

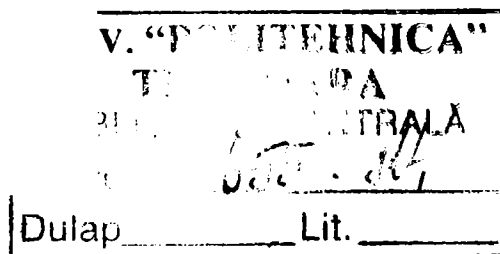
CONTRIBUȚII LA STUDIUL ACȚIUNII SOLICITĂRILOR DINAMICE ASUPRA FUNDAȚIILOR ȘI A TERENULUI DE FUNDARE

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea "Politehnica" din Timișoara
în domeniul CONSTRUCȚII CIVILE
de către

Ing. Ion Alexandrescu

Conducător științific: prof.univ.dr.ing. Virgil Haida
Prof.univ.dr.ing. Marin Păunescu
Referenți științifici: prof.univ.dr.ing. Marin Marin
prof.univ.dr.ing. Laurențiu Sârbu
conf.univ.dr.ing. Maria Ștefănică

Ziua susținerii tezei: 30.11.2007



Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|------------------------|---|
| 1. Automatică | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie | 8. Inginerie Industrială |
| 3. Energetică | 9. Inginerie Mecanică |
| 4. Ingineria Chimică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 5. Inginerie Civilă | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 6. Inginerie Electrică | |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2007

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221
e-mail: editura@edipol.upt.ro

Cuvânt înainte

Autorul exprima sincere mulțumiri, Profesorului univ.dr.ing.Virgil HAIDA care a avut amabilitatea de a ma îndruma în ultima perioadă de doctorantură, pentru oportunitățile pe care mi le-a oferit în această perioadă și prin faptul că a parcurs întreaga lucrare redactată cu îndrumările de rigoare pentru finalizarea ei.

Gânduri de recunoștință și Profesorului univ. dr. ing. Marin PAUNESCU, conducătorul inițial de doctorat, personalitate marcantă pe plan național și internațional, promotorul introducerii tehnicii vibrației și la lucrările de fundații, care a stat la baza elaborării numeroaselor teze de doctorat sub îndrumarea domniei sale. Îi mulțumesc pentru îndrumarea constantă cu care mi-a dirijat perioada de doctorat până la decesul său.

Mulțumesc domnilor profesori din Departamentul de Inginerie Geotehnică, Prof. dr. ing. Agneta Gruia, Prof. dr. ing. Marin Marin și Conf. dr. Ing. Ioan Boldurean, care mi-au acordat toată încrederea, încurajându-mă permanent să-mi realizez visul de a deveni un profesionist într-un domeniu complex care stă la baza rezistenței, stabilității și durabilității construcțiilor. Un gând de prietenie și multe mulțumiri întregului personal didactic din catedra care mi-au dat tot sprijinul când am susținut referatele de doctorat.

Mulțumesc Domnilor profesori referenți ai tezei de doctorat care au avut răbdarea de a-mi aprecia teza de doctorat.

Apreciez totodată căldura sufletească, îndrumarea, colaborarea și sfaturile nepretuite din partea Doamnei Dr. ing. Maria Stefanica, care a contribuit la recunoașterea performanțelor mele.

Și nu în ultimul rând, vreau să mulțumesc în mod special părinților mei, deși tata nu mai poate să se bucure de reușita mea, am certitudinea că este alături de mine, părinți care m-au susținut, încurajat și ajutat în toată această perioadă și cărora le datorez în mare măsură ceea ce sunt astăzi. Le mulțumesc pentru efortul făcut în timpul studenției mele, dar și în perioada care a urmat, ajutorul lor permițându-mi să merg înainte moral și profesional.

Mulțumesc întregii familii, rudelor, prietenilor și apropiaților mei care mi-au dat forță, energia și căldura, au înțeles, și m-au sprijinit în efortul meu prelungit.

Timișoara, noiembrie 2007

ALEXANDRESCU Ion

ALEXANDRESCU, Ion

Contribuții la studiul acțiunii solicitărilor dinamice asupra fundațiilor și a terenului de fundare

Teze de doctorat ale UPT, Seria 5, Nr. 17 , Editura Politehnica, 2007, 124 pagini, 73 figuri, 21 tabele.

ISSN: 1842-581X

ISBN: 978-973-625-537-3

Cuvinte cheie:

tehnica vibrării, pamanturi, fundatii, teren de fundare, solicitari dinamice

Rezumat:

Lucrarea analizează, din punct de vedere teoretic, analiza comportării terenului la acțiunea unui regim de vibrații, aplicarea tehnicii vibrării la executarea unor lucrări de geotehnică și fundații și sisteme de mașini adecvate acestora, utilizarea coeficienților elastici-dinamici care stau la baza metodei de calcul și proiectarea fundațiilor producătoare de vibrații [66, 72, 74, 75, 76]. Se finalizează cu cercetări experimentale care au avut drept scop determinarea efectelor unui strat izolator realizat din material granular dispus între fundația de beton a utilajului și terenul de fundare, asupra răspunsului dinamic al sistemului mașina-fundație-teren de fundare, transmisibilității și atenuării geometrie a vibrațiilor armonice întretinute cu impact asupra recomandărilor pentru proiectarea elementelor structurale.

CUPRINS

1. INTRODUCERE	7
2. CONSIDERATII PRIVIND APLICAREA TEHNICII VIBRARII LA EXECUTAREA UNOR LUCRARI DE GEOTEHNICA SI FUNDATII	11
2.1. Mecanizarea lucrarilor de constructii bazate pe tehnica vibrarii	11
2.2. Introducerea tehnicii vibrarii si la lucrarile de fundatii	12
2.3. Solicitari dinamice	14
2.3.1. Notiuni privind actiunea solicitarilor dinamice	15
2.3.2. Natura solicitarilor dinamice	17
2.4. Elemente generale privind utilizarea tehnicii vibrarii la lucrarile de fundatii.....	18
2.4.1. Vibratii unidimensionale	19
2.4.2. Forte generate in procesul de vibrare	20
2.5. Sisteme de masini utilaje si echipamente pentru executarea lucrarilor de fundatii.....	22
2.5.1. Aspecte generale	22
2.5.2. Utilaje vibratoare pe plan mondial	23
2.5.3. Utilaje vibratoare in Romania.....	24
2.5.3.1. Agregatul de vibropresare VVPS 20/11	25
2.5.3.2. Agregatul de vibropresare AVP 1	27
3. COMPORTAREA PAMANTURILOR LA ACTIUNEA VIBRATIILOR	29
3.1. Consideratii generale	29
3.2. Influenta actiunilor dinamice asupra unor caracteristici geotehnice ale pamanturilor	29
3.2.1. Influenta vibratiilor asupra rezistentei la forfecare a pamanturilor necoezive.	29
3.2.2. Modul de variatie a rezistentei la forfecare dinamica in functie de parametrii vibratiilor	31
3.2.2.1. Cercetari experimentale	32
3.2.2.2. Rezultatele incercarilor experimentale	32
3.2.3. Influenta vibratiilor asupra rezistentei la forfecare a pamanturilor coezive	39
3.2.4. Compresibilitatea pamanturilor solificate la vibratii	43
3.2.5. Concluzii asupra studiului proprietatilor de rezistenta si stabilitate a pamanturilor supuse la actiuni dinamice	44
4. STUDII PRIVIND MODELAREA MATEMATICA A SISTEMULUI UTILAJ - FUNDATIE - TEREN DE FUNDARE	45
4.1. Aspecte de baza ale proiectarii fundatiilor de utilaje si masini.....	45
4.1.1. Diminuarea la sursa	46
4.1.2. Diminuarea raspunsului dinamic.....	47
4.1.3. Izolarea contra vibratiilor	47
4.2. Factorii care influenteaza raspunsul dinamic al sistemului utilaj-fundatie- suport de rezemare.....	47
4.3. Solutii constructive pentru atenuarea vibratiilor	48
4.3.1. Aspecte privind modelele de calcul	48

4.3.2. Stratouri izolatoare intre fundatie si teren	49
4.3.3. Calculul transmisibilitatii in proiectarea fundatiilor de masini.....	51
4.4. Raspunsul dinamic al unei fundatii de utilaj sau masina incastrata in teren si supusa la vibratii verticale.....	57
4.4.1. Efectul incastrarii fundatiei in teren.....	57
4.4.2. Parametrii dinamici-factori definitorii in raspunsul dinamic	61
4.5. Analize parametrice	63
Concluzii	70
5. MODELE DE CALCUL PENTRU DETERMINAREA COEFICIENTILOR ELASTICI AI TERENURILOR SI ALR CONSTANTELOR ELASTICE A FUNDATIILOR.....	71
5.1. Consideratii generale asupra caracteristicilor utilizate in studiul dinamic al fundatiilor generatoare de vibratii.....	71
5.1.1. Coeficientii elastici ai terenului de fundare: C_z , C_x , C_φ , C_ψ	71
5.1.2. Relatia dintre tasari si presiuni	71
5.1.3. Consideratii asupra valorilor coeficientilor elastici rezultati din calculul analitic si cercetari experimentale	75
5.2. Coeficienti elastici pentru fundatii amplasate la suprafata terenului.....	79
5.3. Relatia dintre moment si rotire la fundatii incastrate in teren	84
5.4. Metoda de determinare a coeficientilor elastici ai terenului pentru suprafata de contact oarecare	86
5.4.1. Principii de baza.....	86
5.5. Programe de calcul automat pentru analize numerice parametrice.....	88
5.6. Constantele elastice ale mediilor de rezemare	90
5.7. Coeficientul dinamic	92
Concluzii	95
6. CERCETARI EXPERIMENTALE PRIVIND EFECTUL STRATURILOR IZOLATOARE DIN MATERIALE MONOGRANULARE ASUPRA RASPUNSULUI DINAMIC SI A TRANSMISIBILITATII VIBRATIILOR	97
6.1. Obiectivele cercetarii.	97
6.1.1. Programul experimental.....	97
6.2. Modele experimentale.....	98
6.3. Tehnica de incercare.....	101
6.3.1. Puncte de inregistrare a raspunsului dinamic.....	101
6.3.2. Caracteristicile fortelor de actionare dinamica ale modelelor experimentale	101
6.3.3. Metodologia de incercare. Inregistrarea raspunsului dinamic.....	101
6.4. Prelucrarea rezultatelor experimentale	104
6.4.1. Frecventele proprii de oscilatie	104
6.4.2. Caracteristicile mediului de fundare	104
6.4.3. Atenuarea vibratiilor cu distanta de la sursa	105
6.4.4. Efectul stratului izolator asupra amplitudinilor vibratiilor fundatiilor.....	107
6.5. Concluzii si recomandari pentru proiectare	109
7. CONCLUZII FINALE SI CONTRIBUTII PERSONALE ALE AUTORULUI.....	111
7.1. Concluzii finale	111
7.2. Contributii personale ale autorului	111
7.3. Directii de cercetare in perspectiva valorificarii acestora	114
BIBLIOGRAFIE	117

1. INTRODUCERE

Primul material de constructii pe care omenirea l-a avut la indemana a fost pamantul cu ajutorul caruia au fost realizate constructii indraznete, dar limitate ca dimensiuni si performante datorita caracteristicilor fizice si mecanice ale acestui material.

Astfel a fost deschisa era lucrarilor de constructii cu structuri de o mare complexitate care pot sa detina recordul de stabilitate si abilitate inginereasca in conceptia si realizarea lor.

Pamantul, inasa, ca suport al fundatiei prezinta anumite caracteristici fizice si mecanice, care interceptate si corelate ne dau masura solicitarilor statice la care poate fi supus ca teren de fundare. Dar, asupra pamantului considerat ca teren de fundare, solicitarile transmise nu sunt intotdeauna statice ci, de foarte multe ori, pot fi solicitari dinamice provenite din vibratii, socuri seismice, trepidatii din circulatie, explozii, etc., actiuni care modifica radical calitativ si cantitativ proprietatile si valorile parametrilor geotehnici ai pamantului [1,9,13, 19, 22, 32, 39, 48, 66].

Studiul caracteristicilor geotehnice, respectiv a proprietatilor fizice si mecanice ale pamanturilor, in conditii de incercare statica si mai ales dinamica, constituie o problema destul de complexa, datorita faptului ca acestea depind de foarte multi factori (compozitia pamantului, starea

structurala si fizica, conditiile de formare respectiv depunere naturala, caracterul si parametrii incarcarii etc.). Dupa cum se cunoaste, in compozitia pamantului sunt prezente toate cele trei faze (solida, lichida si gazoasa), acestea fiind un mediu dispers alcatuit din diverse minerale. In depunerea lor naturala, pamanturile se prezinta ca niste medii complexe disperse, alcatuite din fragmente nelegate sau cu legaturi relative intre ele, de diferite marimi si forme geometrice, cu spatii intre ele (pori), umplute partial sau total cu apa sau aer [19, 21, 25, 31, 62, 65].

Rezultatele studiilor si cercetarilor privind comportarea pamanturilor la actiuni dinamice sub forma de vibratii, respectiv influenta acestora asupra modificarilor unor caracteristici fizice si mecanice ale pamanturilor, au permis ca tehnica vibrarii sa fie folosita din ce in ce mai mult la rezolvarea multor probleme de geotehnica si fundatii, cu bune rezultate tehnice si economice. In categoria acestora se pot mentiona in primul rand lucrarile de vibroinfigere si vibroextragere a pilotilor, palplanselor, tuburilor precum si compactarea prin vibrare a pamanturilor nisipoase.

