necesară a ecranului, care să acopere această distanță, din relațiile (6.14) sau (6.15), printr-o iterație simplă.

6.3.2 Asupra ecranării împotriva unor surse mobile de vibrații

În practică, nu de puține ori, se pune problema izolării unor construcții față de vibrațiile provenite de la surse mobile (așa cum sunt, de exemplu, cele provenite din traficul rutier). Aspectele teoretice ale acestui caz au fost arătate în capitolul 3.

A. În cazul unei surse mobile de vibrații ce se deplasează pe un drum ce trece prin fața unei clădiri (fig.6.7), se determină, prin măsurători, două puncte (S_1 și S_2), începând de la care oscilațiile depășesc limita admisă. În acest caz se vor lua în considerare vehiculele ce transmit cele mai mari vibrații în teren (sau afectează clădirea) dintre cele ce circulă pe calea de acces respectivă. În paralel, se vor determina și valorile maxime măsurate pe clădire, ale amplitudinilor, pentru aceleași surse de vibrații. În cauza frecvenței proprii a elementelor componente ale clădirii, sau a clădirii în ansamblu, s-ar putea ca nu vehiculele cele mai grele să producă cele mai mari perturbații.

acă clădirea este nouă, după stabilirea amplasamentului, eventual ținând seama de cele recomandate la paragraful 6.1, se vor face aceleași măsurători în două puncte A și C (fig.6.7), de pe amplasament sau de pe clădire, puncte situate în extremitățile clădirii sau amplasamentului, cele mai aproape de calea de acces.

Pentru a fi cât mai puțin adânc, ecranul se recomandă să fie cât mai aproape de sursă, așa cum s-a arătat la 6.3.1. Însă, în cazul unei situații date, poziția ecranului poate rezulta din condiții de arhitectura, sau condiții impuse de unele lucrări subterane, care nu dau o libertate prea mare în așezarea ecranului în condiții optime.

Cunoscând cele două puncte S_1 și S_2 (fig.6.7) și poziția ecranului, se va determina, prin iterație, folosind relațiile de la sursa fixă de vibrații (6.8...6.11), lungimea ecranului care asigură umbra r_0 de valoare cunoscută. Această mărime rezultă din condiția ca zona de protecție, de lungime r_0 , să acopere clădirea sau amplasamentul dorit.

Pentru a asigura clădirea (sau amplasamentul acesteia), față de difracția undelor pe sub ecran, se va determina lungimea umbrei și din această condiție. Această verificare este obligatorie când nu se poate respecta condiția 6.9. În acest caz, sursa de vibrații va fi considerată în punctul cel mai apropiat de clădire, sau cel în care, din măsurători, rezultă vibrații maxime (în fig. 6.7 acest punct este notat cu S_0). Folosind, după caz, relațiile 6.10, 6.11 și 6.14 sau 6.15, se va determina umbra din acest considerent.

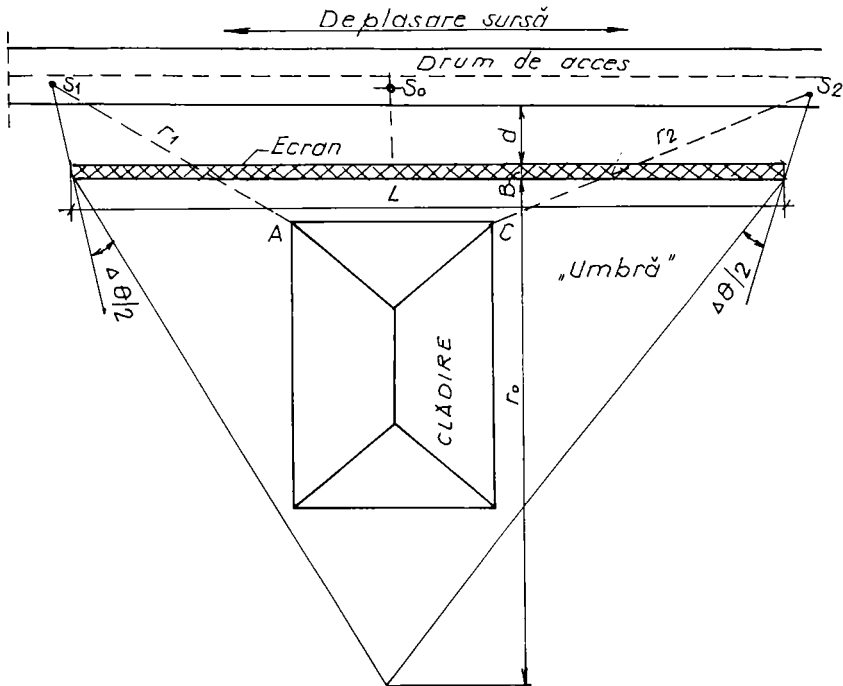


Fig. 6.7 Ecranarea unei surse mobile liniar

B. Un alt caz frecvent întâlnit în practică este acela al *izolării unei clădiri aflate la o intersecție de străzi* (fig. 6.8). Determinarea punctelor S_1 și S_2 și a amplitudinilor maxime pentru vehiculele ce circulă pe cele două străzi se face în mod identic cu cele prezentate anterior.

De asemenea, cele afirmate în legătură cu poziția ecran-sursă-clădire, rămân valabile și în acest caz. Singura deosebire este că deviația prin difracție va fi diferită, la cele două capete ale ecranului, în funcție de lungimile L_1 și L_2 ale ecranului, aferente celor două străzi.

Lungimile ecranului (L_1 și L_2) se determină în mod identic, folosind aceleași relații ca și în cazul sursei de vibrații ce se deplasează liniar, prin fața clădirii.

C. Dacă clădirea sau fundația unei mașini trebuie protejată față de vibrații ce vin din trei sau mai multe direcții diferite și care fac între ele un unghi de peste 90°

, se recomandă ca ecranul să înconjoare complet clădirea sau fundația, ca un batardou.

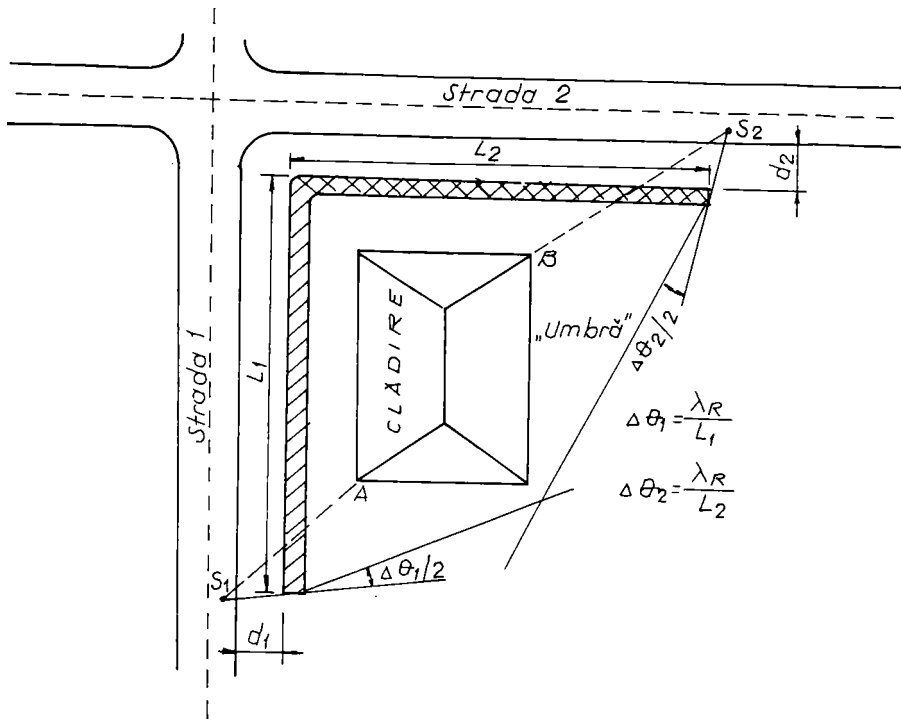


Fig.6.8 Izolarea unei clădiri de colț

6.3.3 Stabilirea grosimii ecranului

Un alt element geometric important în proiectarea unei ecranări este acela al grosimii ecranului. Pentru determinarea acestei mărimi trebuie cunoscut ce raport al amplitudinilor după și înainte de ecranare va trebui realizat (A_k / A_0). Acest raport se stabilește, de regulă, prin măsurarea vibrațiilor maxime (A_0) produse de o sursă pe o clădire sau un amplasament, așa cum s-a arătat, de exemplu, în paragraful anterior (6.3.2). Amplitudinile A_k , după ecranare (deplasări, viteze sau accelerații) se vor lua, de regulă, cele admise pentru clădirea respectivă.

Cunoscând acest raport, grosimea ecranului se stabilește în funcție de tipul acestuia.

A. La *ecranele deschise*, după cum s-a arătat în capitolul 3, grosimea acestora nu are nici un efect asupra ecranării, o grosime cât de mică va avea același efect ca una de dimensiuni apreciabile. Acest lucru se întâmplă, așa cum s-a mai arătat, deoarece undele transmise prin deschiderea creată de ecran (deschidere din aer) sunt nesemnificative. Prin urmare, ecranele deschise sunt ecranele ideale, sub aspectul opririi transmiterii undelor prin ele.

B. **Ecranele din beton** au dimensiuni impuse, de regulă, de tehnologia aplicată la realizarea lor. Cele mai utilizate tehnologii sunt cele ale pereților îngropați.

Grosimea acestor ecrane este de minimum $0,1\lambda_R$, dar de fiecare dată se va verifica deplasarea sau energia undelor transmise prin ecran, folosind relațiile (3.41) sau (3.42) și cele aferente lor, prezentate în capitolul 3.

Aici se poate aplica observația lui Haupt, 1974 [52], care a remarcat faptul că efectul de ecranare este același dacă suprafața normalizată:

$$\alpha = B H / \lambda_R^2, \quad (6.16)$$

rămâne constantă. Prin urmare, ecranul poate fi adânc sau tip dală (fig.6.9), efectul fiind același, forma lui depinzând de condițiile din teren și de posibilitățile tehnice de realizare.

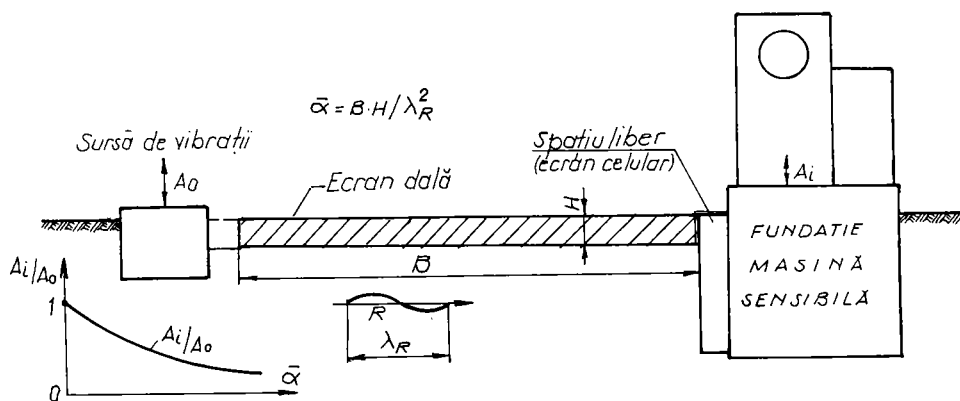


Fig. 6.9 Ecran dală

Ecranul tip dală este recomandat în special la izolarea unor mașini sensibile, când ecranul propriu-zis poate fi constituit din pardoseala clădirii în care este amplasată mașina.