Promotorul introducerii tehnicii vibrarii si la lucrarilor de fundatii in Romania a fost **Profesorul Marin Paunescu la scoala de Geotehnica din Timisoara**. Preocuparile Profesorului in domeniu inca din anul 1958 cand incepe cercetari in domeniul aplicativ in conditii de santier au condus la utilizarea pe scara larga a acestei tehnici si cu adoptarea unor utilaje si echipamente vibratoare performante. [41, 45, 48].

Astfel, sub directia domniei sale s-au dezvoltat si perfectionat agregate vibratoare pornind de la vibroinfigatoare pana la agregatele de vibropresare AVP_1 , AVP_2 (agregate cu vibratii si presare) si $AVPP_1$ (vibrare, presare si vibropercutie).

In toate cercetarile si aplicatiile efectuate in tarile europene se pleaca de la modificarile proprietatilor fizice si mecanice ale pamanturilor supuse la vibratii de 6-60 oscilatii/secunda, corespunzatoare frecventelor de oscilatii proprii pamanturilor,

pe cand in cercetarile facute in SUA se folosec vibratoare cu frecvente pe care de regula le au elementele de infipt.

In lucrarea "Tehnica vibrarii in realizarea fundatiilor" - autor Prof. Paunescu, se prezinta aplicatiile metodei vibratii la rezolvarea unor probleme de fundatii, cu folosirea unor oscilatii in general corespunzatoare frecventelor proprii de oscilatii a terenurilor de fundare deci cu frecvente joase. [48, 52, 55].

*

In context, teza de doctorat inscriindu-se in tematica abordata, si-a propus din punct de vedere teoretic analiza comportarii terenului la actiunea unui regim de vibratii, aplicarea tehnicii vibrarii la executarea unor lucrari de geotehnica si fundatii si sisteme de masini adecvate acestora, utilizarea coeficientilor elastici-dinamici care stau la baza metodei de calcul si proiectarea fundatiilor producatoare de vibratii [66, 72, 74, 75, 76].

Teza se finalizeaza cu cercetari experimentale care au avut drept scop determinarea efectelor unui strat izolator realizat din material granular dispus intre fundatia de beton a utilajului si terenul de fundare, asupra raspunsului dinamic al sistemului masina-fundatie-teren de fundare, transmisibilitatii si atenuarii geometrie a vibratiilor armonice intretinute [12, 20, 16, 33, 35, 37, 47, 51, 55, 60], cu impact asupra recomandarilor pentru proiectarea elementelor structural - fundatia.

Capitolelor ce fac obiectul tezei pot fi descrise sintetic astfel:

Capitolul 1 - Introducere

Capitolul cuprinde aspecte cu caracter general fundamentarea determinarii parametrilor geotehnici (caracteristicii fizice si mecanice ale pamantului in conditii de solicitarii statice, dar mai ales, la solicitari dinamice provenite din vibratii, actiuni seismice, trepidatii din trafic, etc.

Totodata se semnaleaza faptul ca relevant pentru politica de mentenanta, o problema cu implicatii majore asupra aportului masinilor la cresterea gradului de mecanizare a lucrarilor de fundatii, respectiv executarea acestora cu ajutorul utilajelor vibratoare, metoda promovata in tara noastra de Scoala de Geotehnica de la Universitatea Politehnica din Timisoara.

Capitolul 2 - Consideratii privind aplicarea tehnicii vibrarii la executarea unor lucrari de geotehnica si fundatii

Capitolul analizeaza necesitatea mecanizarii lucrarilor de constructii bazate pe tehnica vibrarii, notiuni privind actiunea si natura solicitarilor dinamice, marimi variabile in timp, determinate de o mare diversitate de cauze naturale sau provocate de activitatea omului.

Sunt prezentate in cuprinsul capitolului notiuni privind efectele generale ale tehnicii utilizarii vibratiilor si la lucrarile de fundatii care confirma eficacitatea si factorul economic al metodei vibratiilor.

Succint se face o trecere in revista a sistemului de masini cu actiune vibranta cat si tehnologii noi, respectiv sisteme de fundare bazate pe folosirea tehnicii vibrarii si la lucrarile de geotehnica si fundatii.

Capitolul 3 - *Comportarea pamanturilor la actiunea vibratiilor*

Capitolul este dedicat influentei actiunilor dinamice asupra unor caracteristici geotehnice ale pamanturilor si anume:

- influenta vibratiilor asupra rezistentei la forfecare a pamanturilor necoezive;
- influenta vibratiilor asupra rezistentei la forfecare a pamanturilor coezive;
- studiul compresibilitatii pamanturilor solicitate la actiunea vibratiilor.

Ca o concluzie generala, metodele teoretice si experimentale, in ceea ce priveste **comportarea pamanturilor necoezive la actiunea vibratiilor** se pot afirma urmatoarele:

- La vibratii de intensitate relativ redusa ($\eta < 0,1 \div 0,2$), cand inca starea structurala a pamantului nu este distrusa, reducerea rezistentei la forfecare dinamica este determinata in mare parte de modificarile periodice de scurta durata ale starii tensionale ale mediului. In aceasta situatie coeficientul de frecare, respectiv unghiul de frecare interioara cu aproximatie se considera ca fiind constante;
- La vibratii intense cand structura nisipului este distrusa pamantul nisipos primeste proprietatile unui mediu viscos iar, rezistenta la forfecare este determinata de reducerea frecarilor interioare de natura vascoasa.

Din analiza efectuata asupra comportarii pamanturilor argiloase, prin forfecarea lor in regim dinamic, are loc o reducere a valorilor parametrilor rezistentei la forfecare: unghi de frecare interioara si coeziune.

La actiunea vibratiilor de scurta durata odata cu cresterea vitezei de incarcare, rezulta o majorare insemnata a rezistentei la compresiune, in comparativ cu rezultatele incercarilor statice corespunzatoare.

Capitolul 4 - *Studii privind modelarea matematica a sistemului utilaj-fundatie-teren de fundare*

Cercetarile efectuate de catre autor au avut la baza studii teoretice privind elemente de modelare matematica a interactiunii sistemelor de masini-fundatie si terenul de fundare care au stat la baza cercetarilor experimentale.

Se fundamenteaza elemente de proiectare a fundatiilor de masini si utilaje cu actiune vibranta, care sa conduca la diminuarea efectelor generate de unele socuri si vibratii prin adoptarea unor solutii de diminuare la sursa, diminuarea raspunsului dinamic cat si aspecte legate de izolarea contra vibratiilor (fig. 4.2).

Astfel, limitarea efectelor vibratiilor implica in primul rand stabilirea unor frecvente respectiv pulsatii proprii pentru sistem, astfel incat sa se evite rezonanta in timpul functionarii si sa se diminueze efectele acestuia in timpul pornirilor si opririlor, in cazul utilajelor si masinilor care functioneaza deasupra rezonantei.

Sistemul constructiv, materialele utilizate, valorile presiunilor pe teren conduc, de asemenea, la variabilitatea raspunsului dinamic al sistemului utilaj (masina)-fundatie-suport de rezemare. In cazul fundatiilor amplasate pe teren apar probleme importante pentru determinarea constantelor elastice (de rigiditate) ale terenului, tinand cont de proprietatile dinamice si geologice ale acestuia.

Un loc important il ocupa problema fundatiilor de masini si utilaje incastrate in teren, al caror raspuns este in unele cazuri influentat in mod semnificativ de efectul incastrarii.

Cercetarile privind efectele incastrarii fundatiilor in teren sunt de mare utilitate in practica, intrucat adesea pot conduce la o proiectare mai economica (in mod frecvent fundatiile de utilaje sunt incastrate in teren) si se poate folosi efectul

de interactiune ca mijloc de izolare si deci de atenuare a vibratiilor si consecintelor acestora.

Capitolul 5 - Modele de calcul pentru determinarea coeficientilor elastici ai terenurilor si a constantelor elastice a fundatiilor

Este capitolul care defineste modelele de calcul pentru cercetarile experimentale.

Terenul de fundare reprezinta un semispatiu elastic, avand accesibila numai suprafata, restul fiind considerat infinit. Din punctul de vedere al deformatiilor, se urmareste deplasarea suprafetei terenului sub actiunea unei presiuni, ajungandu-se astfel la relatia dintre eforturi unitare, respectiv presiuni si deformatii specifice (analog legii lui Hooke).

In cadrul vibratiilor, intereseaza numai deformatiile elastice, reversibile. Ca urmare se va lua in considerare numai tasarea elastica.

Coeficientii elastici ai terenului de fundare C_z , C_x , $C\varphi$ si $C\psi$ utilizati in studiul dinamic al fundatiilor producatoare de vibratii, asa cum este prezentat in cuprinsul capitolului se pot determina experimental sau prin calcul.

Pentru determinarea prin calcul a coeficientilor elastici in proiectarea fundatiilor se aplica analize numerice – parametrice utilizand programele de calcul CØFI1 si CØFI2 implementate la centrele de calcul care dispun in prezent de optiuni pentru variante optime ale sistemelor de fundare.

Capitolul 6 - Cercetari experimentale privind efectul straturilor izolatoare din materiale monogranulare asupra raspunsului dinamic si a transmisibilitatii vibratiilor

Capitolul caruia i s-a dat importanta deosebita intrucat cercetarile experimentale stau la baza unor recomandari de proiectare a fundatiilor producatoare de vibratii.

Cercetarile experimentale au constatat in determinarea efectelor unui strat izolator realizat din material granular dispus intre fundatia din beton al unui utilaj generator de vibratii si terenul de fundare. S-a urmarit experimental raspunsul dinamic al sistemului masina-fundatie-teren de fundare, a transmisibilitatii si atenuarii geometrice a vibratiilor armonice intretinute.

Rezultatele obtinute au pus in evidenta :

- ◊ efectul stratului izolator asupra caracteristicilor elastice C_z si C_x ;
- ◊ efectul stratului izolator asupra factorului de amortizare a sistemului masina-fundatie;
- ◊ efectul stratului izolator asupra transmisibilitatii vibratiilor;
- ◊ efectul stratului izolator asupra amplitudinilor vibratiilor si frecventelor proprii ale sistemului masina-fundatie.

Recomandarile in proiectarea fundatiilor de utilaje pentru izolarea antivibratorie sunt relevante din punctual de vedere al atenuarii efectelor vibratiilor.

Capitolul 7 - Concluzii finale si contributi personale ale autorului

Sunt prezentate intr-o ordine cronologica atat concluziile finale cat si contributiile personale pornind de la cercetarea fundamentala la cercetarea experimentală si recomandarile raportate la comportarea pamanturilor sub sollicitari dinamice si la proiectarea fundatiilor de utilaje generatoare de vibratii.

2. CONSIDERATII PRIVIND APLICAREA TEHNICII VIBRARII LA EXECUTAREA UNOR LUCRARI DE GEOTEHNICA SI FUNDATII

2.1. Mecanizarea lucrarilor de constructii bazata pe tehnica vibrarii

2.1.1. Mecanizarea lucrarilor de constructii, factor major in cresterea productivitatii muncii pe santiere

In contextul general, dezvoltarea mecanizarii lucrarilor de constructii in tara noastra este unul din principalii factori dinamici de progres in domeniul activitatii de constructii –montaj. [18, 20, 35, 37, 40, 55]

Se poate afirma ca, etapele de dezvoltare a mecanizarii lucrarilor de constructii au fost parcurse intr-un ritm foarte rapid, anume:

- *in prima etapa*, care cuprinde perioada pana in anii 1900, cercetarea in domeniu, si-a propus o strategie defensiva de acumulare, de transferare de tehnologii mecanizate, de rationalizare a folosirii masinilor provenite in cea mai mare parte din import;

- *in cea de-a doua etapa*, pana in anii 1970 - aportul de substanta s-a concentrat spre dezvoltarea industriei romanesti de masini si utilaje moderne de constructii;

- *in cea de-a treia etapa*, cercetarea stiintifica a stat la baza ridicarii nivelului de performanta al tehnologiilor si al masinilor, urmarind cresterea productivitatii si reducerea consumului de resurse, in principal de energie prin solutii originale;

- *a patra etapa*, care a fost destinata preocuparilor pentru automatizarea, electronizarea si robotizarea lucrarilor de constructii.

Datorita strategiei ofensive adoptate incepand din etapa a doua, cercetarea a reusit sa tina pasul cu progresul tehnic mondial reducand permanent rata de reinoire a masinilor, care au ajuns astfel sa parcurga trei generatii.

De la prima generatie, cu transmisie mecanica si actionare prin cablu, la a doua generatie, cu transmisii hidromecanice si actionari hidrostactice si pana la ultima generatie, cu grad ridicat de mecanizare si automatizare, s-a parcurs un drum lung, specialistii reusind sa invinga cu ingeniozitate si competenta, cu spirit novator si eficienta, toate dificultatile.

In asemenea conditii s-a putut trece de la licente, achizitionate intr-un numar foarte redus de altfel fata de alte ramuri, la asimilarea dupa modele straine de varf si apoi in final la realizarea in conceptie proprie, cu inovarea de solutii indraznete care sa asigure performante inalte.

In alta ordine de idei, introducerea *conceptului de performanta* la realizarea masinilor si utilajelor de constructii, prin impunerea trinomului "**tehnologie-masina-eficienta**", reprezinta una din cele mai importante contributii la schimbarea conceptelor traditionale si la realizarea unor masini care sa raspunda

in cel mai inalt grad necesitatilor santierelor. Abordarea sistemica - exigente tehnologice care au determinat performantele functionale ale masinii in conditiile unui cost global minim - reprezinta solutia optima [20, 60, 62].