Condiția care se pune și aici, conform celor arătate la 6.1.3, este ca suprafața laterală a fundației protejate să nu fie în contact cu terenul, eventual se va realiza în jurul fundației un ecran celular.

C. **Ecranele celulare** au grosime minimă, așa cum s-a arătat în capitolul 5, de 17 cm, pentru a realiza un raport al amplitudinilor de 0,25, în cazul realizării acestora din tuburi PVC de tip ușor.

Orientativ, grosimea ecranului se poate stabili din diagrama 5.22, dacă se folosesc tuburi PVC de joasă presiune (tip U) așa cum s-au folosit în experimentările realizate și prezentate în teză. Tot orientativ, după cum s-a arătat în 5.3.4, pentru ecranul ce trece de limita minimă a grosimii (17 cm) raportul impedanțelor este de 1:10, adică $Z_2 / Z_1 = 10$, vitoare ce poate fi utilizată în predimensionare.

Fără a fi necesare alte calcule, pe baza măsurătorilor făcute, putem afirma că, un ecran dublu din panouri cu tuburi de 110 mm diametru, de tip ușor, va asigura raportul amplitudinilor de 0.25, cu condiția respectării adâncimii și lungimii ecranului, conform celor arătate în 6.3.1 și 6.3.2.

6.4. RECOMANDĂRI PRIVIND ALCĂTUIREA CONSTRUCTIVĂ A ECRANELOR CELULARE

6.4.1 Cu privire la realizarea constructivă a ecranelor celulare

Deoarece ecranele celulare propuse de autor a fi folosite în lucrări de protecție antivibratorie constituie noutatea acestei cercetări, vom prezenta în continuare o serie de principii și metode de alcătuire constructivă a acestor ecrane.

Din punct de vedere constructiv, ecranele celulare sunt alcătuite din tuburi de PVC, prinse între ele sub formă de panouri (fig.6.10). Această prindere se face cu tiranți metalici, cu cleme metalice sau prin lipire.

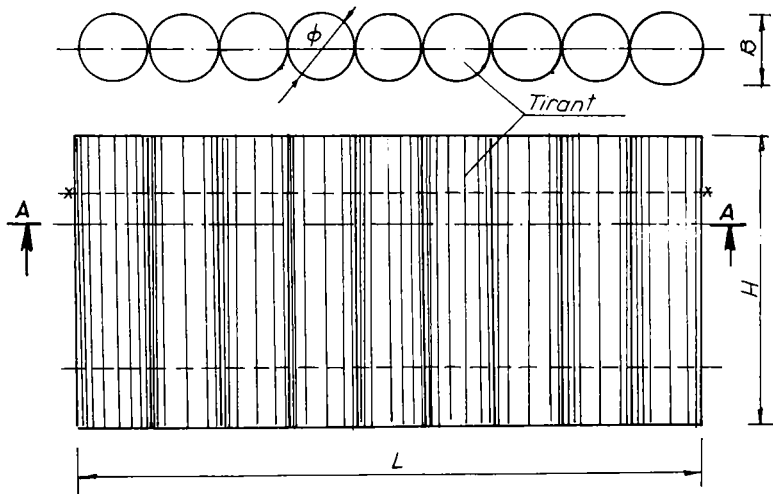


Fig.6.10 Panou din tuburi de polietilenă

Pentru realizarea grosimii dorite a ecranului (B), se fac asocieri de panouri, identice sau diferite (fig.6.11), obținându-se diferite tipuri de ecrane (simple, duble, compuse etc.).

După cum s-a arătat în capitolul 5, **principiul de bază care trebuie avut în vedere este ca ecranul să asigure un volum de aer cât mai mare și să nu permită pătrunderea nisipului sau pământului în spațiul ocupat de ecran.** Acest principiu rezultă din faptul că, în funcționarea ecranului, pentru a asigura reflexia maximă a undelor incidente, acesta trebuie să suporte deformații elastice de două ori mai mari ca amplitudinea deplasării undelor incidente pe ecran.

Pentru realizarea ecranelor celulare se recomandă să se folosească țevi din PVC neplastefiat, de tipul celor folosite la instalațiile tehnico-sanitare. Aceste țevi

se fabrică conform STAS 6675/1...8, în trei tipuri, în funcție de presiunea nominală a fluidului ce circulă prin acestea și anume:

- tip ușor (U) de culoare neagră, $P_n = 250$ kPa;
- tip mediu (M), de culoare naturală, până la bej deschis, $P_n = 600$ kPa;
- tip greu (G), de culoare cenușie, $P_n = 1000$ kPa.

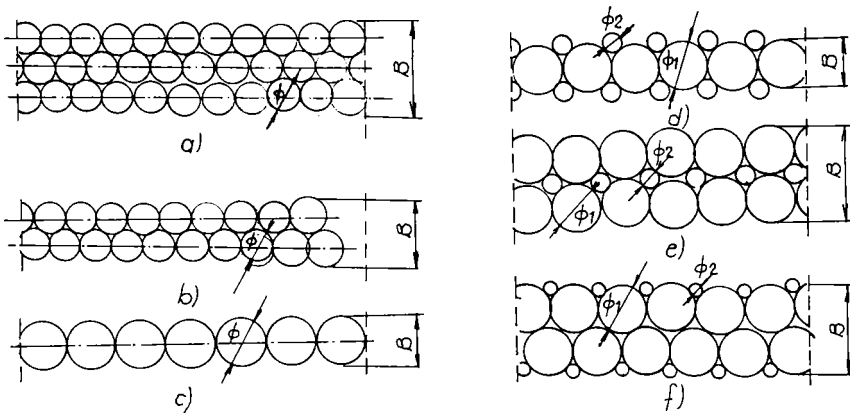


Fig. 6.11 Alcătuirea unor ecrane celulare: a) ecran triplu; b) ecran dublu; c) ecran simplu; d, e, f) ecrane mixte

Presiunea nominală are semnificația unei presiuni acceptate (de calcul) a fluidului în conductă, atunci când temperatura acestuia nu depășește 60° C. la cele de tip U și 40° C la cele de tip M și G.

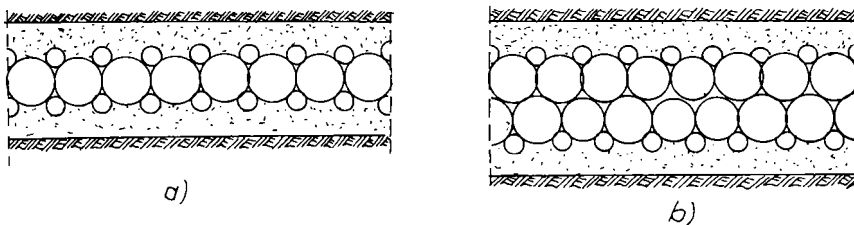


Fig. 6.12 Secțiuni prin ecrane celulare montate în pământ: a) ecran mixt simplu; b) ecran mixt dublu

Diametrul acestor țevi este standardizat la dimensiunile: 32, 40, 50, 75, 110, 125 și 160 mm, dimensiuni ce corespund diametrului exterior. Grosimea peretelui este variabilă, de la 2...3 mm la cele de tip ușor, până la 10 mm la cele de tip greu, grosime ce depinde de presiunea nominală, precum și de diametrul exterior.

Lungimea de livrare este de 4m la cele ușoare și medii și poate ajunge la 6...12 m la cele de tip greu. Recent, dimensiunile și culoarea acestor țevi depind de firma producătoare, respectându-se în general standardele vest europene, cu care

firmele românești sunt asociate. Așa este, de exemplu, S.C. POLITUB S.R.L. Bistrița, asociată cu o firmă franceză, care produce țevi din polietilenă, de medie și mare presiune (6...16 bar), pentru apa potabilă și de 4 bari pentru gaze naturale (vezi tabelul 4.1).

Tabelul 4.1

**CARACTERISTICILE DE BAZĂ ALE ȚEVILOR FABRICATE
CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DES TUBES FABRIQUÉS**

Polietilenă <i>Polyéthylène</i>	Diam. ext. (mm)	Apă potabilă <i>Eau potable</i>						Gaz natural <i>Gaz naturel</i>	
		Pn 6 (bar)		Pn 10 (bar)		Pn 16 (bar)		Pn 4 (bar)	
		Grosime <i>Épaisseur</i> (mm)	Masa <i>Masse</i> (kg/ml)	Grosime <i>Épaisseur</i> (mm)	Masa <i>Masse</i> (kg/ml)	Grosime <i>Épaisseur</i> (mm)	Masa <i>Masse</i> (kg/ml)	Grosime <i>Épaisseur</i> (mm)	Masa <i>Masse</i> (kg/ml)
PE 80	20	3,0	0,162	3,0	0,162	3,0	0,162	3,0	0,162
PE 100		3,0	0,164	3,0	0,164	3,0	0,164	-	-
PE 80	25	3,0	0,210	3,0	0,210	3,0	0,210	3,0	0,210
PE 100		3,0	0,212	3,0	0,212	3,0	0,212	-	-
PE 80	32	3,0	0,277	3,0	0,277	3,6	0,326	3,0	0,277
PE 100		3,0	0,280	3,0	0,280	3,0	0,280	-	-
PE 80	40	3,0	0,354	3,0	0,359	4,5	0,510	3,7	0,428
PE 100		3,0	0,356	3,0	0,356	3,7	0,432	-	-
PE 80	50	3,0	0,450	3,7	0,550	5,6	0,790	4,6	0,665
PE 100		3,0	0,455	3,0	0,455	4,6	0,670	-	-
PE 80	63	3,0	0,575	4,7	0,870	7,1	1,260	5,8	1,050
PE 100		3,0	0,580	3,8	0,725	5,8	1,060	-	-
PE 80	75	3,6	0,825	5,5	1,220	8,4	1,770	6,8	1,470
PE 100		3,0	0,700	4,5	1,030	6,8	1,490	-	-
PE 80	90	4,3	1,180	6,6	1,750	10,1	2,550	8,2	2,130
PE 100		3,5	0,985	5,4	1,470	8,2	2,150	-	-
PE 80	110	5,3	1,770	8,1	2,620	12,3	3,790	10,0	3,150
PE 100		4,2	1,440	8,1	2,650	10,0	3,190	-	-
PE 80	125	6,0	2,260	9,2	3,370	14,0	4,880	11,4	4,090
PE 100		4,8	1,860	7,4	2,790	11,4	4,130	-	-

Din analiza acestui tabel se observă că diametrul exterior este de la 20 mm la 125 mm, grosimea peretelui este de 3 ...6 mm pentru cele de medie presiune și poate ajunge la 11,4 mm la cele de înaltă presiune.