Cercetarile in domeniu au cuantificat noile valente ale omului in procesul de productie, de executare mecanizata a lucrarilor de constructii, respectiv de scadere a efortului fizic si de crestere concomitenta a solicitarilor fata de sfera senzoriala a activitatii psihice, ca urmare a maririi gradului de responsabilitate.

Senzatiile pe care mecanicul le incearca in ambienta sa de munca, din cabina masinii, precum si consecintele care pot rezulta pentru sanatatea sa, pentru gradul sau de oboseala, precum si fata de atitudinea sa fata de munca, depind in mod esential de parametrii ergonomici ai masinii - zgomot, vibratii, vizibilitate, iluminare, amplasarea comenzilor si efortul pentru actionarea acestora, microclimat.

S-au realizat teste de fiabilitate in exploatare controlata asupra unui mare numar de familii de masini, s-au introdus primele incercari accelerate pe stand. S-a format prima banca de date si s-au fundamentat metodele de calcul pentru predictia fiabilitatii la conceptia noilor masini. Ca urmare, la noile masini, s-a introdus rezervarea organelor principale, prin realizarea de scheme logice cu elemente in derivatie si s-a adoptat structura modulara, pentru realizarea acestora din blocuri functionale care asigura aproximativ aceeasi durata de viata [40, 55].

Una din principalele preocupari in promovarea mecanizarii lucrarilor de constructii a constat in *politica de mentenanta* - o problema cu implicatii majore asupra aportului masinilor la cresterea gradului de mecanizare a lucrarilor.

Pe parcurs a fost elaborata o asa numita "*politica de mentenanta complexa*" care a asigurat o disponibilitate ridicata a masinilor prin *imbinarea armonioasa*:

- **a mentenantei preventive**, formate din interventii profilactice, dublate de diagnoza instrumentala a defectiunilor tehnice, fara demontarea masinilor;
- **cu mentenanta corectiva**, compusa din reparatii curente de restabilire si reparatii de reinnoire, bazate in principal pe schimb de module functionale.

In ceea ce priveste etapa de automatizare, electronizare si robotizare a mecanizarii lucrarilor de constructii se poate afirma ca masinile utilizate pe santierele de constructii au fost echipate cu componente electronice performante, automatizarea totala a ciclurilor de lucru, in final vizandu-se robotizarea masinilor care asigura un progres competitiv pe plan mondial.

2.2. Introducerea tehnicii vibrarii la executia unor lucrari de geotehnica si fundatii

O metoda care raspunde cerintelor si exigentelor o reprezinta executarea lucrarilor de fundatii cu utilaje vibratoare, o metoda care dupa aplicarea in productie s-a dovedit a fi de o mare eficacitate tehnica si economica, care contribuie la industrializarea completa a tehnologiilor de lucru pe santierele de constructii [5, 30, 33, 56, 60, 69].

Natura diferita a terenului de fundare si a incarcarilor care actioneaza asupra constructiilor fac in general greoaie o tipizare a solutiilor de fundare, contribuind prin aceasta la marirea duratei de executie a ciclului zero, la cresterea pretului de cost si la o productivitate redusa.

In acest context, executarea lucrarilor de fundatii prin metodele obisnuite devine si mai anevoioasa in cazul executarii lor sub nivelul apei subterane sau cand executia se desfasoara pe timp friguros, marind pretul de cost si timpul de executie. De aceea se impune cautarea unor procedee tehnologice cu o eficienta maxima din punct de vedere tehnico-economic.

O metoda care raspunde cerintelor si exigentelor mentionate o reprezinta executarea lucrarilor de fundatii cu ajutorul utilajelor vibratoare, o metoda dupa cum s-a dovedit din aplicarea in productie, de mare eficacitate tehnica si economica, care contribuie la industrializarea completa a tehnologiilor de lucru pe santierele de constructii.

Metoda incepe sa fie cunoscuta in URSS si SUA (1935) prin lucrari de introducere in teren si extragere a unor elemente cu aplicarea vibratiilor unidimensionale in lungul axei verticale a acestora, iar mai tarziu (1945) construirea unor utilaje vibratoare experimentale pentru infigerea si smulgerea palplanselor si pilotilor.

Metoda s-a dovedit eficienta si pentru rezolvarea altor probleme de geotehnica si fundatii cum ar fi :

- executarea colonelor de materiale granulare folosite pentru compactarea in adancime;
- forari geotehnice;
- infigerea coloanelor tubulare din beton armat cu diametre mari;
- lucrari de excavare si traversari de conducte subterane;
- compactari prin vibroflotatie;
- drenuri forate orizontale.

Eficientizarea metodei a facut sa aiba ecou in multe tari cum ar fi : Polonia, Ungaria, Franta, Germania, SUA si in Romania.

In lucrarea « **Tehnica vibrării in realizarea fundatiilor** » – autor Prof. Paunescu se prezinta aplicatiile metodei vibratiilor la rezolvarea unor probleme de fundatii, cu folosirea unor oscilatii in general corespunzatoare frecventelor proprii de oscilatii a terenurilor de fundatii deci cu frecvente joase.

Sub conducerea si indrumarea Prof. Paunescu un colectiv de la Departamentul de Inginerie Geotehnica si Cai de Comunicatii Tereste de la Facultatea de Constructii din Timisoara a facut posibila elaborarea unor tehnologii noi, respectiv sisteme de fundare, bazate pe folosirea vibratiilor si anume:

a) Tehnologia de executie a pilotilor turnati pe loc armati sau partial armati cu crearea cadrului legal privind si prescriptiile tehnice referitoare la aceste tehnologii ; [27, 52, 56, 59, 72, 87, 89]

b) Tehnologia de executie a drenurilor orizontale vibroforate, folosite atat pentru lucrari de asanare respectiv consolidare a terenurilor alunecatoare cat si la realizarea unor captari de apa cu sistem de aductiune radial ; [43, 45, 56, 86]

c) Tehnologia de executie a consolidarii terenurilor de fundare slabe cu ajutorul coloanelor din balast multivibrocompresate, care reprezinta de asemenea, un caz tipic de aplicare a vibratiilor la lucrarile de fundare ; [25, 46, 50, 56, 70, 71]

d) Fundarea stalpilor de energie electrica pentru LEA de medie tensiune, folosind coloane prefabricate introduse in teren prin vibrare, reprezinta o noua tehnica de fundare prin vibrare, care permite realizarea fundatiilor in conditii normale de teren cat si in conditii de teren cu rezistente mecanice reduse si nivelul apelor subterane ridicat; [56, 70, 71, 73]

e) Tehnologia de executare a forajelor orizontale sau inclinate, realizate prin vibrare, in vederea realizarii unor subtraversari de cai de comunicatii, respectiv pentru realizarea tirantilor de ancoraje in teren, necesare la lucrari de sprijin ; [25, 43, 44, 48, 56, 86]

f) Tehnologii de realizare a fundatiilor in gropi stantate sub stalpi monoliti si prefabricati ; [5, 33, 49, 51, 54, 55, 88]

g) Realizarea forajelor geotehnice prin metoda vibrarii care consta in introducerea unei carotiere in teren, sub actiunea fortei perturbatoare oscilatorii sau a vibropercutiilor, precum si a greutatii proprii a ansamblului carotiera-tija-vibrogenerator, trecandu-se apoi la extragerea carotierei cu pamantul recoltat. [42, 45, 74, 75, 78, 82, 83]

Revenind la principiul metodei aceasta depinde de un complex de factori cum sunt : amplitudinea si frecventa oscilatiilor, de proprietatile mecanice ale terenului si greutatea ansamblului utilaj-agregat-echipament.

2.3. Solicitari dinamice

Modificarea parametrilor geotehnici in urma actiunilor dinamice poate conduce uneori la schimbari esentiale ale conditiilor de rezistenta si stabilitate ale maselor de pamant, care de cele mai multe ori produce efecte asupra constructiilor.

Neglijarea influentei regimului de solicitare poate cauza repercur-siuni grave in privinta exploatarii normale a diverselor constructii sau lucrari de terasamente.

In literatura de specialitate se citeaza multe exemple de alunecari produse cu ocazia unor cutremure, sau datorate altor surse de trepidatii si vibratii, care au provocat deplasarea unor mari mase de pamant si distrugerea a numeroase constructii. [2, 7, 31, 32, 62]

De asemenea, multe exemple din literatura arata ca in urma solicitarilor dinamice ale terenului, au loc tasari suplimentare, de cele mai multe ori neuniforme, care pot modifica starea de eforturi din suprastructura constructiilor, iar in unele cazuri pot provoca chiar si pierderea stabilitatii, sau scoaterea din exploatare a acestora.

Cel mai des aparitia unor tasari mari si neuniforme datorate actiunii simultane a sarcinilor statice si a celor dinamice, se manifesta in cazul in care terenul de fundare este alcatuit din nisipuri, chiar atunci cand nisipurile se afla in stare de indesare relativ buna.

In general, se considera ca nisipurile indesate sau mijlociu indesate prezinta o capacitate portanta ridicata fiind considerate ca terenuri foarte bune de fundare. Totusi, trebuie retinut ca acest fapt este corect numai sub actiunea incarcarii statice. In cazul actiunii simultane statice si dinamice, rezistenta acestor pamanturi poate deveni mai redusa. O dovada a acestui fapt poate constitui insasi posibilitatea introducerii cu usurinta in teren, prin vibrare, a unor elemente verticale. Fara o reducere considerabila a rezistentei pamantului ca urmare a vibratiilor la care este supus, infigerea nu ar fi posibila chiar si in cazul unor incarcari foarte mari.

Din incercari experimentale s-a dedus ca fenomenele fizice, care se produc in masele de nisip solificate dinamic provoaca o micorare a frecarii dintre

granulele scheletului mineral, care, dupa cum este cunoscut, conditioneaza rezistenta si stabilitatea acestor pamanturi. Sub actiunea vibratiilor starea initiala de asezare a granulelor este deranjata rezultand o noua stare de echilibru mai stabila decat cea initiala.

In anumite conditii, micșorarea fortelor de legatura dintre granulele care alcatuiesc masele de nisip, pot sa scada in asemenea masura incat acestea sa se transforme in adevarate lichide vascoase, pierzand aproape in intregime rezistenta.

In acest sens sunt destul de numeroase cazurile de pierderea stabilitatii maselor de pamant cauzate fie de actiunea seismica, fie de trepidatiile produse de trafic, de actiunea exploziilor, vibratii produse de masini etc. Vibratiile provocate de masini, devin din ce in ce mai intense, insa ele pot sa manifeste o influenta negativa, atat asupra masinilor insasi si fundatiilor cat si asupra terenului de fundare.

Vibratiile transmise cladirilor de locuit pot avea o influenta fiziologica si psihologica defavorabila asupra oamenilor care locuiesc timp indelungat in astfel de locuinte.

Este de remarcat ca in anumite conditii de teren, vibratiile, se pot transmite la mare departare fata de sursa, provocand avarii la cladiri situate la distante de ordinul sutelor de metrii.

Cele prezentate sunt numai cateva din motivele pentru care a devenit deosebit de actuala si necesara problema studierii si cunoasterii influentei actiunilor dinamice asupra parametrilor geotehnici ai terenului de fundare. Necesitatea acestui studiu se impune pe de o parte, pentru adoptarea unor solutii si sisteme de fundare prin care efectul actiunilor dinamice sa fie diminuat, iar pe de alta parte pentru crearea si folosirea unor tehnologii bazate pe actiuni dinamice sub forma de vibratii sau vibropercutii folosite la executarea unor lucrari de fundatii.

2.3.1. Notiuni privind actiunea solicitarilor dinamice

Solicitarea dinamica

Este o marime variabila in timp, avand in general efectul de miscare a structurii. La solicitarea dinamica, echilibrarea instantanee a fortelor exterioare, variabila in timp, de catre tensiunile interioare nu este posibila datorita inertiei materialului. Fortele neechilibrate punand in miscare masa structurii, tensiunile si deformatiile structurii, sunt in functie nu numai de pozitie ci si de timp.

Efectul de miscare explica de ce pentru determinarea starii de tensiune si deformatie, in acest caz de solicitare este necesar sa se tina seama, pe langa caracteristicile de rigiditate ale structurii si de proprietatile ei initiale, care depind de distributia maselor in structura. [2, 4, 31, 32, 39, 45]

Calculul dinamic

Determinarea eforturilor, a deformatiilor si a caracteristicilor de oscilatie ale structurilor se face in urma asa numitului calcul dinamic.

Vibratia

Miscarea care se produce in urma unei actiuni dinamice aplicata structurii elastice are caracterul unei mici oscilatii in jurul pozitiei ei de echilibru stabil, numita vibratie.

Natura solicitarilor dinamice

Solicitarile dinamice pot avea o mare diversitate de cauze naturale sau provocate de activitatea omului (tabelul 2.1).

Enumerand cateva dintre aceste cauze se pot aminti :

- Vibratiile produse de miscarile infrastructurii construc-tiilor datorita socului seismic in timpul cutremurului;
- Vibratiile provocate de masini grele cu piese mobile neechilibrate (motoare, generatoare, turbogeneratoare etc.);
- Vibratiile produse de functionarea agregatelor ce dezvolta socuri (ciocane de forjat, concasoare etc.);
- Vibratii aferente unor tehnologii de executie a lucrarilor de fundatii;
- Impactul undei de soc produsa de explozii.

In contextul prezentat se impune o evaluare cat mai exacta a efectelor dinamice suferite de structura si utilizarea metodelor de calcul dinamic pentru asigurarea constructiilor.

Tabelul 2.1. Clasificarea solicitarilor dinamice functie de cauzele care le produc

Nr. crt.	Grupa de cauze	Natura solicitarii	Efectul datorat de:
I.	Cauze Naturale	Cutremure de pamant Activitate vulcanica Vibratii Vibratii sub forma de socuri	Actiuni ciclice seismice Eruptii vulcanice Rafale de vant Valuri de apa Explozii
II	Cauze provocate	Vibratii de masini Vibratii datorate traficului Forte de impact Vibratii provocate de compactarea terenurilor Slabe de fundare	Masini grele cu piese mobile neechilibrate (motoare, gene-ratoare, turbogeneratoare etc.). Agregate ce dezvolta socuri (ciocane de forjat, concasare etc.). Vehicule grele autocamioane grele utilaje mecanice etc. Actiunea podurilor rulante Infigerea pilotilor prefabricati Infigerea palplanselor Compactarea de suprafata prin baterea sau vibrare compactarea de adancime prin batere si vibrare (coloane, vibrointepare).
II	Cauze provocate	Vibratii datorate traficului	Material rulant (locomotive, vagoane, tramvaie etc.) Vehicule grele autocamioane, utilaje mecanice etc.
		Forte de impact	Actiunea podurilor rulante
		Vibratii aferente unor tehnologii de executie a lucrarilor de fundatii	Infigerea pilotilor prefabricati Infigerea palplanselor Compactarea de suprafata prin batere sau vibrare Compactarea de adancime prin batere si vibrare (coloane si ploturi din materiale granulare, vibroindesare, vibroflotare, baterea cu maiul greu si supergreu etc.).

2.3.2. Clasificarea solicitarilor dinamice

In functie de legea de variatie in timp, solicitarile dinamice asa cum sunt prezentate in tabelul 2.2., pot fi clasificate in:

Tabel 2.2. Clasificarea solicitarilor dinamice functie de legea de variatie in timp

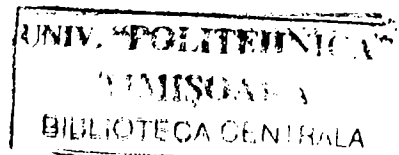
Nr. crt.	Tipul solicitarii		Reprezentate prin	Cauza care provoaca solicitarea
1	Armonice	Periodice simple	Functii trigonometrice simple definite prin: - amplitudine maxima, A ; - perioada, T ; - pulsatie, ω ; - frecventa, f .	- actiunea cilindrilor vibratorii compactori - masini rotative
2	Periodice	Repetare periodica dupa un interval de timp T	- repetare periodica dupa un interval de timp T - pot fi descompuse dupa analiza armonica Fourier in miscari armonice	- utilaje vibratoare ce lucreaza cu mai multe frecvente - turbogeneratoare - vibro-infigatoare
3	Aleatoare	Oarecare sau deterministe	- graficul solicitarii nu se repeta niciodata identic - marimile pot fi identificate cu metodele probabilistice	- cutremure de pamant - incarcari dinamice generate de circulatia vehiculelor grele
4	Tranzitorii		- dupa incetarea actiunii unui impuls, vibratiile isi reduc rapid actiunea pana cand sistemul solicitat revine la situatia de echilibru anterioara	- actiuni pentru un timp scurt (caderi de pietre) - impactul proiectilelor - baterea pilotilor - chiar si unele tipuri de miscari seismice

a/ Solicitari armonice (sau periodice simple), ce pot fi reprezentate matematic prin functii trigonometrice simple. Amploarea solicitarii este caracterizata prin amplitudine maxima A , perioada T , pulsatie ω si frecventa f . Solicitarea armonica poate fi provocata de actiunea cilindrilor vibratorii compactori, masini rotative etc.

b/ Solicitari periodice se caracterizeaza printr-o repetare periodica dupa un interval de timp T , (perioada). Miscarile armonice de acest tip pot fi descompuse prin analiza armonica Fourier, in miscari armonice. Solicitarile periodice pot fi provocate de utilaje vibratoare ce lucreaza cu mai multe frecvente (turbogeneratoare, vibroinfigatoare) sau alte actiuni controlate.

c/ Solicitari aleatoare (oarecare, nedeterministe) a caror diagrama caracteristica nu se repeta niciodata identic. Sunt tipice pentru aceasta categorie de solicitari: cutremurele de pamant sau incarcari dinamice generate de circulatia vehiculelor grele.

655. 314



Marimile care le caracterizeaza nu pot fi definite la un moment dat decat de metode probabilistice.

d/ Solicitarile tranzitorii sunt de tip aleator si se caracterizeaza prin aceea ca, dupa incetarea actiunii unui impuls vibratiile isi reduc rapid amplitudinea, pana cand sistemul solicitat revine la situatia de echilibru, anterioara actiunii impulsului. Astfel de solicitari sunt urmarea unor socuri, respectiv a aplicarii unor forte pentru un timp scurt - caderi de pietre, impactul proiectilelor, explozii, baterea pilotilor sau chiar unele tipuri de miscari seismice

Clasificarea solicitarilor dinamice functie de legea de variatie in timp este prezentata in tabelul 2.2.

2.4. Elemente generale privind utilizarea tehnicii vibrarii la lucrarile de fundatii

In activitatea desfasurata pe plan national respectiv mondial, privind elaborarea de noi tehnologii de imbunatatire a terenurilor slabe de fundare, un element esential, definitoriu, a fost si va ramane forma de energie si consumul acesteia pe unitatea de produs.

In domeniul lucrarilor de fundatii in general, respectiv a celor caracteristice unor conditii dificile de teren in mod special, in ultimele decenii s-au impus procedeele bazate pe folosirea tehnicii vibratiilor cat si a efectelor acestora asupra comportarii de ansamblu a terenului de fundare, atat in timpul actiunii vibratiilor, cat si dupa incetarea acestora.

Rezultatele cercetarilor privind aplicarea tehnicii vibrarii la lucrarile din infrastructura constructiilor, au consacrat aceasta tehnica in domeniul infigerii si extragerii prin vibrare a palplanselor, tuburilor metalice, a infigerii prin vibrare a pilotilor prefabricati si coloanelor, a compactarii terasamentelor respectiv a terenurilor de fundare slabe. [37, 46, 51, 55]

Folosirea tehnicii vibratiilor in procesul de infigere a unor elemente in teren (piloti, palplanse, tuburi metalice) a constituit si constituie un succes in tehnica lucrarilor de infrastructura, atat din punct de vedere tehnic cat si economic, dar prezinta un mare neajuns si anume acela al transmiterii unor trepidatii mai mult sau mai putin puternice, care pentru o anumita intensitate au efecte negative asupra mediului inconjurator.

Experimentarile efectuate au scos in evidenta faptul ca vibratiile transmise terenului prin intermediul unui element (pilot, palplansa, tub metalic recuperabil), in procesul de infigere sau smulgere, aduc modificari structurale importante terenului din zona adiacenta elementului, conferind terenului proprietati total diferite fata de cele pe care le-a avut inainte de aparitia vibratiilor. Una din cele mai importante schimbari ca urmare a aparitiei vibratiilor este reducerea considerabila a fortei de frecare laterala ce apare intre suprafata laterala a elementului si teren.

Un aport substantial in vederea clarificarii procesului de infigere prin vibrare cat si al evidentierii factorilor ce influenteaza acest proces a fost adus de scoala romaneasca de aplicare a tehnicii vibrarii la lucrarile de fundatii, in acest sens rezultatele obtinute de Profesorul Marin Paunescu il recomanda ca pe unul din cei mai valorosi specialisti in domeniu din tara. Rezultatele obtinute au clarificat aspecte privind: rezistenta de frecare dintre element si teren in regim de

vibrații, factorii ce influențează adâncimea și viteza de înfigere prin vibrație, stabilirea parametrilor și domeniul de folosință al vibratoarelor.

2.4.1. Vibrații unidimensionale

Creerea vibrațiilor necesare în procesul de înfigere sau smulgere a diverselor elemente (piloni, tuburi metalice etc.) se face cu ajutorul vibratoarelor unidimensionale.

Aceste vibratoare se caracterizează prin aceea că oscilațiile dirijate sau impulsurile alternative acționează doar în direcție longitudinală, dirijate întotdeauna după axul longitudinal al elementului înfipt. [9, 12, 13, 37, 45, 61]

Din punct de vedere tehnic, oscilațiile (vibrațiile) unidimensionale se pot realiza cu ajutorul unor excitatoare dezechilibrate polarizate. Acestea constau în esență dintr-un număr par de axe având masă excentrică dispusă sincronizat în același plan și care în același timp se rotesc în sens contrar, având ca rezultat apariția unor forțe de oscilație verticale (fig. 2.1.).

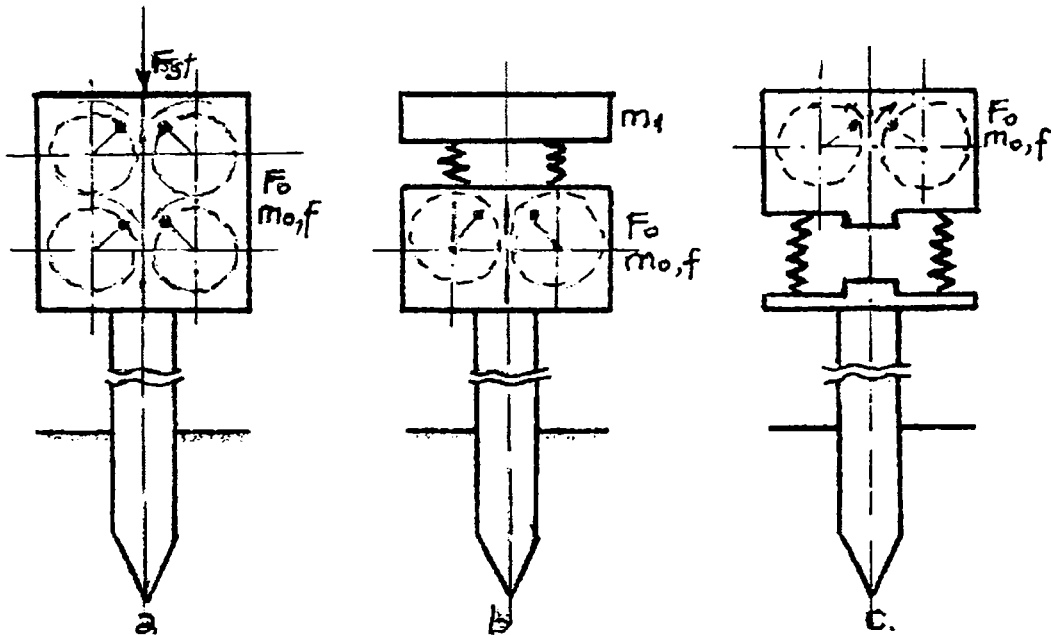


Fig. 2.1. Oscilații unidimensionale obținute ca rezultat al apariției forțelor de oscilație:

- mase excentrice dispuse suprapuse;
- sistem de vibrație cu două mase;
- sistem vibropercutor

Unele tipuri de vibratoare au mase excentrice, cât și turatia reglabile, axele cu mase excentrice putându-se dispune suprapuse (fig. 2.1 a). Generatorul de vibrații împreună cu elementul de înfipt legat rigid de vibrator formează un sistem de vibrație cu masă unică. Când vibratorului i se atasează o masă suplimentară legată elastic de acesta se formează un sistem de vibrație cu două mase (fig. 2.1 b).

Când legătura dintre elementul de înfipt și vibrator se realizează elastic sistemul obținut este un sistem vibropercutor (fig. 2.1. c).

2.4.2. Forte generate in procesul de vibrare

In timpul functionarii acestor generatoare de vibratii se obtine o forta de excitatie (F_0), generata de masele excentrice m_0 in miscarea de rotatie, dependenta de momentul static al excentricului (M') cat si de viteza unghiulara a acestor mase (ω). [41, 61, 62]

$$F_0 = m_0 e \omega^2, \text{ (kN)} \quad (2.1.)$$

in care:

- m_0 - masa excentricului, inclusiv masa suportului excentricului, in t;
- e - distanta dintre axul de rotatie si centrul de greutate al masei de dezechilibrare, in m,
- $\omega = 2\pi f$ - pulsatia excentricilor, in sec^{-1} .

Fora de oscilatie verticala maxima P , in conditiile oscilatiilor armonice este data de relatia:

$$P = P_0 \sin \omega t, \text{ (kN)} \quad (2.2.)$$

in care:

- P_0 = este amplitudinea maxima a fortei de oscilatie in kN;
- ω = unghiul de rotire al centrului de greutate al masei excentrice, in rot/min.

Luand in considerare momentul static al excentricilor (M) cat si greutatea ansamblului element-vibrator (G_{cv}) care au expresiile:

$$M = g m_0 e, \text{ (kNm)} \quad (2.3.)$$

$$G_{cv} = m_{cv} g, \text{ (kN)} \quad (2.4.)$$

se pot defini ceilalti parametri principali ai miscarii de vibrare, si anume:

- amplitudinea de oscilatie a elementului, in m;

$$\frac{M'}{G_{cv}} = \frac{m_0 \cdot e}{m_{cv}} = A \quad (2.5.)$$

- viteza oscilatiilor, in m/sec;

$$\frac{M'}{G_{cv}} \cdot f = \frac{m_0 \cdot e}{m_{cv}} \cdot f = u_{osc} \quad (2.6.)$$

- acceleratia oscilatiilor, in m/sec^2 ;

$$\frac{M'}{G_{cv}} \cdot \omega^2 = 4\pi^2 \cdot \frac{m_0 \cdot e}{m_{cv}} \cdot f^2 = a_{osc} \quad (2.7.)$$

- presiunea oscilatiilor, in m/sec^3 ;

$$\frac{M'}{G_{cv}} \cdot \omega^2 \cdot f = 4\pi^2 \cdot \frac{m_0 \cdot e}{m_{cv}} \cdot f^3 = p_{osc} \quad (2.8.)$$

Tinând seama de variația sinusoidală a forței de oscilație se pot defini pentru o jumătate de perioadă a oscilației, valorile limită pentru:

- lucrul mecanic al semioscilației, în kNm;

$$F_0 \cdot \frac{M'}{G_{ev}} = 4\pi^2 \cdot \frac{(m_0 \cdot e)^2}{m_{ev}} \cdot f^2 = L_{osc} \quad (2.9.)$$

- puterea semioscilației, în kNm/sec;

$$F_0 \cdot \frac{M'}{G_{ev}} \cdot f = 4\pi^2 \frac{(m_0 \cdot e)^2}{m_{ev}} \cdot f^3 = P_{osc} \quad (2.10.)$$

Alți parametrii caracteristici mișcării de vibrație sunt sarcina statică suplimentară (m_1) sau forța statică de presare (F_{st}).