Se poate remarca, de asemenea, că cele de medie presiune au masa sub 2,5 kg/m, ceea ce duce la ușurință în manipulare, atunci când sunt folosite pentru confecționarea de ecrane celulare.

6.4.2 Câteva încercări experimentale asupra tuburilor folosite la realizarea ecranelor

După cum s-a prezentat în 5.2.2. la executarea ecranului folosit în experimentările întreprinse s-au utilizat tuburi de tip ușor (U), cu diametrii de 110 mm și 50 mm. Grosimea pereților este de 2 mm pentru ambele tipuri de tuburi.

Având în vedere poziția tuburilor în ecran și încărcarea lor din împingerea pământului, s-au făcut două tipuri de determinări, ambele încercând să modeleze cât mai fidel solicitările la care sunt supuse tuburile în timpul exploatarei ecranului.

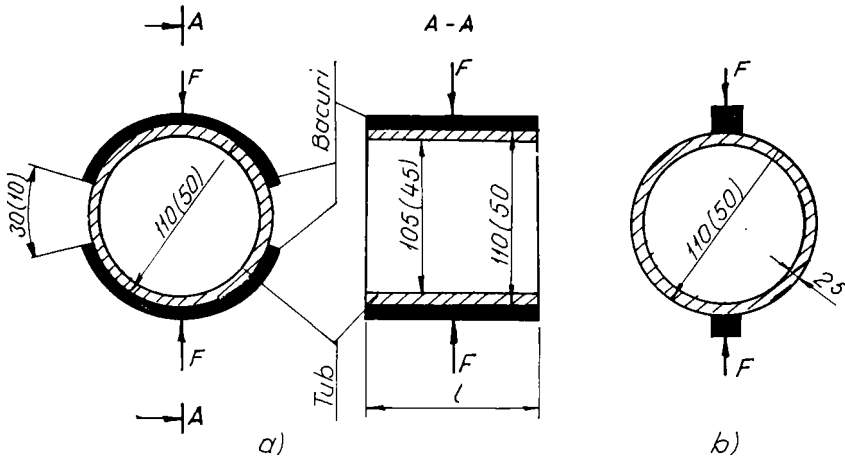


Fig. 6.13 Încărcări experimentale asupra tuburilor folosite la ecranare:
a) încărcare pe o suprafață limitată; b) încărcare pe generatoare

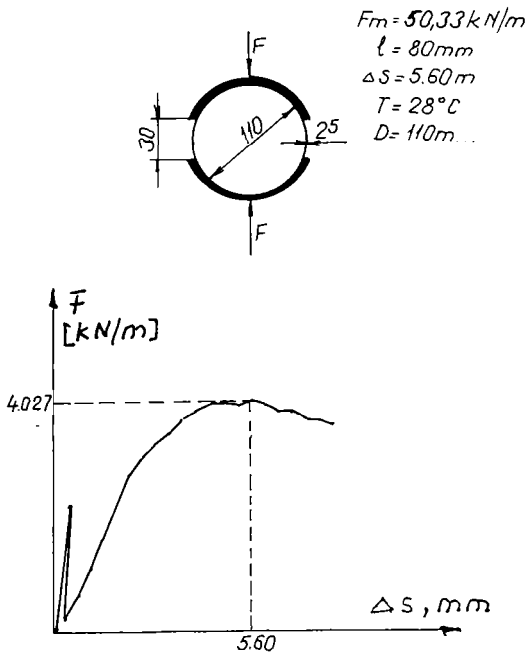


Fig.6.14 Încercări tip A pe tuburi de 110mm

a) Un set de încercări s-a făcut prin solicitarea tubului în secțiune transversală, pe o anumită sa rafată, încercare ce simulează presiunea din împingerea statică și dinamică a pământului asupra tubului (fig.6.13a).

b) Al doilea set de încercări s-a făcut prin încărcarea tuburilor după generațiile (e.g., 1, ...), situație similară cu solicitarea unui tub aflat în interiorul unui ecran compus.

Rezultatele măsurătorilor făcute sunt prezentate în figurile 6.14 și 6.15, pentru încercările de tip A și în figurile 6.16 și 6.17, pentru încercările

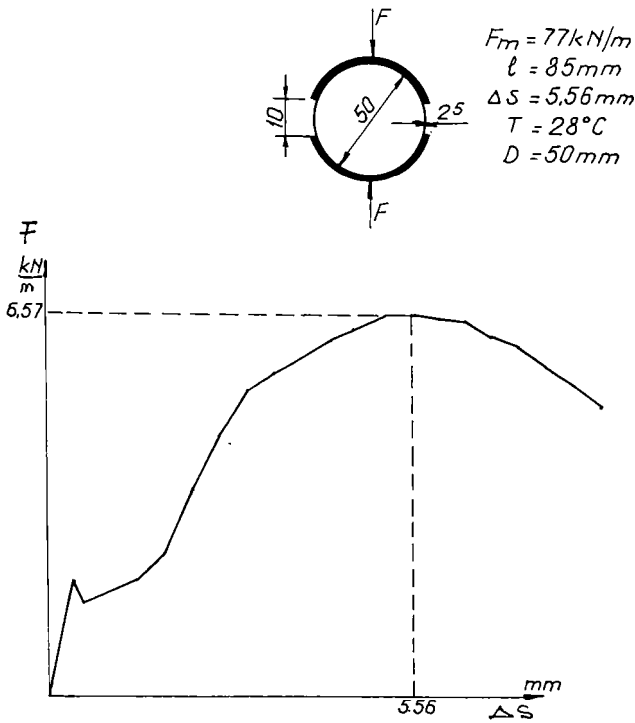


Fig. 6.15 Incercări tip A pe tuburi de 50mm

timpul acestor determinări a fost de 28°C .

La încercările de compresiune pe generatoare (tip B) se constată că materialul se comportă cvasiliniar, pe domeniul de 16%, respectiv 18%, deformație specifică (raportată la diametrul tuburilor). Acest lucru este foarte important în modul de lucru al tuburilor în ecran, putându-se face observația că panta dreptelor obținute (m) nu este relevantă, deoarece este de așteptat ca aceasta să se modifice odată cu schimbarea temperaturii, din cauza creșterii rigidității tubului odată cu scăderea temperaturii acestora. Aceleași observații sunt, de altfel, valabile și pentru forțele maxime admise de deformare a tuburilor, forțe ce vor depinde de temperatura de lucru a ecranului. Având în vedere că în pământ temperatura variază în limite mult mai mici decât în atmosferă și că rigiditatea tuburilor crește cu scăderea temperaturii, pentru a lua în calcul situația cea mai defavorabilă, aceea a refracției unui maxim de energie prin ecran, forțele maxime admise luate în calcul pentru tuburi vor trebui determinate la temperatura cea mai scăzută la care va lucra ecranul în exploatare. Din acest motiv, rezultatele experimentale prezentate au mai mult un caracter orientativ.

de tip B.

Analizând rezultatele obținute se constată că atât la diametrii de 50 mm, cât și la cei de 110 mm, forța maximă la încărcarea pe suprafață limitată (tip A) se atinge atunci când deformația este de aproximativ 5,6 mm, după care tubul începe să cedeze, forța de deformare reducându-se treptat. Așa cum era de așteptat, forța de deformare este mai mare la tubul de 50 mm (77 kN/m), față de cel de 110 mm ($50,33 \text{ kN/m}$). Se poate menționa că la ambele tuburi grosimea pereților a fost aceeași (2 mm), iar temperatura pe

$F = 2.53 \text{ kN/m}$
 $m = 142 \text{ kN/m}$
 $l = 0.080 \text{ m}$
 $T = 28^\circ\text{C}$
 $\% \varepsilon = \frac{\Delta S}{D} \cdot 100 = \frac{1790.1}{110} = 16\%$