Sub acțiunea oscilațiilor unidirecționale produse de vibrator și în condițiile atingerii unor parametrii de vibrație corespunzători, se va produce înfigerea elementului în teren ca urmare a învingerii reacțiunii terenului.

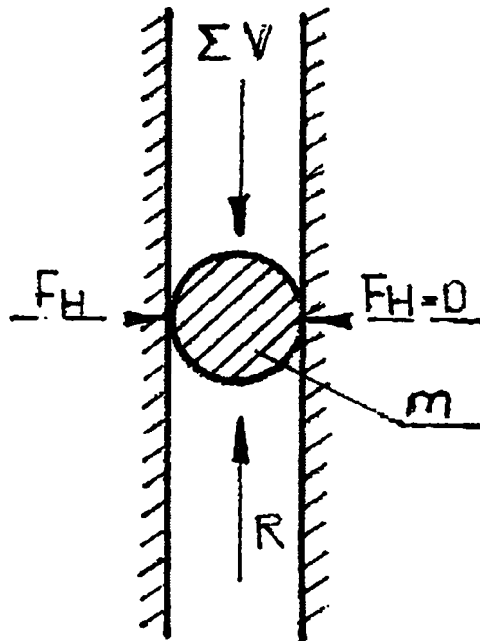


Fig. 2.2. Forțe caracteristice mișcării de vibrație

Forța care produce efectul de înfigere prin vibrație este compusă din forța de oscilație verticală (P) și forța gravitațională (F) datorită acțiunii sarcinii suplimentare (m_1) sau forței statice de presare (F_{st}), evident în condițiile depășirii forțelor totale de rezistență la înaintarea elementului de înfipt (R).

Principalul proces de înfigere prin vibrație este prezentat în fig. 2.2. Forța de înfigere fiind egală cu diferența dintre forța verticală imprimată sistemului de masă (m) și forța de rezistență.

$$m \cdot \frac{d_v}{d_t} = \Sigma V - R \text{ (kN)} \quad (2.11.)$$

in care:

$$\Sigma V = P + m_1 \cdot g \text{ (kN)} \quad (2.11.a)$$

$$R = R_v + R_l \text{ (kN)} \quad (2.11.b)$$

unde : ΣV - variatia fortelor exterioare, cat si a fortelor de rezistenta la inaintarea unui element;

m_1 - sarcina suplimentara;

g - acceleratia gravitationala, m/sec^2 ;

R - rezistenta la inaintarea elementului de infipt, R_v pe verticala, R_l pe suprafata laterala.

Variatia fortelor exterioare (ΣV) cat si a fortelor de rezistenta la inaintare a elementului produc modificari ale vitezei de infipere al elementului.

Din cele prezentate rezulta ca actiunea unor incarcari dinamice asupra maselor de pamant, in special a celor produse de un sistem oscilant armonic, produc modificari radicale calitative cat si cantitative asupra proprietatilor fizico-mecanice ale acestuia.

Cunoasterea acestor modificari calitative cat si cantitative ale caracteristicilor fizico-mecanice ale pamanturilor este impusa de insasi tendinta tot mai mare de aplicare a tehnicii vibrarii la lucrarile de fundatii.

Deoarece energia vibratiilor atat timp cat actioneaza asupra maselor de pamant are ca rezultat reducerea rezistentelor mecanice si in special a rezistentei specifice de frecare laterala ce apare intre element si teren face posibila folosirea acestuia la lucrarile de fundatii indirecte, prospectare geotehnica, cat si la lucrarile de consolidare a terenurilor slabe de fundare. [61, 66]

2.5. Sisteme de masini-utilaje si echipamente pentru executarea lucrarilor de fundatii

2.5.1. Aspecte generale

Generatoarele de vibratii se intalnesc la utilizarea lor in practica in mai multe variante, functie de:

- actiunea lor asupra elementului de infipt;
- in raport cu schema de actionare a generatorului de vibratii;
- in functie de sistemul de realizare a vibratiilor.

Daca se incearca clasificarea utilajelor vibratoare, pentru acestea se pot folosi diverse criterii si denumiri: [33, 35, 41, 45, 61, 67]

A/ Functie de nomenclatura sub care se gasesc in literatura de specialitate si actiunea lor asupra elementelor de infipt (piloti prefabricati, palplanse) se deosebesc:

- *vibratoare*, care imprima elementului o miscare de oscilatie unidirectionala in lungul axei sale, acestea fiind fixate rigid de element;
- *vibropercutoare*, care in afara oscilatiilor actioneaza asupra elementului prin ciocniri sau percutii.

B/ Dupa modul de actionare se intalnesc:

- utilaje vibratoare cu actionare electrica;
- utilaje vibratoare cu actionare hidraulica.

C/ Dupa frecventa de rotatie a excentricilor, vibratoarele pot fi:

- de inalta frecventa, cand turatia excentricilor este cuprinsa intre 700-3000 rotatii/ minut;
- de joasa frecventa, cand turatia excentricilor este de 300-500 rotatii/minut.

Aparitia utilajelor vibratoare este cunoscuta incepand din jurul anilor 1950, cunoscand o evolutie spectaculoasa pe plan mondial si cu eforturi sustinute si pe plan national la Institutul Politehnic din Timisoara in colaborare cu Ministerul Transporturilor.

2.5.2. Utilaje vibratoare pe plan mondial

In fosta URSS cercetarile fundamentale au condus la aparitia nu numai experimental ci si in productie pe santier a primelor generatoare de vibratii, in anii 1950.

S-a presupus initial ca frecventa nu joaca un rol important la infigerea pilotilor dar s-a ajuns experimental la certitudinea, ca frecventa influenteaza pozitiv aceste lucrari, frecventele mici si amplitudinile mari sunt in general mai bune la infigere in comparatie cu frecventele mari asociate cu amplitudini mici. Din pacate insa utilajele de frecventa joasa exercita vibratii mai puternice asupra pamantului decat utilajele cu frecvente mari, ceea ce face ca in apropierea cladirilor existente sa apara trepidatii ale acestora si sa nu se poata lucra.

Cele mai importante masini au fost vibratoarele de tip VP si VPU care au lucrat cu frecvente mici si cu elogatii mari. [37, 45, 52, 55, 57]

In Franta, au aparut in anii 1950 doua firme constructoare de masini vibratoare care lucrau cu:

- frecvente medii 2 – 30 Hz;
- 1200 ÷ 1800 oscilatii/minut;
- forte excitatoare 600 – 1200 KN.

Au aparut vibratoare de tip MG si DR. Vibratorul DR 60 permite trecerea elementelor prin mijlocul lor si se utilizeaza la infigerea tevilor metalice ca tubaj pentru realizarea pilotilor turnati la fata locului.

Tipurile DR 60 sunt usor adaptabile datorita folosirii principiului cuplarii realizandu-se 3 × DR 60 si 4 × DR 60, functie de parametrii necesari.

In Japonia, utilajele vibratoare au aparut tot in deceniul 5 al secolului XX cu parametrii caracteristici asemanatori utilajelor din Europa Occidentala.

In SUA, primele utilaje bazate pe tehnica vibrarii au fost executate prin anii 1960 si au evoluat rapid, diferentiindu-se de cele prezentate prin frecvente 50 – 100 Hz care apartin de domeniul sonicului.

Experientele in domeniu au aratat ca eficienta la infigere creste odata cu cresterea vitezei de oscilatie, indeosebi in cazul in care sunt traversate straturi mai dure.

Pentru realizarea unor forte mai mari de oscilatie apar doua posibilitati:

- cresterea amplitudinii oscilatiilor prin cresterea masei excentricilor;
- cresterea frecventei oscilatiilor.

Toate tarile unde au aparut utilaje vibratoare au ales prima varianta, numai in America cea de a doua varianta, si anume cresterea frecventei pana s-a atins frecventa proprie a sistemului de oscilatie. Astfel iau nastere unde stationare in piloti.

2.5.3. Utilaje vibratoare in Romania

Tipurile de vibratoare realizate in Romania sunt asemanatoare cu cele prezentate, avand frecvente partial reglabile de la 7 – 50 Hz si forte excitatoare pana la 600 kN. Colectivul de geotehnica de la Facultatea de Constructii din Timisoara s-a preocupat de-a lungul timpului de proiectarea si realizarea unor tipuri de utilaje vibratoare de genul VP si AVP1, AVP 2, AVPP1, IVO – 1 si IFO – 1. [52, 55, 57]

In tabelul 2.3 se prezinta parametrii unor vibratoare romanesti realizate in prima etapa cu caracter experimental, realizate in colaborare cu Ministerul Transporturilor.

Tabelul 2.3. Vibratoare romanesti realizate pentru experimentari in conditii de santier

Parametrii	VE- 1	VE - 1	VE - 3	MTTc
Momentul static daNcm	180	2700	35	7207-26123
Numarul de oscilatii/minut	1000-1800	1000	1500-3200	382; 476; 573; 660; 766
Forta excitatoare kN	20-65	210	0,87-3,92	115-1010
Puterea motor electric KW	5,8	28	1,7-3,2	190
Greutatea totala kg	700	1500	90	8500

In continuare se vor prezenta in detaliu utilajele si echipamentele bazate pe tehnica vibrarii si folosite la executarea lucrarilor de fundatii.

2.5.3.1 Agregatul de vibropresare VVPS 20/11

La agregatele de vibropresare VVPS 20, fortele de oscilatie sunt realizate de un vibrator cu suprasarcina sprijinita pe arcuri. Deosebirea sa fata de cele mentionate anterior consta in faptul ca la agregatul VVPS 20/11, in afara de fortele de oscilatie asupra pilotului in momentul infingerii se transmite o solicitare verticala generata nu numai de greutatea proprie a vibratorului si pilotului, ci si de o forta de presare transmisa prin niste cabluri, marind astfel presiunea pe sectiunea transversala a elementului de infipt si in consecinta sporind eficacitatea vibratorului. [18, 41, 45, 56]

Solicitarea de presare suplimentara, se transmite asupra pilotului, printr-un sistem cu arcuri, cu ajutorul unui troliu mecanic.

Agregatul VVPS 20/I I (fig. 2.3.) consta din urmatoarele parti principale:

- cadrul frontal (1)
- cadrul posterior (2)
- sageata (3) vibratorul (4)
- troliul electric (5) cu un sistem de scripeti cu cablu
- generator (6)
- electromotorul troliului (7)
- electromotorul vibroinfingatorului (8)

Cadrul frontal si cel posterior - constructia portanta de baza a agregatului - se prind rigid la tractor si servesc in fond la fixarea sagetii si troliului.

Sageata serveste ca instalatie de ridicare si dirijare pentru vibrator si este o ferma cu zabrele sudate.

Vibroinfingatorul - organul principal de lucru - este un vibro-mecanism cu actiune dirijata, cu suprasarcina pe arcuri, avand unatoarele caracteristici tehnice:

- frecventa de oscilatie 700 - 900 rot/min
- forta de oscilatie 20.000 daN

Dimensiunile de gabarit ale vibratorului sunt:

- lungimea 1750 mm;
- latimea 1160 mm;
- inaltimea 2640 mm.

Electromotorul este asincron de tip AK- 82-2 de 40 KW, 380V, 83,3A, 965 rot/min. Vibratorul in pozitie de lucru este suspendat de carlig.

Dirijarea tuturor organelor de lucru ale agregatului este concentrata in cabina tractorului.

Agregatul de vibropresare este montat pe cadrul unui tractor cu senile.

Ca organ de lucru principal al agregatului este vibratorul. La cuplarea motorului troliului, cu ajutorul cablului, vibratorul se poate deplasa liber pe verticala in profilele U de ghidaj ale sagetii (separat sau impreuna cu pilotul) Motoarele vibratorului primesc energia electrica de la un generator printr-un tablou de distributie instalat in cabina tractorului.

Generatorul - este montat pe un cadru si pus in functiune de motorul tractorului cu ajutorul axului de schimbare a puterii. In procesul de lucru

vibroinfiguratorul se ridica odata cu pilotul, dupa care se cupleaza motorul vibratorului si pilotul se infige la adancimea din proiect.

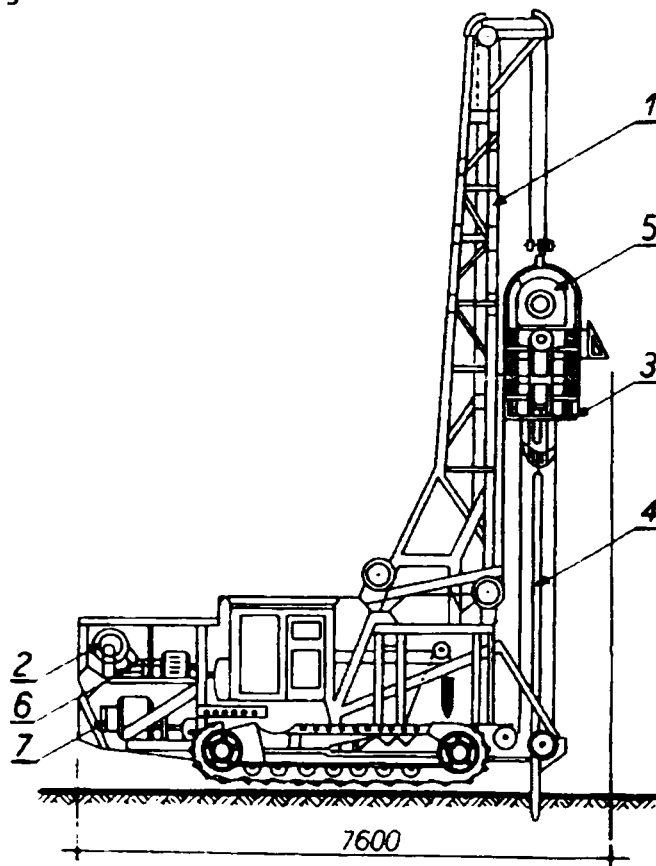


Fig. 2.3. – Agregatul VVPS 20/11 –echipat pentru realizarea pilotilor din balast

- 1 - lumanare de ghidaj;
- 2 - troliu mecanic;
- 3 - generator de vibratii;
- 4 - tub de inventar;
- 5 - motorul vibrogeneratorului;
- 6 - troliu de manevra;
- 7 - generator de curent electric

Caracteristicile tehnice ale agregatului sunt:

- forta de oscilatie maxima de 200 kN;
- solicitarea de presare maxima 110 kN;
- viteza de infigere a pilotului de 2,13-2,43 m/min;
- presiunea specifica asupra pamantului de 6,9 kN/cm² ;
- viteza admisibila de deplasare a agregatului de 2,3b-5,40km/h;
- puterea motorului tractorului este de 100 CP.

Dimensiunile agregatului in pozitie de lucru:

- lungimea 7600 mm;
- latimea 2460 mm;
- inaltimea 11570 mm;
- greutatea totala 23.000 daN.

2.5.3.2. Agregatul de vibropresare AVP -1

Agregatul de vibropresare AVP-1 (fig. 2.4) este un utilaj al carui principiu de functionare se bazeaza pe vibratii dirijate, respectiv percutii dirijate, combinate cu o presare aditionala. [41, 45, 56]

Agregatul este destinat realizarii unor lucrari de fundatii pe terenuri de portanta redusa cum ar fi:

- infigerea pilotilor prefabricati cu lungime de pana la 8m si sectiune 30/30 cm;
- realizarea pilotilor din beton simplu sau beton armat, turnati la fata locului cu sau fara bulb;
- realizarea coloanelor din balast, var, nisip, zgura executate la fata locului;
- introducerea si smulgerea palplanselor metalice sau din beton armat;
- introducerea coloanelor prefabricate de fundare pentru stalpii liniilor electrice aeriene;
- compactarea in adancime a pamanturilor nisipoase prin vibrointepare;
- compactarea pamanturilor la suprafata cu placa vibranta cu presare stationara pe suprafete mici.

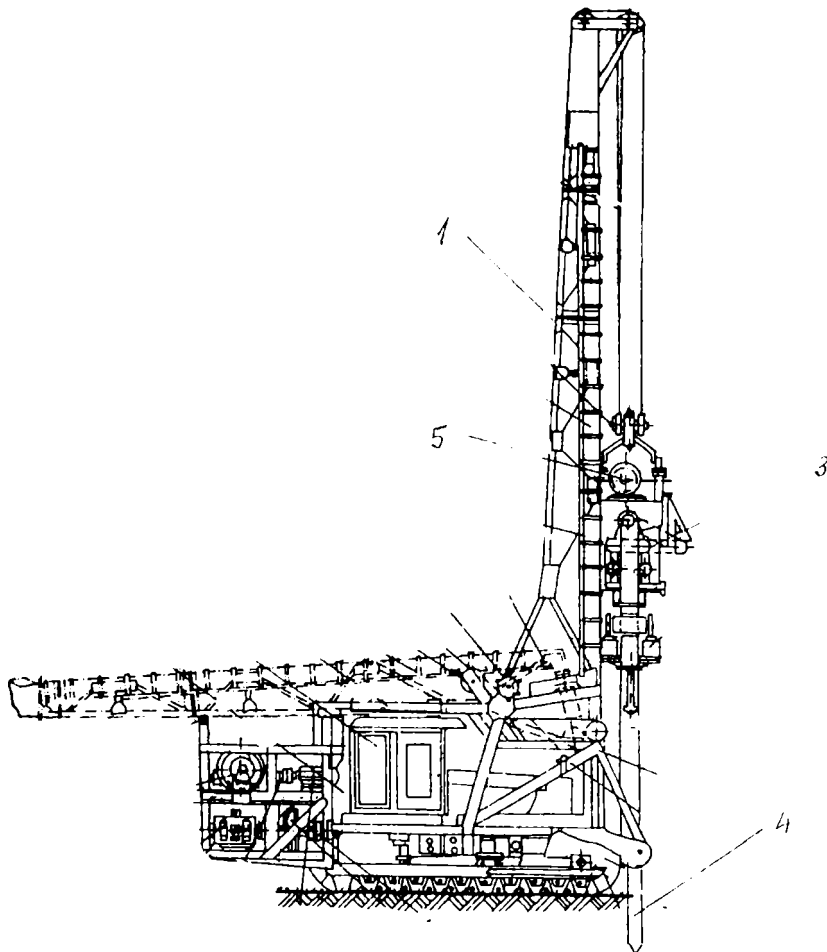


Fig. 2.4. Agregatul de vibropresare AVP-1

Agregatul AVP-1 are autonomie de lucru, deoarece nu necesita utilaje auxiliare pentru manipularea pilotului la prinderea sa de vibrogenerator si este independent de sursele de energie electrica.

Caracteristicile tehnice generale sunt:

- marca MECON;
- tipul AVP-1;
- modelul tractorului purtator S-1500;
- garda de sol 350 mm.

Dimensiunile de gabarit:

- in pozitie de transport lungime × latime × inaltime:
7.980 × 2.650 × 3.490 mm;
- in pozitie de lucru:
7.980 × 2.650 × (11.620 + 2.000) mm;

Stabilitatea cu lumanarea ridicata si vibrogeneratorul in pozitie inferioara:

- in plan longitudinal maxim 23;
- in plan transversal maxim 18.

Presiunea pe teren 0,652 daN/cm²

Masa vibrogeneratorului 28.000 kg

Fora perturbatoare

- treapta 1 8.450 daN;
- treapta 2 11.800 daN;
- treapta 3 21.000 daN.

Fora maxima de apasare 11.000daN

Lungimea maxima a echipamentului de lucru

- cu lumanare obisnuita 7m;
- cu lumanare prelungita 9m.

3. COMPORTAREA PAMANTURILOR LA ACTIUNEA VIBRATIILOR

3.1. Consideratii generale

In perioada de inceput a dezvoltarii dinamicii pamanturilor cercetarile teoretice si experimentale au fost canalizate in general numai intr-o singura directie, respectiv aceea de a stabili si de a perfectiona continuu metodele de proiectare si de executie, prin care stabilitatea masivelor de pamant, respectiv a constructiilor fundate pe acestea, sa fie asigurata si la actiuni dinamice, generate fie de surse mecanice (masini), fie de fenomene fizico-geologice naturale (miscari seismice) sau artificiale (explozii).

Realizarea acestui deziderat s-a facut si se face in practica inginereasca, dupa cum urmeaza:

- in prima faza adoptarea unor masuri prin care efectul actiunii dinamice sa se reduca;

- iar a doua prin dimensionarea si alegerea unor solutii constructive care sa poata prelua solicitarea dinamica in conditii de stabilitate si de functionare normala. Este evident ca pentru ambele cai, certitudinea realizarii dezideratului propus este conditionata in mare masura, de modul in care sunt cunoscute si stapanite proprietatile dinamice ale terenului de fundare, respectiv modificarile pe care le sufera acesta sub influenta incarcarilor dinamice.

Pe masura dezvoltarii dinamicii pamanturilor, cercetarile si studiile s-au diversificat din ce in ce mai mult, lucru favorizat pe de o parte de insasi rezultatele obtinute si conditionat pe de alta parte, de necesitate practicii ingineresti de constructii. De asemenea, profilarea in cadrul dinamicii pamanturilor a unei noi directii de cercetare si de aplicare in practica, *aceea a folosirii tehnicii vibrarii la executarea diverselor lucrari de fundatii si de geotehnica, a diversificat si intensificat si mai mult cercetarile in aceasta directie.*

3.2. Influenta actiunilor dinamice asupra unor caracteristici geotehnice ale pamanturilor

3.2.1. Influenta vibratiilor asupra rezistentei la forfecare a pamanturilor necoezive

Resistenta la forfecare a pamanturilor nisipoase este conditionata in cea mai mare masura de fortele de frecare care se manifesta pe suprafetele de contact ale particulelor componente. Coeziunea aparenta care poate sa apara in anumite conditii de umiditate, mai ales la nisipurilor fine, are un aport destul de redus in ceea ce priveste marimea rezistentei la forfecare, respectiv stabilitatea pamanturilor nisipoase.

Dupa cum se cunoaste, in conditii statice rezistenta la forfecare a pamanturilor variaza liniar in functie de valoarea presiunii normale aplicate. Aceasta dependenta este pusa in evidenta de legea lui Coulomb, care pentru pamanturile necoezive se exprima prin relatia:

$$\tau_S = \sigma \operatorname{tg} \varphi_S = \mu_S \sigma, \quad (3.1.)$$

unde:

- τ_S -rezistenta la forfecare statica;
- σ -presiunea normala;
- φ_S - unghiul de frecare interioara pentru conditii statice de determinare statica;
- $\mu_S = \operatorname{tg} \varphi_S$ - coeficientul de freare interioara pentru conditii statice de determinare statica.

Primele studii si cercetari experimentale, privind influenta vibratiilor asupra rezistentei la forfecare a pamanturilor nisipoase, au fost facute de D.D. Barkan si colaboratorii sai [2], [14], [23]. In mare parte la aceste incercari solicitarea dinamica a constat din vibratii verticale, generate de vibratoare cu mase excentrice. Concluziile rezultate au aratat ca la forfecarea nisipurilor in conditii dinamice, adica in prezenta vibratiilor, are loc o reducere a rezistentei la forfecare, respectiv a frecarii interioare, fata de conditiile statice. Aceasta reducere este functie de o serie de parametri, care definesc atat natura pamantului, cat si regimul dinamic la care are loc forfecarea.

De asemenea a rezultat tot ca o concluzie de principiu ca si in cazul forfecarii dinamice, relatia de dependenta dintre efortul de forfecare si presiunea normala isi pastreaza caracterul linear (fig. 3.1), ca si la forfecarea statica. [14, 23]

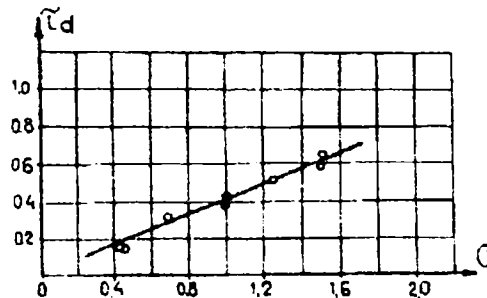


Fig. 3.1. Variatia rezistentei la forfecare dinamica in functie de presiunea normala ($f = 46$ Hz; $A = 0,30$ mm)

Conform acestei ultime concluzii, rezistenta la forfecare dinamica a pamaturilor nisipoase, se poate exprima printr-o relatie de forma:

$$\tau_d = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi_d + \tau_0 = \mu_d \sigma + \tau_0; \quad (3.2.)$$

unde :

- τ_d -rezistenta la forfecare dinamica;
- σ - presiunea normala;

Φ_d - unghiul frecarii interioare pentru conditii dinamice de determinare;
 μ_d - coeficientul frecarii interioare pentru conditii dinamice de determinare;
 τ_0 - rezistenta initiala la forfecare, care se poate datora atat unor eventuale forte de coeziune, cat si rezistentelor parazitare ale aparatului de incercare.

3.2.2. Modul de variatie a rezistentei la forfecare dinamica, in functie de parametri vibratiilor

Studiindu-se modul de variatie a rezistentei de forfecare dinamica, [13, 14, 17, 24, 31] respectiv a coeficientului de frecare interioara, in functie de amplitudinea vibratiilor la frecventa constanta, a rezultat ca aceasta descreste monoton, odata cu cresterea amplitudinilor (fig. 3.2).

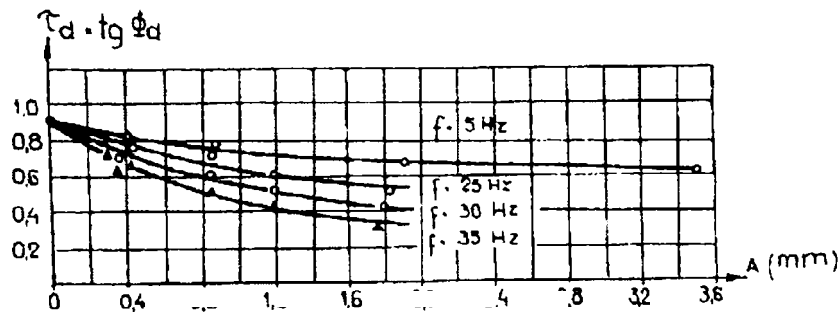


Fig. 3.2. Variatia coeficientului de frecare (μ_d) in functie de amplitudinea vibratiilor

In ceea ce priveste variatia coeficientului de frecare in functie de frecventa, pentru o acceleratie data a vibratiilor, aceasta este mai complexa, depinzand in mare masura si de granulozitatea nisipurilor (fig. 3.3).