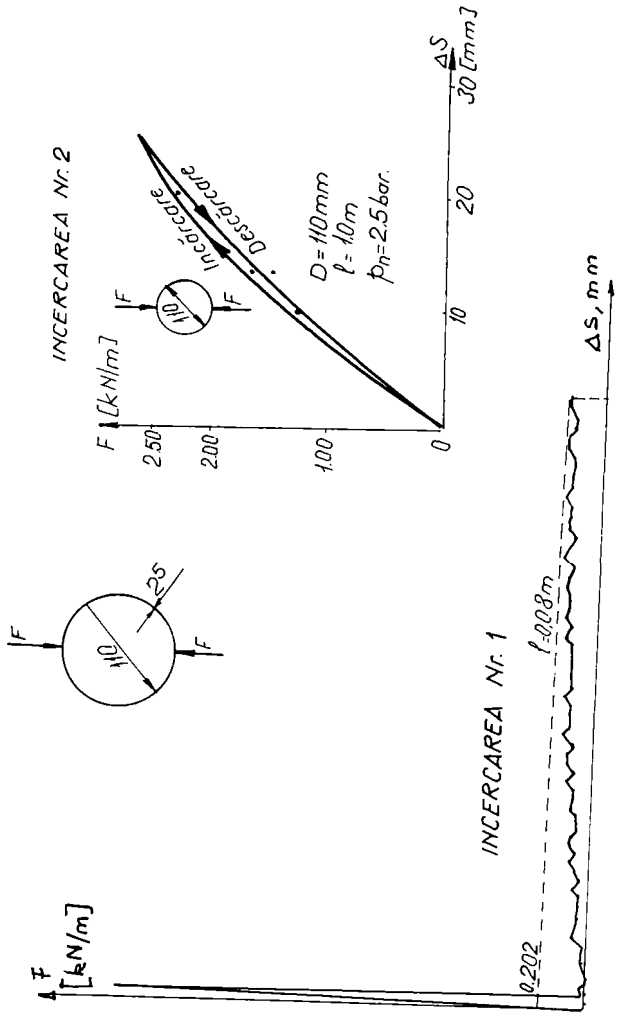


Fig. 6.16. Incercări tip B pe tuburi de 110 mm

$$F_m = 5.62 \text{ kN/m}$$

$$l = 0.1 \text{ m}$$

$$m = \frac{5.62}{9.109 \cdot 10^{-3}} = 617 \text{ kN/m}$$

$$T = 28^\circ \text{C}$$

$$\% \varepsilon = \frac{910.9}{50} = 18\%$$

$$D = 50 \text{ mm}$$

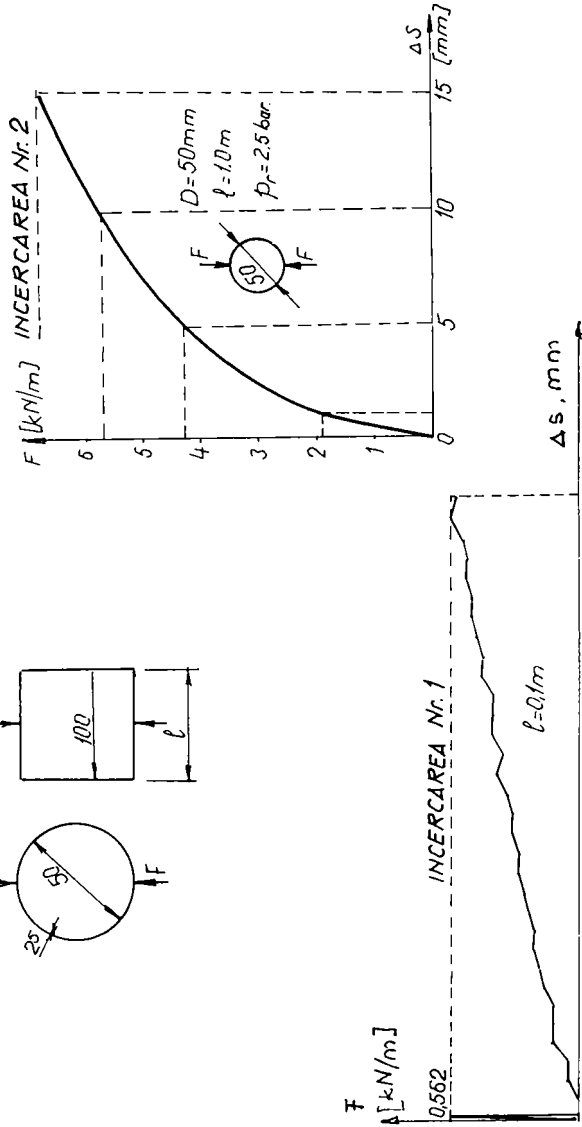
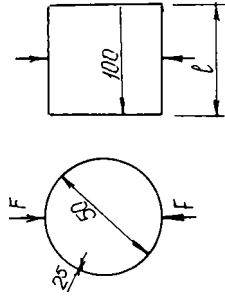


Fig. 1.17 Incercări tip B pe tuburi de 50 mm

Referitor la *condițiile de prindere și solicitare* a tuburilor în timpul încercărilor, acestea s-au făcut pe cât posibil, respectând condițiile de solicitare a tuburilor în ecran, în timpul exploatării, dar au ținut seama și de posibilitățile tehnice de prindere a tuburilor în aparatul de încercat și de aplicare a încărcărilor.

Solicitări mai complexe și metode de rezemare a tuburilor cât mai aproape de realitate ar completa, desigur, rezultatele cercetării și ar mări încrederea în datele obținute. Pe de altă parte, încercările de tip A, prin încărcarea după generatoare oferă rezultate ce pot fi considerate că reprezintă situația cea mai defavorabilă și deci sunt acoperitoare și pentru încărcări și pentru altfel de rezemări. Rezultatele obținute pot fi completate, așa cum s-a amintit, cu încercări ale tuburilor la diferite temperaturi, fapt care ar implica și fluajul, mărime de care va trebui ținut seamă la ecranele celulare ce se realizează pentru lucrări definitive.

6.4.3 Recomandări privind corelarea adâncimii ecranului celular cu tipul tuburilor folosite

Coborârea ecranului celular în teren, la o anumită adâncime, duce la exercitarea asupra pereților acestuia a unei presiuni din împingerea pământului, eventual și a apei, presiune ce poate duce la strivirea acestuia. Deoarece în condiții normale ecranul nu cedează și nici nu exercită presiuni asupra pământului înconjurător, recomandăm ca încărcarea statică luată în calculul împingerii pământului asupra ecranului să se facă prin folosirea coeficientului de împingere în stare de repaus (K_0) (fig. 6.18a).

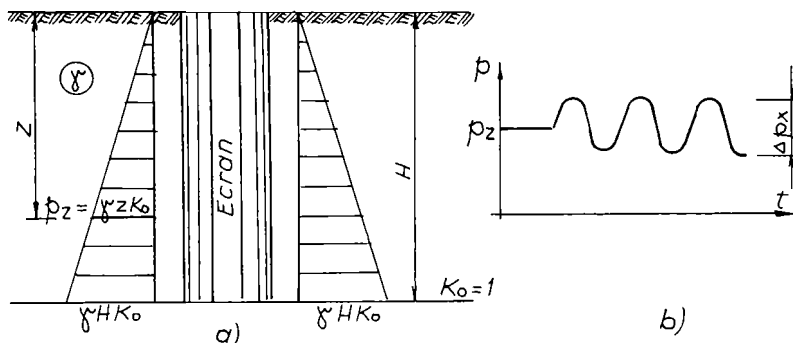


Fig. 6.18 Încărcarea din împingere asupra ecranului: a) încărcare statică; b) presiunea dinamică

Funcționarea ecranului se va face sub o încărcare statică $p_z = \gamma z K_0$, peste care se suprapune o presiune dinamică, atunci când pe ecran cade un front de undă. Dacă presiunea statică crește liniar în adâncime, presiunea dinamică va scădea exponențial, așa cum s-a arătat în capitolul 2, datorită reducerii amplitudinii undelor R în adâncime.

Pe baza acestor observații considerăm că alegerea tipului de tub (ușor, mediu sau greu) să se facă numai pe baza presiunii statice maxime de la baza ecranului,

luând $K_0 = 1$. În sprijinul acestei ipoteze vine și faptul că, după cum s-a văzut la măsurătorile pe ecranele experimentate, deformațiile dinamice determinate de frontul de undă sunt de ordinul micronilor și, prin urmare, presiunile rezultate nu vor influența prea mult presiunea statică (figura 6.18b).

Pe baza schemelor statice admise, în exploatare pot apărea următoarele cazuri:

A. *Tub încărcat circular* în secțiune transversală, așa cum se vede în figura 6.19a, situație posibilă în cazul ecranului simplu, format dintr-un singur tip de tuburi.

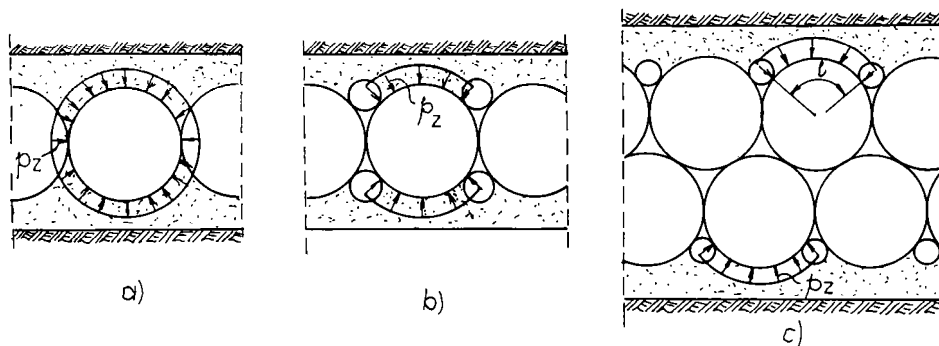


Fig. 6.19 Schema de încărcare a tuburilor în ecran în cazul : a) ecranului simplu; b) simplu mixt; c) ecranului dublu mixt

Această presiune, redusă la dimensiunea tubului, poate fi comparată cu presiunea nominală admisă a fluidului din tub, presiune garantată de producător. Sub acest aspect, la ecranele având maximum 10 m adâncime, presiunea pe tub nu va depăși valoarea $p_H = 20 \times 10 \times 1 = 200$ kPa, considerând $\gamma = 20$ kN/m³. Prin urmare, tuburile de tip ușor (U), ce au presiunea admisă de 250 kPa vor fi suficient de rigide pentru a prelua aceste încărcări. Alegerea tubului din acest considerent se poate face pentru ecrane a căror secțiune este prezentată în figura 6.19a. Această soluție nu este însă recomandată de autor deoarece ecranul creează un spațiu liber redus și, prin urmare, va avea o eficiență redusă în ce privește ecranarea.

B. *Tub încărcat pe o anumită porțiune* (fig. 6.19b,c) se întâlnește la ecranele compuse, la care presiunea din împingerea pământului acționează pe o zonă limitată. Această presiune, aferentă unui metru liniar de tub, redusă la suprafața de tub pe care acționează, va da o forță (fig. 6.19c):

$$F_{ef} = p_z \cdot l \cdot l = \gamma H \cdot l \cdot l = \mu F_m, \quad (6.17)$$

unde F_m este forța de rupere determinată pe tubul respectiv, printr-o solicitare similară (vezi fig. 6.15), iar μ este un coeficient de siguranță.

C. *Tub încărcat pe generatoare* se întâlnește la ecranele formate din cel puțin trei panouri identice, la care contactul între tuburi se face în 6 puncte simetrice. De aceea considerăm că tratarea încărcării din acest caz cu cea de la punctele A sau B prezentate anterior, poate asigura stabilitatea necesară a ecranului.

7. CONCLUZIILE, CONTRIBUȚIILE ȘI PROPUNERILE AUTORULUI LA TEMA CERCETATĂ

Teza de doctorat este structurată pe 7 capitole și cuprinde 219 pagini, 155 figuri, 237 relații matematice, 32 tabele și 148 referințe bibliografice.

7.1 CONCLUZII GENERALE CU PRIVIRE LA ECRANAREA ANTIVIBRATORIE A CONSTRUCȚIILOR

Complexitatea fenomenelor care au loc la realizarea în pământ a unui ecran cu rol de protecție antivibratorie a fundațiilor unei construcții a determinat abordarea temei atât sub aspect teoretic cât și experimental.

Deoarece, așa cum rezultă din studiile teoretice (vezi cap. 2 și 3), ecranele care au cel mai mare efect de izolare sunt cele care produc dezacordarea cea mai mare a impedanței ecranului față de cea a terenului de fundare înconjurător. cercetările experimentale s-au făcut asupra ecranelor din beton și *asupra ecranelor celulare, soluție nouă, propusă de autor.*

Din considerente economice, s-au făcut și o serie de măsurători pe un ecran din beton plastic, ecrane care, chiar dacă nu au aceeași eficiență ca cele amintite, datorită prețului lor mai mic de realizare, sunt aplicabile mai ales acolo unde restricțiile de izolare nu sunt așa de severe. De asemenea, ecranele din beton plastic pot fi folosite cu succes acolo unde, în faza de execuție a construcției, ele pot îndeplini rolul de impermeabilizare sau chiar de sprijinire a pereților săpăturii. După terminarea construcției urmează ca ecranul, pe perioada existenței acesteia, să își îndeplinească rolul de izolare antivibratorie.