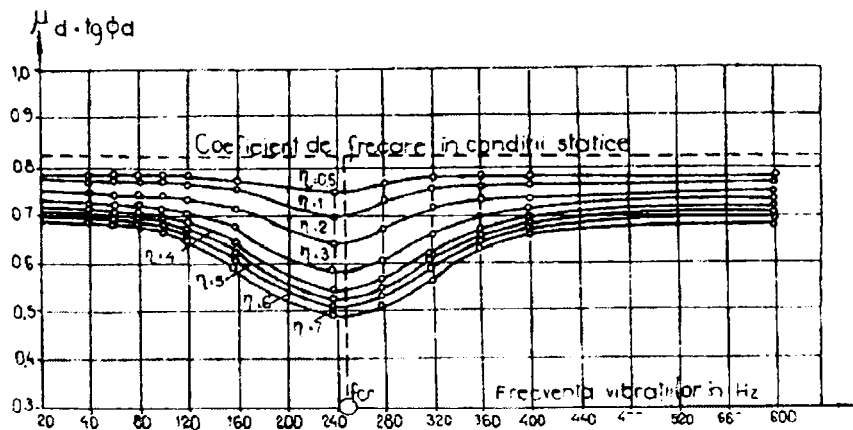


Fig. 3.3. Variatia coeficientului de frecare (μ_d) in functie de frecventa vibratiilor

Dupa cum se poate observa din fig. 3.3 (corespunzatoare unui nisip de granularitate medie, $d_{med}=0,75$ mm), pe masura cresterii frecventei, coeficientul de frecare scade continuu atingand un minim, dupa care pentru frecvente mai mari

incepe sa creasca din nou, tinzand catre o valoare constanta. Frecventa corespunzatoare valorii minime a coeficientului de frecare, a fost numita "frecventa critica", marimea ei fiind diferita de la un nisip la altul, functie de marimea fragmentelor de nisip.

Cunoasterea "frecventei critice" pentru anumite fractiuni granulo-metrice creeaza posibilitatea de a stapani mai bine fenomenele care au loc in pamanturile necoezive in timpul actiunilor dinamice, putandu-le dirija mai usor in scopurile practice urmarite. Acest lucru este de mare importanta in special la alegerea parametrilor utilajelor vibratoare folosite pentru executarea unor lucrari geotehnice si de fundatii (forari, infingeri de piloti si palplanse etc.)

Constatarile legate de variatia coeficientului de frecare dinamic (μ_d) in functie de acceleratia vibratiilor (fig. 3.4) arata ca aceasta scade pe masura cresterii acceleratiei vibratiilor. Pentru valori relativ mari ale acceleratiei vibratiilor ($a = 6g \div 7g$), aceasta scadere devine foarte mica, incat se poate considera ca valoarea coeficientului de frecare tinde catre o limita constanta.

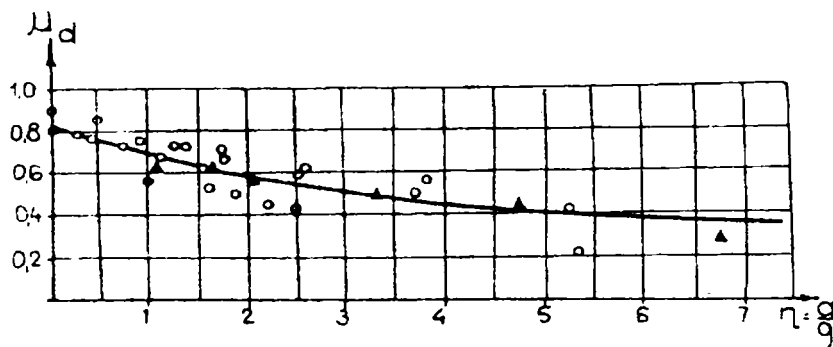


Fig. 3.4. Variatia coeficientului de frecare (μ_d) in functie de acceleratia vibratiilor ($\eta = \frac{a}{g}$)

3.2.2.1. Cercetari experimentale

Cercetari in detaliu referitoare la modul de variatie a rezistentei de forfecare dinamica a nisipurilor in functie de acceleratia vibratiilor au fost efectuate in cadrul unor experimentari efectuate de mai multi cercetatori. [2] [13, 17, 24, 25, 31, 48]

Pentru a pune in evidenta reducerea rezistentei la forfecare dinamica, s-au executat comparativ si incercari statice. In scopul de a crea aceleasi conditii de indesare si la incercari statice, probele pregatite si incercate cu aceleasi presiuni normale au fost supuse aceluiasi regim de vibrare, timpul de vibratii fiind egal cu durata incercarii de forfecare dinamica aferenta. Dupa aceasta operatie s-a facut incercarea de forfecare statica evident fara vibratii.

3.2.2.2. Rezultatele incercarilor experimentale

La o prima serie de cercetari gradul de indesare a nisipului folosit a fost $I_D=0,43$ si s-a urmarit variatia rezistentei la forfecare dinamica pentru un domeniu de variatie a raportului dintre acceleratia vibratiilor si acceleratia gravitacionala (η), cuprins intre 0,10 si 0,40 (adica pentru acceleratii ale vibratiilor $a = 0,10g - 0,40g$). Unghiul de dierctie a fortei de oscilatie cu orizontala (α), a avut valorile : $0^\circ, 30^\circ,$

60° si 90°. Durata incercarilor de forfecare a fost cuprinsa intre 25" si 30", presiunea verticala 1,5 daN/cm², iar amplitudinea variatiilor a fost egala cu 1 mm.

Rezultatele acestei prime serii de cercetari sunt prezentate in fig. 3.5 si fig. 3.6.

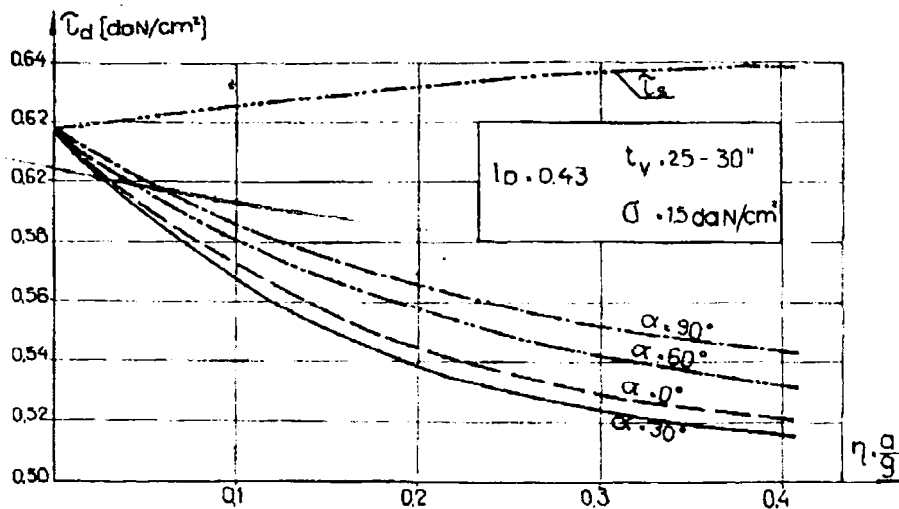


Fig. 3.5. Variatia rezistentei la forfecare (τ_d) in functie de acceleratia vibratiilor ($\eta = \frac{a}{g}$), si unghiul (α) de actionare a fortei oscilatoare fata de orizontala (seria I de incercari)

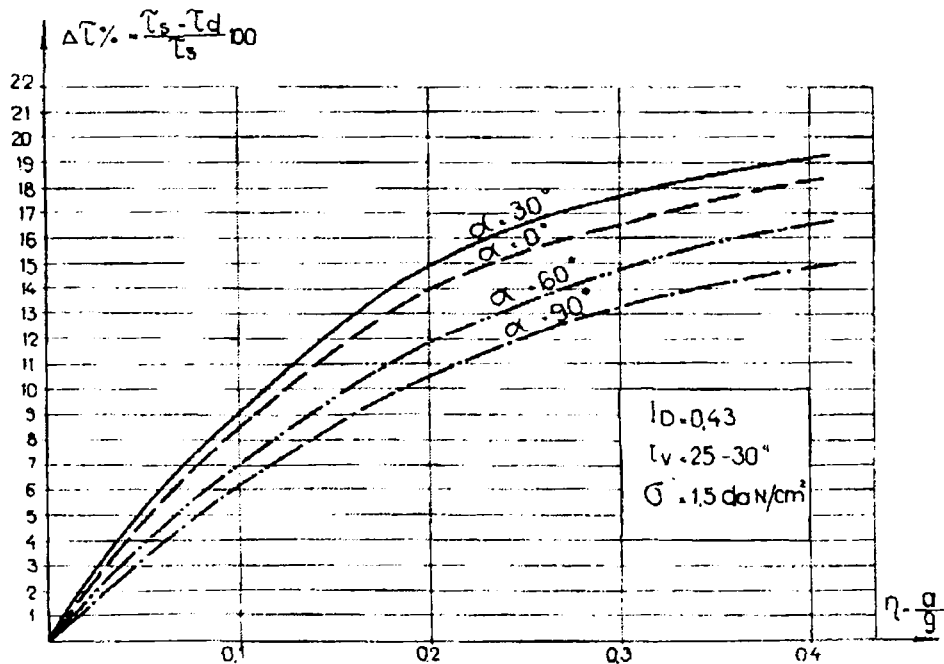


Fig. 3.6. Diferenta procentuala dintre rezistenta la forfecare statica si dinamica, in functie de raportul ($\eta = \frac{a}{g}$), si unghiul α (seria I de incercari)

In a doua serie de cercetari sistematice efectuate, s-a urmarit variatia rezistentei la forfecare dinamica in functie de acceleratia vibratiilor, pentru valori mai mari ale acesteia, respectiv raportul η (0,368 ; 0,584 ; 0,862). Unghiul fortei de oscilatie fata de orizontala (α) s-a luat intre 0° si 90° , iar amplitudinea a avut valoarea de 1,70 mm.

S-a folosit acelasi nisip saturat, inasa cu o stare de indesare creata, mai buna, ($I_D = 0,62$). Presiunea normala cu care s-au incarcat probele a fost de $0,5 \text{ daN/cm}^2$.

Rezultatele obtinute sunt prezentate in graficele din fig. 3.7 si fig. 3.8.

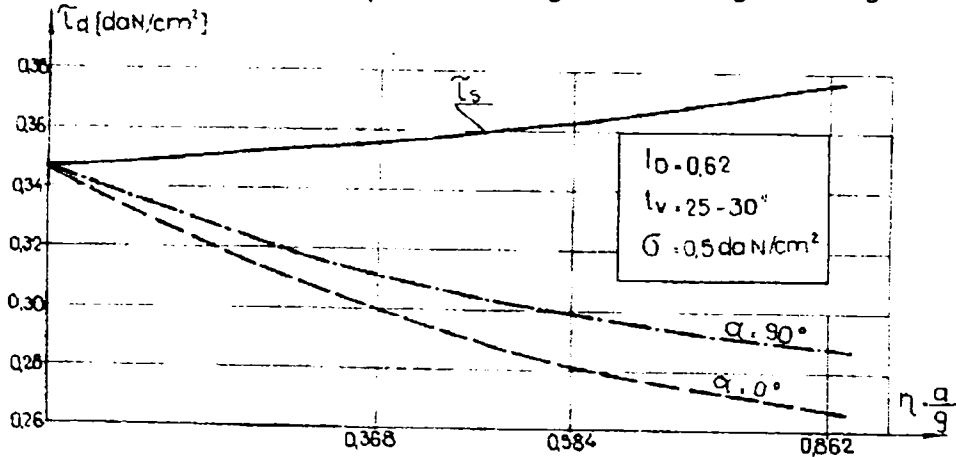


Fig. 3.7. Variatia rezistentei la forfecare (τ_d) in functie de acceleratia vibratiilor ($\eta = \frac{a}{g}$), pentru $\alpha = 0^\circ$ si 90° (seria II de incercari)

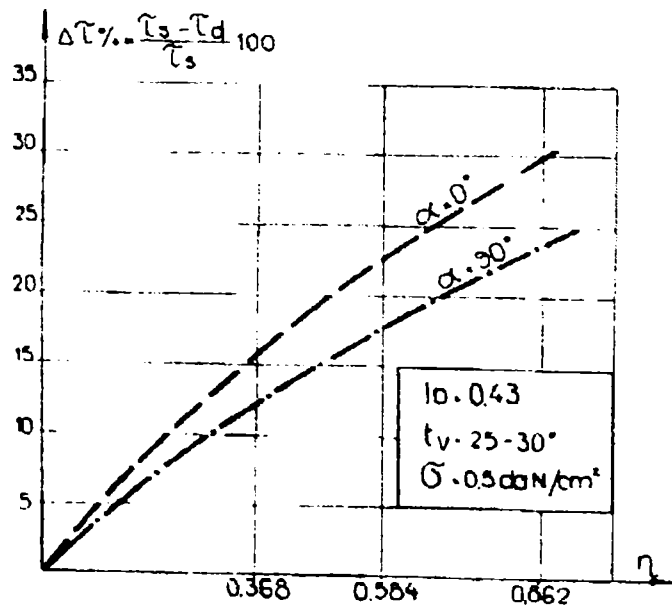


Fig. 3.8. Diferenta procentuala dintre rezistenta la forfecare statica si dinamica in functie de ($\eta = \frac{a}{g}$) pentru $\alpha = 0^\circ$ si 90° (seria II de incercari)

Analiza rezultatelor prezentate in aceste grafice, conduce la concluzia certa ca rezistenta la forfecare determinata in regim dinamic incepe sa scada in comparatie cu cea corespunzatoare regimului static, chiar si la valori relativ mai mici ale acceleratiei vibratiilor.