Scopul lucrării este de a contribui la dezvoltarea unui domeniu nou în dinamica pământurilor, acela al protecției antivibratorii a ansamblului fundațiilor unei construcții sau a unui amplasament dat și doar în caz particular a unei fundații izolate. În ultimă instanță cercetările vor duce la elaborarea unor recomandări ale unor instrucțiuni de proiectare a unei protecții antivibratorii prin ecranare. De aceea studiile și cercetările făcute în teză nu s-au rezumat numai la soluția nouă de ecranare propusă, aceea a ecranului celular, ci s-au extins și asupra ecranelor rigide din beton, ecrane recomandate, așa cum s-a arătat, de studiile făcute de A.W.Haupt și B Prange, 1979 [51], [52] în Germania, dar și pe ecranele din beton plastic, pentru motivele arătate anterior.

Rezultatele acestor studii și cercetări, efectuate pe ecranele rigide sau plastice, cu concluziile și recomandările desprinse, sunt prezentate în capitolul 4, de aceea nu mai revenim asupra lor.

Pe lângă elaborarea recomandărilor de instrucțiuni de proiectare amintite, așa cum s-a spus, autorul tezei oferă și o soluție nouă de izolare antivibratorie a

fundatiilor prin folosirea ecranelor celulare, ecrane realizate din țevi de polietilenă montate în pământ sub formă de panouri , soluție prezentată pe larg în capitolul 5.

Pentru susținerea soluției propuse, în capitolul 3 se face o prezentare teoretică pe larg a fenomenelor ce au loc la reflexia undelor pe ecran, dar mai ales a refracției undelor prin ecran. Conform acestor demonstrații teoretice, ecranul celular are un efect de izolare chiar mai bun ca ecranul din beton de dimensiuni comparabile.

Având în vedere costul mai redus al ecranului celular și mai ales ușurința în execuție, comparativ cu a ecranului din beton, susținem că există toate motivele ca el să se impună ca o nouă soluție de protecție antivibratorie.

Pentru a nu ne baza doar pe soluții teoretice, în capitolul 5 s-au făcut o serie de măsurători experimentale de laborator și de teren asupra ecranului celular. Rezultatele obținute au confirmat studiile teoretice, așa cum era de altfel de așteptat.

Eficiența ecranării, la toate tipurile de ecrane, este exprimată prin raportul amplitudinilor deplasării verticale ale suprafeței terenului, cu și fără ecran. Așa cum s-a mai arătat de altfel, ecranul se consideră eficient dacă acest raport scade sub 0,25. În cazul ecranelor celulare această condiție se atinge atunci când grosimea acestora, în cazul execuției pe tuburi de tip ușor, este de cel puțin 17cm.

Fiecare capitol din teză, care prezintă cercetările făcute de autor pe o anumită categorie de ecrane (rigide, plastice, celulare), se încheie cu un paragraf în care s-au tras concluziile de rigoare. De aceea, în final vom face o sinteză a acestor concluzii și ne vom referi mai ales la cele care au o valabilitate generală și o aplicabilitate cât mai largă.

Legat de *adâncimea de realizare a ecranului*, indiferent de tipul acestuia, sunt acceptate în general recomandările făcute de Woods, 1968 [111], [139], care arată că:

- la izolarea în câmp apropiat, adâncimea H a ecranului va fi de cel puțin $0,6\lambda_R$ (λ_R fiind lungimea fundamentală a unde R):

- la izolare în câmp îndepărtat, trebuie ca $H \geq 1,4\lambda_R$.

După cum rezultă din cele două recomandări, este de preferat, din considerente economice ușor de dedus, că, ori de câte ori este posibil, se va face izolarea în câmp apropiat (la sursă).

După J. Lysmer, 1969 [63], izolarea se consideră în câmp apropiat atunci când distanța sursă - ecran este sub $2,5\lambda_R$.

Adâncimea ecranului în izolare pasivă depinde, așa cum s-a prezentat în capitolul 3, și de difracția undelor pe sub ecran. Dimensionarea în funcție de acest lucru se aplică atunci când nu poate fi respectată condiția $H \geq 1,4\lambda_R$. În acest caz adâncimea trebuie astfel aleasă încât, în ipoteza unei unde plane incidente pe ecran, în spatele ecranului să se creeze un con de umbră (zonă de protecție) care să acopere suprafața ce urmează să fie protejată (vezi cap.3).

Legat de adâncimea ecranului celular se mai poate face observația că ea influențează tipul tubului ales pentru realizarea ecranului, condiție impusă de presiunea din împingerea pământului asupra ecranului (vezi cap.5).

În ce privește *grosimea ecranului*, la ecranele din beton, aceasta va fi de cel puțin $0,1\lambda_R$, valoarea optimă fiind de $0,2\lambda_R$, conform recomandărilor făcute de W.Haupt, 1979 [52], lucru care, nu de puține ori, face ca aceste ecrane să fie destul de costisitoare.

La ecranele celulare, așa cum s-a arătat în capitolul 5, o grosime de 17 cm asigură, în cazul tuburilor de tip ușor, o izolare în care raportul amplitudinilor este de cel puțin 0,25.

Lungimea ecranului este o altă mărime care interesează în execuție. Această mărime se determină, conform celor precizate în capitolul 3, în funcție de dimensiunile suprafeței (construcției) ce trebuie protejată, precum și în funcție de poziția sursei de vibrații față de ecran. În fiecare caz, determinarea lungimii ecranului se face în funcție de fenomenul de difracție a undelor pe la capetele ecranului.

Problema se complică însă în cazul surselor mobile de vibrații, pe două sau mai multe direcții față de obiectul de protejat, când recomandăm ca ecranul să înconjoare complet sursa de vibrații, ca un batardou. O parte din cazurile posibile sunt, de altfel, prezentate teoretic în capitolul 3.

Protecția antivibratorie a construcțiilor sau a fundațiilor izolate, atât în izolarea activă, cât și în cea pasivă, se poate face și prin *separarea laterală* a fundațiilor de terenul înconjurător. Pentru realizarea acestui lucru, între fundațiile construcției sau fundația izolată și teren, lateral, se lasă un spațiu liber sau se montează în el un ecran celular. Rolul acestui spațiu este de a împiedica transmiterea vibrațiilor spre fundațiile clădirii protejate sau, după caz, să împiedice transmiterea vibrațiilor în exterior, în cazul izolării active (vezi cap. 6)

O altă metodă de protecție antivibratorie se obține prin *poziționarea construcției față de sursa de vibrații*. Metoda are un caracter limitat, pentru că se poate aplica numai la construcțiile noi și numai atunci când amplasamentul permite acest lucru. În acest caz, protecția este asigurată prin amortizare geometrică și de material, aspecte descrise pe larg în capitolele 3 și 6.

7.2. CONTRIBUȚII PRIN APLICAREA CERCETĂRILOR ÎNTREPRINSE

Studiile întreprinse în special de Woods în 1968 [111], [139], [140], [141], de Richard și Hall în 1970 [111], de Lysmer în 1969, [63] etc., unele prezentate în detaliu în capitolul 1, au avut mai mult un caracter aplicativ, autorii limitându-se la a prezenta datele experimentale, fără a le însoți de o susținere teoretică deosebită. În acest sens, cercetările amintite s-au axat, în general, pe ecranele deschise sau noroioase, cu pereți din palplanșe, având un pronunțat caracter aplicativ. Studiile făcute în Germania, de Prange în 1977 [102], [103], de Haupt în 1978 [51], [52], pe ecranele rigide sau moi, au avut mai mult un caracter teoretic, studiul făcându-se pe un model ipotetic prin folosirea unor tehnici moderne de calcul.

Concluziile la care au ajuns cei sus menționați, prin cercetările făcute, pe cele două categorii de ecrane, și prin multitudinea de informații furnizate, *le considerăm fundamentale, ele constituind o deschidere într-un domeniu nou pe care ne-am*

bazat în cercetările întreprinse. Dintre acestea am reținut și ne-am însușit, în special, studiile făcute de Woods și de Haupt, cu privire la ecranele deschise, respectiv ecranele rigide. Bazat pe aceste studii și mai ales pe modul de abordare a unei probleme de protecție prin ecranare antivibratorie a ansablului fundațiilor unei construcții, corelat cu aspectele teoretice ale fenomenelor ce au loc la propagarea vibrațiilor prin pământ (reflexie, refracție etc.), s-a încercat continuarea acestor cercetări, dând soluții și interpretări teoretice rezultatelor experimentale proprii sau ale altor autori.

Sintetizăm, în continuare, contribuțiile teoretice, prezentate pe larg în capitolele 2 și 3.

1. O primă contribuție constă în *aplicarea rezultatelor obținute din sintetizarea studiului propagării undelor prin pământ și în special a celor care provin din surse de suprafață, la proiectarea unei ecranări antivibratorii.* Sinteza făcută conduce la concluzia că *un proiect de ecranare se va face, în majoritatea cazurilor, prin protejarea față de undele Rayleigh și aceasta din mai multe motive și anume:*

- undele R transportă 67% din energia indusă de o sursă de suprafață în pământ, prin urmare, aceste unde sunt cele care vor produce cele mai mari perturbații în zona de protecție;

- aceste unde se amortizează cel mai încet (amortizarea este proporțională cu $r^{-0.5}$, r fiind depărtarea de sursă), prin urmare, aceste unde se vor resimți la distanța cea mai mare de sursă;

- undele R se propagă în zona superficială a scoarței, coborând în adâncime până la circa $1,4 \lambda_R$ (λ_R fiind lungimea de undă R), deci, orice ecran aflat în câmp îndepărtat, pentru a fi eficient, va trebui să aibe această adâncime.

2. O a doua contribuție o considerăm a fi **selectarea** din studiile și cercetările întreprinse a **unui set de date ce stau la baza elaborării recomandărilor pentru instrucțiunile de proiectare** a unei protecții antivibratorii prin ecranare, prezentate în capitolul 6. Setul de date a rezultat din analiza, în mod critic, a cercetărilor făcute de autorii sus menționați, precum și din propriile cercetări și din studiile întreprinse, mai ales în ce privește zona de protecție din spatele ecranului ("umbra" ecranului) și ecranul celular.

3. A treia contribuție o constituie **aplicarea** rezultatelor cercetărilor făcute de Hardin [49], Biot [12], Pilant [95], privind propagarea vibrațiilor prin medii bifazice sau trifazice, la realizarea de ecrane antivibratorii ce lucrează sub nivelul apei. Aceste rezultate se concretizează în aceea că *măsurătorile din teren pentru undele de forfecare din pământuri saturate vor fi acelea propagate prin structura scheletului mineral, mișcarea apei din pori făcându-se concomitent cu acesta, fără a se înregistra unde de forfecare distincte.* Această concluzie este deosebit de importantă, iar aplicarea ei la ecranele celulare ce lucrează sub nivelul apei constă în aceea că panourile ecranului vor fi așezate întotdeauna cu tuburile vertical, iar la măsurătorile de propagare a undelor de forfecare nu există unde ce eventual s-ar transmite separat prin apă. Prin urmare, considerând ecranul celular ca fiind un mediul bifazic, format din ecran și apă, acesta va transmite unde de forfecare doar

datorită tuburilor din polietilenă, ecranul comportându-se, sub acest aspect, ca un mediu omogen.

4. La elaborarea instrucțiunilor de proiectare autorul își aduce contribuția prin **modul de abordare a problemei protecției construcțiilor prin amplasare**. În acest sens, în cazul pământurilor formate din nisipuri, pietrișuri sau roci tari, la care factorul de calitate $Q > 5$, nu mai este necesară determinarea amortizării de material, care este neglijabilă, amortizarea geometrică luată în calcul fiind suficientă. Aceasta simplifică mult problema în cazul surselor mobile de vibrații ce afectează construcțiile amplasate în astfel de pământuri.

5. Legat de reflexia undelor pe ecran și transmisia undelor prin acesta, contribuția autorului constă în **aplicarea**, din domeniul fizicii generale, la ecrane, a coeficienților de reflexie și transmisie (formulele 3.25, 3.31, 3.42) precum și **interpretarea matematică a efectului de ecranare** prin prisma acestor coeficienți. Contribuția este aici cu atât mai originală cu cât nici unul dintre autorii unor studii similare nu a formulat astfel problema, ea putând fi comparată doar cu cea a acordării impedanțelor liniilor de transmisie din electrodinamică sau cu izolarea prin ecranarea față de zgomote, în acustică. Prin urmare, *aducerea acestor fenomene de propagare a undelor prin medii anizotrope, din optică, electrodinamică sau acustică, în domeniul geotehnicii și rezolvarea unor probleme concrete de ecranare prin interpretările matematice și fizice ale funcțiilor corespunzătoare (vezi cap. 3), o considerăm o contribuție a autorului la rezolvarea problemei ecranelor antivibratorii montate în pământ.*

6. **Stabilirea zonei de protecție a ecranului ("umbra")** pe baza difracției undelor pe la capetele ecranului și pe sub ecran constituie, de asemenea, o altă contribuție. Este adevărat că și Woods ajunge la astfel de concluzii, dar prin măsurători experimentale, fără a folosi vreun suport teoretic.

Relația de legătură între lungimea umbrei (r_0) și lungimea ecranului (L) este o abordare proprie (3.54), care permite **stabilirea lungimii ecranului în funcție de dimensiunea normală pe ecran a construcției**.

7. **Stabilirea zonei de protecție** în care poate fi amplasată construcția pe baza difracției undelor pe sub ecran și determinarea zonei de protecție pe baza deviației undelor prin difracție și corelarea acestei zone cu cea obținută la difracția undelor pe la capetele ecranului este o soluție proprie, exprimată teoretic prin relația (3.58) și (3.60).

8. Studiile întreprinse de autor **pentru surse mobile de vibrații** ce se deplasează paralel cu ecranul sau perpendicular pe ecran au permis **determinarea zonei de protecție sau a dimensiunilor geometrice ale ecranului** ce asigură protejarea unei anumite suprafețe . Ele sunt o contribuție proprie atât prin rezolvarea dată, cât și prin modul de abordare a problemei (vezi cap. 3).

Cercetarea întreprinsă a avut, după cum s-a arătat, și un caracter aplicativ, în primul rând prin experimentările făcute pe un ecran din beton armat și pe unul din beton plastic, dar mai ales prin propunerea făcută de folosire a ecranelor celulare în lucrări de protecție antivibratorie.

Primele două studii prezentate în capitolul 4, au avut ca scop **confirmare experimentală** a unei părți din studiile teoretice făcute în capitolele 2 și 3 și însușirea convingerii că ecranele rigide au caracteristici de ecranare care să le recomande pentru lucrările de protecție antivibratorie, la care consumul de beton să se justifice prin asigurarea unei izolări corespunzătoare. Măsurătorile făcute au întărit această convingere și prin urmare, după caz, aceste ecrane vor putea fi folosite la astfel de lucrări, recomandările în acest sens fiind cuprinse în capitolul 6.

Noutatea pe care o aducem în teză constă în conceperea unor ecrane, pe care le-am denumit **ecrane celulare**, datorită alcătuirii lor din tuburi de polietilenă ce se assemblează în ecran sub forma unor celule. O astfel de soluție este nouă și proprie, întrucât nici unul dintre cercetătorii cunoscuți nu a făcut studii și nici nu a realizat un astfel de ecran.

Măsurătorile făcute în această direcție pe ecranul prezentat ca model în capitolul 6 au arătat că acest ecran este mai eficient decât ecranul din beton și are în același timp avantajul unei realizări și a unei montări mai ușoare. Experimentările au confirmat că ecranul celular se apropie cel mai mult de ecranul deschis, având multe dintre avantajele acestuia și nu necesită lucrări suplimentate de menținere a verticalității săpăturii, nici la execuție și cu atât mai puțin în exploatare.

Considerăm că aceste ecrane au o comportare bună în timp, chiar dacă nu au fost făcute cercetări în acest sens. Susținem aceasta prin aceea că aceleași tuburi din polietilenă sunt folosite la lucrări de alimentare cu apă, de canalizări, de preizolare a unor conducte de încălzire, deci sunt fiabile în condiții mult mai grele de lucru decât în cazul ecranului celular.

Ecranele din beton plastic sunt mai ieftine decât ecranele celulare; de aceea asupra unui astfel de ecran s-au făcut o serie de măsurători prezentate în capitolul 4. Ele au confirmat afirmațiile făcute în urma studiilor pe model de către Haupt (1974) [45] și anume că aceste ecrane nu reduc caracteristicile cinematice ale mișcării cu mai mult de 50%, decât în cazul unui consum mare de ciment și, ca atare, folosirea lor trebuie privită din acest punct de vedere. Dacă această reducere este suficientă pentru a coborî caracteristicile cinematice (amplitudinile vitezei, accelerației sau deplasării) până la limite sub valoarea celor admise, atunci ecranele din beton plastic sunt cele recomandate a fi executate. Când această atenuare nu este suficientă pentru a proteja obiectivul, atunci trebuie să recurgem la ecrane ce pot asigura acest lucru. Din considerentele prezentate anterior (preț de cost, ușurință în execuție), preferate sunt, în acest caz, ecranele celulare.

Acumularea de date teoretice prin studiile întreprinse a putut fi valorificată prin **măsurătorile făcute la S.C.Optica S.A. Timișoara** pe un ecran din beton plastic ce înconjură ca un batardou o mașină sensibilă la vibrații. Măsurătorile efectuate au condus la concluzia că un astfel de ecran reduce amplitudinea vibrațiilor la jumătate, după cum ne-au indicat și cercetările teoretice anterioare. Concluziile acestei acțiuni au fost furnizate beneficiarului și comunicate Universității Tehnice de Construcții București care a proiectat ecranul.

Studiile teoretice privitoare la reducerea vibrațiilor prin protecția cu ecrane din beton, au putut fi verificate practic și valorificate totodată prin **măsurătorile**

făcute la Stația de îmbuteliat Coca-Cola din Timișoara. Măsurătorile s-au făcut cu ocazia unui contract pe care Facultatea de Construcții din Timișoara, reprezentată prin colectivul de geotehnică, l-a avut cu societatea respectivă, contract axat pe probleme de asigurare a calității umpluturilor din interiorul halelor de producție, umpluturi în care s-a aflat, după cum s-a arătat în capitolul 4, poligonul experimental, conținând ecranul din beton armat. Acest contract a înlesnit verificarea, prin măsurători experimentale, a studiilor teoretice întreprinse de autor privind protecția antivibratorie cu ecrane din beton.

Începând cu anul 1996, cercetările se desfășoară pe baza unui contract cu Ministerul Educației Naționale. Acest contract se va încheia în anul 1998, prin elaborarea unor **instrucțiuni de proiectare a ecranelor antivibratorii**, a căror primă fază este prezentată sub formă de recomandări în capitolul 6.

O parte din studiile întreprinse sunt prezentate în **12 lucrări științifice**, publicate la diferite manifestări științifice, printre care Conferințele Naționale de Geotehnică și Fundații de la Timișoara, din anul 1992 și de la Iași din 1996, A VIII-a Conferință Națională de Vibrații Mecanice, Timișoara, 1996, Zilele Academice Timișene, Timișoara, 1995 și 1997. La A XI-a Conferință Internațională a Țărilor Dunărene, de la Zagreb, Croația, 1998, va fi prezentată, de asemenea, o lucrare privind izolarea antivibratorie a fundațiilor cu ecrane celulare.

Considerăm că rezultatele experimentale obținute în laborator și pe teren, privind protecția antivibratorie prin folosirea ecranelor celulare, soluție nouă, propusă de autor, constituie o bază suficientă pentru elaborarea documentației unui brevet de invenție.

7.3 PROPUNERI PENTRU CONTINUAREA CERCETĂRII

Protecția antivibratorie prin ecranare este un domeniu nou în mecanica pământurilor, distinct de izolarea fundațiilor de mașini și de cea seismică. De aceea sunt necesare acumulări de date care să confirme eficiența metodelor de ecranare existente și care să găsească noi soluții. Considerăm că cercetarea trebuie continuată deoarece, prin creșterea perturbațiilor produse de diverse surse, se pune problema protecției mediului față de efectul nociv al acestora.

Rezultatele pozitive la care s-a ajuns prin cercetarea ecranului celular, îndreptătesc propunerea de continuare a cercetării, care ar mai putea să soluționeze următoarele aspecte :

- influența materialului ecranului celular (a tuburilor de diferite tipuri: U, M, G) asupra ecranării;
- influența diferitelor soluții constructive de ecrane celulare, propuse în capitolul 5, asupra izolării;
- influența fluajului tuburilor asupra efectului de ecranare, eventual corelarea fenomenului curgerii lente a acestora cu adâncimea ecranului și cu temperatura;
- stabilirea legăturii între adâncimea ecranului celular și efectul de ecranare în teste de izolare activă și corelarea rezultatelor cu cele obținute pentru ecranele deschise;

- comportarea ecranului celular la lucrări de separare laterală a fundației de teren, în teste de izolare activă și pasivă;

- aprofundarea studiilor teoretice de transmitere a undelor prin ecran, în cazul ecranelor neomogene, cum este și ecranul celular și corelarea acestor studii cu eventualele rezultate experimentale.

Deoarece studiul ecranării include o serie de discipline conexe ca fizica, geofizica, geotehnica, chimia ș.a., considerăm că numai lucrul în echipă mixtă ce ar include aceste specializări, ar putea aduce un plus de siguranță în realizarea unei ecranări suficiente.

BIBLIOGRAFIE

1. Aizenberg, I.M., *Construcții cu structură autoadaptabilă la sollicitări seismice*, Ed. Tehnică, București, 1982.
2. Andrei, S., Antonescu, I., *Geotehnică și fundații*, Vol. I, II, Lit. I.C. București, 1980.
3. Amza, G., Barb, D., Constantinescu, F., *Sisteme ultraacustice*, Ed. Tehnică, București 1988.
4. Anderson, D.G., Stokoe, K.H., *Shear Modulus: A Time - Dependent Soil Property*, ASTM, STP 654, Colorado, 1977.
5. Bally, R.J., Klein, R., *Injectarea pământurilor*, Ed. Tehnică, București, 1985.
6. Barkan, D.D., Ilychev, V.A., *Soil Dynamics and Its Application to Foundation Engineering*, Proceedings of Ninth International Conf. on Soil Mech. and Foundation Eng., Tokio, 1977.
7. Barkan, D.D., *Vibrometod v stroitelstve*, Mir, Moskva, 1959.
8. Barkan, D.D., *Dynamics of Bases and Foundation*, Mc Graw - Hill Book Co., New York, 1962.
9. Bădărău, E., Grumăzescu, M., *Bazele acusticii moderne*, Ed. Acad. R.S.R., București, 1964.
10. Bârsan, G.M., *Dinamica și stabilitatea construcțiilor*, Ed. D.P. București, 1979.
11. Beleş, A., Mihăilescu Clemansa, Mihăilescu, Șt., *Calculul construcțiilor amplasate pe terenuri deformabile*, Ed. Academiei RSR, 1977.
12. Biot, M.A., *Journal Acustical Society of America*, Vol. 28, March, 1956.
13. Butuman, V., *Contribuții la studiul fundațiilor de mașini ținând seama de conlucrarea între teren, fundație și mașină*, Teză de doctorat, Timișoara, 1987.
14. Buzdugan, Ghe., Hamburger, L., Wermescher, V., *Fundații de mașini*, Ed. Tehnică, București, 1958.
15. Buzdugan, Ghe., *Izolarea antivibratorie a mașinilor* Ed. Acad. RSR, București, 1980.
16. Buzdugan, Gh., Fetcu, L., Radeș, M., *Vibrații mecanice* Ed. D.P., București, 1982.
17. Buzdugan, Gh., Mihăilescu Elena, Radeș, M., *Măsurarea vibrațiilor*, Ed. Academiei, R.S.R., 1979.
18. Bratu, P.P., *Izolarea și amortizarea vibrațiilor la utilajele de construcții*, Ed. Tehnică, București, 1982.
19. Brandt, H., *A Study of the Speed of Sound in Poros Granular media*, J. Appl. Trans. ASME, Vol. 22, Nr.4, Dec., 1965.
20. Caqot, A. Kerisel, J., *Tratat de mecanica pământurilor*, Ed. Tehnică, București, 1968.

21. Cioclov, D., *Rezistență și fiabilitate la solicitări variabile*, Ed. Facla, Timișoara, 1975.
22. Constantinescu, P., ș.a., *Geofizică inginerească*, Ed. Tehnică Buc. 1979.
23. Cornea, I., Mărmureanu, Ghe., Oncescu, M., Bălan, F., *Introducere în mecanica fenomenelor seismice și ingerie seismică*, Ed. Academiei RSR, 1987.
24. Crawford, F.S.jr., *Unde, Cursul de fizică*, Berkeley., Ed. D.P., București, 1983.
25. Darabont, A., Văiteanu, D., *Combaterea poluării sonore și a vibrațiilor*, Ed. Tehnică, București, 1975.
26. Darabont, A., Iorga, I., Ciodaru, M., *Măsurarea zgomotului și vibrațiilor în tehnică*, Ed. Tehnică, București, 1983.
27. Darabont, A.I., Iorga, I., Văiteanu, D., Simanschievici, H., *Șocuri și vibrații, aplicații în tehnică*, Ed. Tehnică, București, 1988.
28. Dimoiu, I., *Inginerie seismică*, Lit. I.P. Timișoara, 1988.
29. Dorobanțu, S., Jercan, S., Păucă Carmen, Romanescu, C., Răcănel, I., Șovărel Elena., *Drumuri, calcul și proiectare*, Ed. Tehnică, București, 1980.
30. Drnevich, V.P., Hardin, B.O., *Modulus and Damping of Soils by the Resonant - Column Method*, ASTM, STP 654 Colorado, 1977.
31. Florea Julieta, Panaitescu V. *Mecanica Fluidelor*, E.D.P. București, 1979.
32. Filimon, I., Soare, M.V., *Ecuatii diferențiale cu aplicații în mecanica construcțiilor*, Ed. Tehnică, București, 1983.
33. Focșa, V., *Higrotermica și acustica clădirilor*, Ed. D.P. București, 1979.
34. Gafîțeanu, M., Focșa, V., Merticaru, V., Biborosch, L., *Vibrații și Zgomote*, Ed. Junimea, Iași, 1980.
35. Ghereb, T., Posea, N., Murgulescu, S., Manea, C., *Efectul umpluturilor laterale la fundații masive de mașini*, Revista construcțiilor și materialelor de construcții, Nr. 12, București, 1966
36. Girardi, L., *Propagation des vibrations dans les sols homogènes ou stratifiés*, Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics, Nr. 397, 1981, Sols et foundations, Nr. 177.
37. Gruia Agneta, *Geotehnică și fundații*, Lit. I.P. Timișoara, 1990.
38. Grumăzescu, M., Stan, A., Vegener, N., Marinescu, V., *Combaterea zgomotului și vibrațiilor*, Ed. Tehnică, București, 1964.
39. Guidi, C.C., *Geotecnica e tecnica delle fondazioni*, vol. II, Milano, 1981.
40. Haida, V., Pantea, P., *Izolarea antivibratorie a unei fundații de mașină folosind un ecran din beton plastic*, A VIII-a Conf. Națională de Vibrații Mecanice, Timișoara, 1996.
41. Haida, V., Pantea, P., Voicu Cristina, *Cercetări experimentale privind compactarea terasamentelor în spații înguste folosind utilaje autohtone*, A VIII-a Conferință Națională de Geotehnică și Fundații, Iași, 1996.

42. Haida, V., Vasiloni, N., Pantea, P., Checeanu, M., *Prelucrarea automată a datelor la încercarea de forfecare directă a pământurilor*, A VI-a Conf. Națională de Geotehnică și Fundații, Galați, 1987.
43. Haida, V., Pantea, P., *Studiul posibilităților de automatizare a înregistrării și prelucrării datelor la încercarea de forfecare directă*, Sesiune jubiliară "40 de ani de învățământ superior de construcții la Iași", Iași, 1981.
44. Haida, V., *Contribuții la studiul comportării pământurilor solificate dinamic și folosirii tehnicii vibrării în geotehnică*, Teză de doctorat, Timișoara, 1979.
45. Haida, V., *Geologie, geotehnică și fundații*, vol. I, II, Lit. I.P. Timișoara, 1981, 1982.
46. Haida, V., Pantea, P., *Geologie, geotehnică și fundații*, vol. III, *Fundații și procedee de fundare*, Lit. I.P. Timișoara, 1984.
47. Haida, V., Marin, M., *Geotehnică*, Lit. U.T. Timișoara, 1995.
48. Hangan Sanda, Crainic, L., *Concepte și metode energetice în dinamica construcțiilor*, Ed. Academiei R.S.R. 1980.
49. Hardin, B.O., Richard, F.E.Jr., *Elastic Wave Velocities in Granular Soils*, Soil Mech. and Found. Div. Proc. ASCE, Vol.89, Nr. SM 1, Feb., 1963.
50. Harris, C.M., Crede, E.C., *Șocuri și vibrații*, Vol. I, II, III, (traducere din I. engleză), Ed. Tehnică, București, 1979.
51. Haupt, A.W., *Numerical methods for the computation of steady - state harmonic wave fields*, In *Dynamic response and wave propagation in soils*, Vol. I, Karlsruhe, 1978.
52. Haupt, A.W., *Surface - waves in non - homogeneous half - space*, In *Dynamic response and wave propagation in soils*, vol. I, Karlsruhe, 1978.
53. Hoar, R.J., Stocoe, K.H., *Generation and Measurement of Shear Wave In Situ*, ASTM, STP 654, Colorado, 1977.
54. Hristev, A., *Mecanică și acustică*, Ed. D.P. București, 1984.
55. Ifrim, M., *Dinamica structurilor și inginerie seismică*, E.D.P., București, 1984.
56. Ionescu, G., *Măsurări și traductoare*, vol. I, Ed. D.P. București, 1985.
57. Ivan, M., Vulpe, A., Bănuț, V., *Statica stabilitatea și dinamica construcțiilor*, Ed. D.P., București, 1982.
58. Kalik, K., *Ecuatii cu derivate parțiale*, Ed. D.P. București, 1980.
59. Krasnikov, N.D., *Dinamicescoe svoistva gruntov i metodâ ih apredelenia*, Leningrad, 1970.
60. Korn, G.A., *Simularea și măsurarea proceselor aleatoare*, Ed. Tehnică, București, 1962.
61. Landau, L.D., Lifșitș, E.M., *Mecanica*, Ed. Tehnică, București, 1966.
62. Liahov, G.H., *Volnâ v gruntah i poristâh mnogocomponentnâh sredah*, Moskva, Nauka, 1982.

63. Lysmer, J., Kuhlemeyer, R.L., *Finit Dynamic Model for infinite Media*, Proc. ASCE Nr. E.M.4, 1969
64. Lorentz, H., *Grundbau - Dynamic*, Berlin, Gottingen, Heidelberg, Springer - Verlag, 1960.
65. Marinov, R., *Model analitic privind propagarea undelor superficiale în terenuri saturate*, A V-a Conf. Națională de Geotehnică și Fundații, Cluj - Napoca, 1983.
66. McLamore, V.R., Anderson, D.G., Espana, C., *Crosshole Testing Using Explosive and Mechanical energy Sources*, ASTM, STP 654 Colorado, 1977.
67. Medvedev, S.V., *Seismica gornâh gruntov*, Nedra, Moscva, 1964.
68. Moraru, S., *Seismele și acțiunea lor asupra construcțiilor*, Ed. Tehnică, București, 1984.
69. Major, A., *Berechnung und Planung von Maschinen und Turbinen - Fundamente*, Verlag der Ungarische Akademie der Wissenschaften, Budapest und VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1961.
70. Manoliu, I. *Fundații și procedee de fundare*, Ed. D.P. București, 1983.
71. Nasu, M., Raya, H., *Dynamic properties of soils in grounds along Japan Railways Lines*, Qaterli Raport of Railways Tehnical Research Institute, 1988, vol. 29, nr. 3.
72. Negoită, A., Pop, I., Ionescu, C., Olariu, I., Vulpe, A., Breabăn, V., Hobjilă, V., Scharf, F., Negoită, I., *Inginerie seismică*, E.D.P., București, 1985.
73. Nicoară, L., *Construcția drumurilor, vol. I, Lit. I.P. Timișoara, 1973.*
74. Olariu, V., Prepeliță, V., *Matematici speciale*, Ed. D.P. București, 1985.
75. Pantea, P., *Ecranarea, soluție de protecție antivibratorie a construcțiilor și a fundațiilor de mașini*, A VII-a Conferință Națională de Geotehnică și Fundații, Timișoara, 1992.
76. Pantea, P., *Determinarea compresibilității pământurilor prin încercări edometrice ciclice*, A VIII-a Conferință Națională de Geotehnică și Fundații, Timișoara, 1992.
77. Pantea, P., *Izolarea antivibratorie în câmp îndepărtat a unei fundații de mașină împotriva vibrațiilor produse de trafic*, Simpozion "Zilele Academice Timișene" Ed. a IV-a, Timișoara, 1995.
78. Pantea, P., *Considerații teoretice privind undelor în pământ cu ecrane rigide*, Zilele Academice Timișene, Timișoara, mai, 1997.
79. Pantea, P., *Considerații teoretice privind atenuarea undelor în pământ prin ecranare*, A VIII-a Conf. Națională de Geotehnică și Fundații, Iași, 1966.
80. Pantea, P., Haida, V., *Automatische Datenregistrirung bei Statische Penetrationferzerchen mit egel*, Bul. I.P. Timișoara, Tom 32 (46), Fasc. 1-2, 1988.
81. Pantea, P., Bogdan, I., *Cercetări privind viteza și amortizarea undelor elastice în pământuri nisipoase*, Zilele Academice Timișene, Timișoara, 1997.

82. Pantea, P., *Atenuarea undelor de suprafață cu ecrane celulare*, A VIII-a Conf. Națională de Geotehnică și Fundații, Iași, 1966.
83. Pantea, P. Haida, V., Bogdan, I., *Izolarea antivibratorie a unei fundații de mașină folosind un ecran tip batardou*, Zilele Academice Timișene, Timișoara, 1997.
84. Păunescu, M., Marin, M., *Soluții moderne pentru fundații directe*, Ed. Facla, Timișoara, 1984.
85. Păunescu, M., *Tehnica vibrării în realizarea fundațiilor*, Ed. Facla, Timișoara, 1979.
86. Păunescu, M., *Contribuții la studiul procesului de înfigere și smulgere prin vibrație a piloților, tuburilor și palplanșelor*, Teză de doctorat, București, 1962.
87. Păunescu, M., Schein, T., Butuman, V., Vasiloni, N., *On foundation of buildings on piles made by vibrations*, Proc. of the European Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. Viena, 1976.
88. Păunescu, M., Haida, V., *Forages geotechnique et puit Hydrogeologiques execute au Moyen des mecanismes vibrateurs*, IX Convegno di Geotechnics, Genova, 1968.
89. Păunescu, M., *Înbunătățirea terenurilor slabe în vederea fundării directe*, Ed. Tehnică, București, 1980.
90. Păunescu, M., *Fundații în condiții speciale*, Lit. I.P. Timișoara, 1980.
91. Păunescu, M., Pop, V., Sillion, T., *Geotehnică și fundații*, Ed. D.P. București, 1982.
92. Păunescu, M., Haida, V., Butuman, V., *Forschungen uber Erdeigenschaften unter Dynamischen Beanspruchungen*, 5 - th Danube European Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Bratislava, 1977.
93. Petrașenia, G.J., ș.a., *Volinâ v sloistoadnodnâh iztropnâh uprugih sredah*, Nauca, Leningrad, 1985.
94. Perlea, V., Perlea, Maria., *Stabilitatea dinamică a terenurilor nisipoase*, Ed. Tehnică, București, 1984.
95. Pillant, W.L., *Elastic Waves in the Earth*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1980.
96. Pop, V., Popa, A., *Geotehnică și fundații*, Lit. I.P. Cluj-Napoca, 1982.
97. Popa, A., *Geotehnică și fundații*, Vol. I, I.P. Cluj - Napoca, 1981.
98. Popa, Ghe., *Inginerie seismică*, Lit. I.P. Timișoara, 1987.
99. Popescu, I.M., *Fizică*, Vol. I, Ed. D.P., București, 1982.
100. Posea, N., *Calculul dinamic al structurilor*, Ed. Tehnică, București, 1991.
101. Prakash, S., *Soil Dynamics*, Mc Graham - Hill Book Company, New York, 1981
102. Prange, B., *On the Dynamic Interaction Between an Inert Mass and Subsoil Wavefields*, Heft 78. Karlsruhe, 1978.
103. Prange, B., *Dynamic response and wave propagation in soils*, In *Dynamical methods in soil and rock mechanics*, Proceedings, Karlsruhe, 1977.
104. Prange, B., *Primary and secondary interferences in wavefields*, In *Dynamical methods in soil and rock mechanics*, Proceedings, Karlsruhe, 1977.

105. Prange, B., *Parameters affecting damping properties*, In Dynamical methods in soil and rock mechanics, Karlsruhe, 1977.
106. Prișcu, R., *Construcții hidrotehnice*, vol. I, II, E.D.P. București, 1974.
107. Prișcu, R., Popovici, A., Stematu, D., Ilie, L., Stere, C., *Ingineria seismică a construcțiilor hidrotehnice*, E.D.P. București, 1980.
108. Pupăzan, C., *Acustica în construcții*, Ed. Academiei R.S.R., București, 1970.
109. Rașidov, G., ș. a., *Kolebania soorujenii zvoimodeistvuiuşchih s gruntov*, Taškent, 1975.
110. Răileanu, P., Boți, N., Stanciu, A., *Geologie, geotehnică, fundații*, Lit. I.P. Iași, 1986
111. Richard, F.E., Hall, J.R., Woods, R.D., *Vibrations of soils and foundations*, Prentice - Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1970.
112. Richart, F.E., *Field and laboratory measurements of dynamic soil properties*, In Dynamics methods in soil and rock mechanics, Karlsruhe, 1977.
113. Richter, C.F., *Elementari Seismology*, California Institute of Tehnology, San Francisco, 1958.
114. Richer, T., *Teoretische und experimentelle untersuchungen zum verflüssigungsverhalten roliger Boden unter ziclischer belastung*, Berlin, 1978 (tezăde doctorat).
115. Roesler, S.K., *Korrelationsmesstechnik in der Baugrunddynamik*, In Dynamics method in soil and rock mechanics, Karlsruhe, 1977.
116. Sandi, H., *Elemente de dinamica structurilor*, Ed. Tehnică, București, 1983.
117. Savidis, S.A., *Analytical methods for the computation of wavefields*, In Dynamics methods in soil and rock mechanics, Karlsruhe, 1977.
118. Savinov, O.A., *Fundamentâ pod mașină*, Leningrad, 1955.
119. Savinov, O.A., *Sovremennâe construcții fundamentov pod mașină i ih rascet*, Leningrad, 1979.
120. Scheffel, M., Știucă, P., *Dispozitive cu ultrasunete*, Ed. Tehnică, București, 1989.
121. Sedov, L., *Mecanique des milieux continus*, (Tr. I. rusă), MIR, Moskou, 1975.
122. Silaș, Gh., *Mecanică, vibrații mecanice*, Ed. Tehnică, bucurești, 1968.
123. Silaș, Gh., Brândeș, L., *Sisteme vibropercutante*, Ed. Tehnică, București, 1986.
124. Sillion, T., *Geologie, geotehnică și fundații*, Vol. I, II, III, Rotaprint, I.P. Iași, 1971-1973.
125. Sobolev, S.L., *Ecuatiile fizicii matematice*, Ed. Tehnică, București, 1955.
126. Schein, T., *Contribuții la studiul și realizarea fundațiilor indirecte executate cu utilaje vibratoare*, Teză de doctorat, Timișoara, 1980.
127. Socolovschi, V. V., *Teoria plasticității*, Ed. Tehnică, București, 1953.
128. Ștefănică, Maria, *Contribuții asupra metodelor de industrializare a fundațiilor stâlpilor de energie electrică*, Teză de doctorat, Timișoara, 1980.
129. Thau, S.A., Pao, Y., *Diffractions of Horizontal Shear Waves by a Parabolic Cylinder and Dynamic Stress Concentrations*, J. Appl. Mech. Trans. ASME, 1966.

130. Tihonov, A.N., Samarski, A.A., *Ecuatiile fizicii matematice*, (tr. l. rusă) Ed. Tehnică, București, 1956.
131. Tiron, M., *Prelucrarea statistică și informațională a datelor de măsurare*, Ed. tehnică, București, 1976.
132. Tologea, S., *Accidente și avarii în construcții*, Ed. Tehnică, București, 1985.
133. Tomlinson, M.J., *Proiectarea și executarea fundațiilor*, Ed. Tehnică, București, 1974.
134. Vaicum, A., *Condiții de amplasament în ingineria seismică*, Ed. Academiei, R.S.R., 1985.
135. Vaicum, A., *Studiul reologic al corpurilor solide*, Ed. Academiei R.S.R., 1978.
136. Wilson, S.D., ș.a., *In Situ Determination of Dynamic Soil Properties*, ASTM, STP 654, Denver, Colorado, 1977.
137. Vâlcovici, V., Bălan, Șt., Voinea, R., *Mecanică teoretică*, Ed. Tehnică, 1968.
138. Wolf, P.J. *Foundation vibration analysis using simple physical models*, Prentice-Hall, New York, 1994.
139. Woods, R.D., *Screening of Surface Waves in Soils*, Proc, ASCE, nr. S.M.4, July, 1968.
140. Woods, R.D., *Parameters affecting elastic properties*, In Dynamics methods in soil and rock mechanics, Karlsruhe, 1977.
141. Woods, R.D., *Lumped parameter models*, In Dynamics method in soil and rock mechanics, Karlsruhe, 1977.
142. * * * *Acustica psiho-fiziologică. Terminologie*, STAS 1957/2-74.
143. * * * *Acustica urbană. Limite admisibile a nivelului de zgomot urban*, STAS 10009-82.
144. * * * *Instrucțiuni tehnice pentru proiectarea și executarea izolațiilor fonice la clădiri civile și industriale*, C125/78, INCERC București.
145. * * * *Acustica psiho-fiziologică. Evaluarea încadrării în limita admisă a nivelului de zgomot industrial pentru diferite activități cu diferite grade de solicitare a atenției*, STAS 11336/2 -80.
146. * * * *Calculul terenului de fundare în cazul fundării directe*, STAS 3300/2-1985.
147. * * * *Acustica urbană. Metodă de determinare a nivelului de zgomot în localitățile urbane*, STAS 6161/3-82.
148. * * * *Contract 5005/1996 (7007/1997), Cod CNCSU 1260, Tema nr 7, Cercetări privind noi soluții de protecție și izolare a construcțiilor împotriva vibrațiilor transmise prin terenul de fundare. Departamentul de Inginerie Geotehnică și Căi de Comunicații Terestre din Universitatea "Politehnica" din Timișoara.*