O concluzie foarte importanta pentru practica, subliniata doar ca ipoteza de cercetatori [17, 23, 24, 25], care a rezultat, este aceea ca reducerea cea mai accentuata a rezistentei la forfecare dinamica, are loc pentru un unghi de inclinare a directei de oscilatie cu orizontala, apropiat ca valoare de unghiul frecarii interioare a materialului incercat (in cazul de fata $\alpha = 30^\circ$).

Se mai poate sublinia si faptul ca reducerea marimii lui τ_d este mai accentuata pentru vibratii horizontale ($\alpha = 0^\circ$), fata de cele verticale ($\alpha = 90^\circ$). A rezultat de asemenea, ca la o valoare mai mare a raportului η , respectiv a acceleratiei vibratiilor ($a \cong 1g$), reducerea este mai pronuntata (fig. 3.6 – pentru $\eta = 0,862$, $\Delta\tau$ atinge valori de cca 30 %).

Urmarind valoarea deformatiei orizontale in momentul forfecarii probei de nisip, a rezultat ca aceasta se reduce, pe masura ce creste raportul η , cu o valoare aproape constanta. Acest lucru se poate explica prin transformarea masei de nisip saturat intr-o masa a carei vascrozitate se reduce pe masura cresterii intensitatii vibratiilor. Din urmarirea deformatiei pe verticala, a rezultat ca in timpul forfecarii dinamice de regula are loc o tasare continua a nisipului, a carei intensitate depinde de parametrii vibratiilor, de starea de indesare initiala, precum si de valoarea presiunii normale aplicate.

Unii cercetatori [25], in urma studiilor si incercarilor experimentale intreprinse asupra rezistentei la forfecare a pamanturilor, au ajuns la concluzia ca in modul de variatie a acesteia in functie de acceleratia vibratiilor, se pot deosebi trei domenii distincte (fig 3.9). Un prim domeniu corespunde unor valori mici ale acceleratiei vibratiilor, apropiate de zero, in care scaderea rezistentei la forfecare dinamica, fata de cea statica este relativ redusa, fiind mai putin importanta din punct de vedere practic.

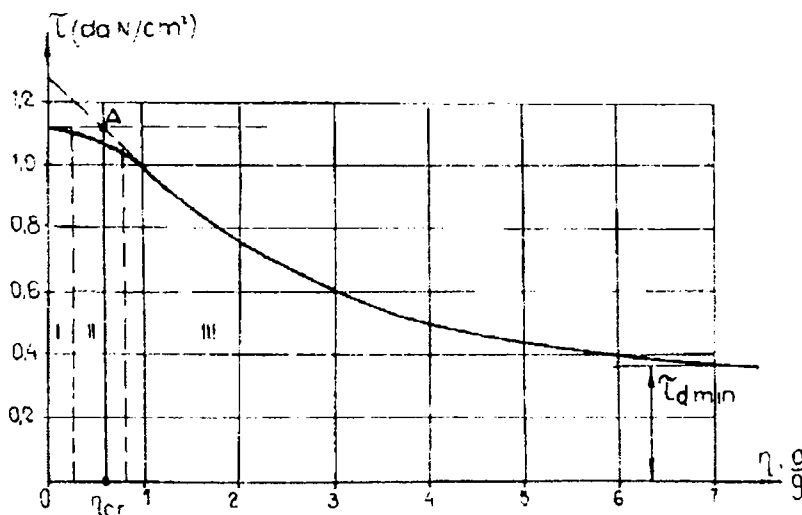


Fig. 3.9. Domeniile de variatie a dependentei $\tau_d = \varphi \left(\eta = \frac{a}{g} \right)$ pentru pamanturi necoezive ($\sigma = 1,5 \text{ daN/cm}^2$)

In al doilea domeniu corespunzator unor acceleratii ale vibratiilor $a < 1g$ ($0,1g - 0,8g$, functie de natura pamantului si de valoarea presiunii normale σ), reducerea se accetueaza, dar in general nu depaseste 10-25 %. Incepand de la acceleratii in jur de $0,8g - 1,0g$, incepe cel de al treilea domeniu, in care reducerea rezistentei la forfecare dinamica este pronuntata, atingand o valoare minima ($\tau_d \min$) pentru valori ale acceleratiei egale cu $6g - 7g$. Din unele experiente [21], [29], au rezultat reduceri ale rezistentei la forfecare dinamica (in domeniul III) in jur de 50 % si chiar mai mult, fata de cea statica.

Pentru scopuri practice este suficient sa se analizeze numai doua domenii de reducere a rezistentei de forfecare dinamica, respectiv limita dintre ele, pentru care se foloseste denumirea "acceleratie critica" sau "prag critic la acceleratiei relative"

$\left(\eta = \frac{a}{g}\right)$. Aceasta valoare se poate determina prin abscisa punctului A (fig . 3.9.)

determinat de intersectia tangentei la curba de variatie din domeniul III, cu ordonanta corespunzatoare rezistentei la forfecare statica. Un asemenea procedeu conduce la erori neinsemnate din punct de vedere practic in determinarea lui τ_d , deoarece domeniul al doilea se caracterizeaza printr-o gama mai restransa de acceleratii, iar in primul domeniu reducerea este relativ neinsemnata.

Din prelucrarea unor date experimentale, obtinute pentru diverse valori ale presiunii normale σ , a rezultat ca variatia $\tau_d = \varphi(\eta)$, dupa depasirea pragului critic al acceleratiei relative (η_{cr}), se poate exprima sub forma unei relatii exponentiale de forma:

$$T_d = T_d \min + (T_S - T_d \min)^{-\beta(\eta - \eta_{cr})} \quad (3.3.)$$

unde:

$T_d \min$ - rezistenta la forfecrae dinamica minima;

T_S - rezistenta la forfecare statica determinata pentru aceeasi valoare a presiunii normale (σ);

η_{cr} - pragul critic al acceleratiei relative;

β - coeficient exponential.

Cei trei parametri de baza de care depinde variatia, respectiv reducerea rezistentei la forfecare dinamica conform relatiei exponentiale sunt la randul lor dependenti de valoarea presiunii normale (fig. 3.10). Prezenta "pragului critic al acceleratiei relative" (η_{cr}), in procesul de reducere a rezistentei la forfecare sub actiunea vibratiilor, din punct de vedere fizic reprezinta limita la care apar schimbari calitative in structura interna a pamantului. S-a stabilit ca dependenta acestei limite (η_{cr}) de marimea presiunii normale raspunde unei legi logaritmice de forma:

$$\eta_{cr} = \eta_0 + k_1 \log \left(1 + \frac{\sigma}{\sigma_0}\right) \quad (3.4.)$$

unde:

η_0 - pragul critic al acceleratiei relative, pentru $\sigma = 0$;

k_1 - coeficient experimental care caracterizeaza tipul si natura pamantului;

$\sigma = 0 - 1 \text{ daN/cm}^2$

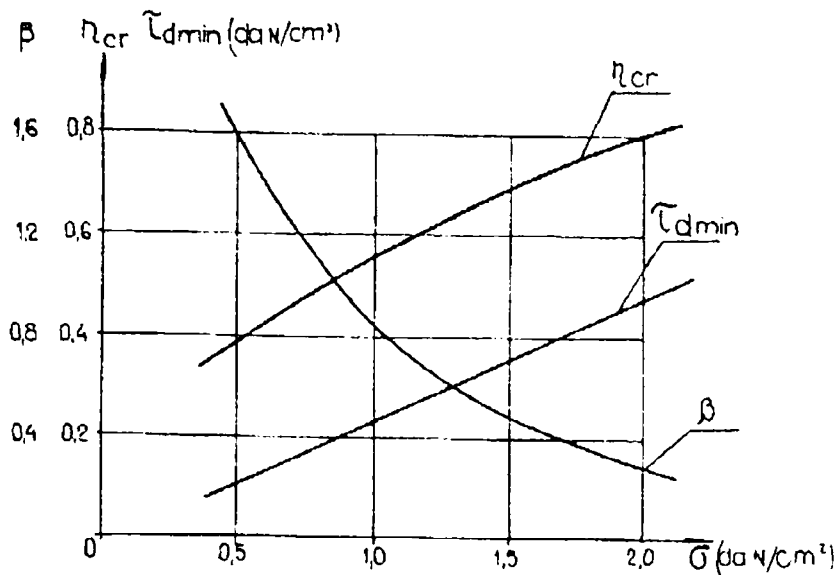


Fig. 3.10. Variatia parametrilor η_{cr} , β si $\tau_{d\ min}$ in functie de presiunea normala

In ceea ce priveste dependenta $\beta = \varphi(\sigma)$, prelucrarea datelor experimentale au dus la concluzia ca acesta se supune unei legi de variatie exponentiala, de forma:

$$\beta = \beta_0^{-k_2 \sigma} \quad (3.5.)$$

unde:

- β_0 - coeficient exponential al rezistentei la forfecare dinamic pentru $\sigma = 0$;
- k_2 - coeficient experimental dependent de tipul si natura pamantului.

Dupa cum se poate observa si din fig. 3.8, influenta coeficientului exponential (β) asupra rezistentei la forfecare dinamica este mai accentuata, decat a pragului critic al acceleratiei relative (η_{cr}). Prezenta acestui coeficient in relatia analitica care caracterizeaza variatia rezistentei la forfecare dinamica (la vibratii), precum si dependenta lui pronuntata de presiunea normala, oglindeste faptul ca prin comprimarea statica, pe langa marirea stabilitatii legaturilor de contact dintre fragmente (ceea ce conditioneaza marirea valorii lui η_{cr}), se schimba si caracterul proceselor care se desfasoara in structura pamantului, dupa distrugerea in parte a acestor legaturi. Acest lucru este pe deplin logic, deoarece prin distrugerea legaturilor de contact, miscarea relativa a fragmentelor depinde de valoarea presiunii normale care actioneaza asupra lor.

Al treilea parametru de care depinde modul de variatie a rezistentei la forfecare este marimea $\tau_{d\ min}$ pentru care dependenta $\tau_{d\ min} = \varphi(\sigma)$ se poate considera liniara. Existenta unei limite minime a rezistentei la forfecare dinamica, demonstreaza ca prin distrugerea legaturilor initiale de contact (atunci cand acceleratia relativa a vibratiilor atinge valoarea η_{cr}), pe suprafata de forfecare intre fragmentele componente ale pamantului continua sa existe interactiuni, a caror intensitate depinde de valoarea presiunii normale.

La vibratii intense, cu acceleratii care se apropie sau chiar depasesc valoarea acceleratiei gravitationale ($\eta \geq 1$), cand are loc distrugerea starii structurale si cand se produc deplasari reciproce ale particulelor, pamantul poate fi considerat

ca un mediu vascos, la care rezistenta la forfecare este determinata de frecarea interioara de natura vascoasa si nu uscata, aceasta mai ales la nisipuri umede si saturate, sau la cele cu liant argilos sau prafos.

In ceea ce priveste existenta unei dependente liniare intre rezistenta la forfecare dinamica si presiunea normala, de asemenea, s-au adus unele amendamente [17], [21], in sensul ca aceasta se pastreaza numai pentru un domeniu limitat de valori ale presiunii normale. Limita inferioara a acestui domeniu este zero, iar limita superioara depinde de o serie de parametri, care se refera atat la natura si starea pamantului cat si la regimul dinamic de incercare.

In conditii de forfecare statica, dupa cum se stie, s-a constatat ca independent de starea initiala de indesare a pamanturilor necoezive, in procesul de forfecare are loc un fenomen de reasezare a fragmentelor, astfel incat sub aceiasi valoare a presiunii normale, in zona fasiei de forfecare se realizeaza una si aceiasi stare de indesare. Acest lucru rezulta prin simpla comparare a dependentei dintre rezistenta la forfecare si deformatia orizontala (deplasarea pe orizontala a casetei), obtinuta la forfecarea statica a unui nisip indesat, cu cea corespunzatoare unui nisip afanat (fig. 3.11). Faptul ca rezistenta la forfecare statica tinde catre una si aceiasi valoare, comuna pentru nisipurile indesate si pentru cele afanate, denota ca in zona fasiei de forfecare porozitatea finala este aceiasi. Aceasta porozitate poarta denumirea de *porozitate critica*.

In conditii de forfecare dinamica complexitatea fenomenelor care insotesc procesul forfecarii este mai mare. Astfel, prin supunerea unei probe de nisip la inceput unei forfecari statice care nu se desavarseste, ci se continua cu forfecare in conditii dinamice, iar in final din nou in conditii statice [17], pentru dependenta $\tau = \varphi(\Delta h)$ se obtine variatia din fig 3.12.

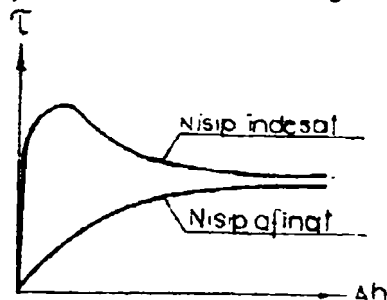


Fig. 3.11. Variatia $\tau = \varphi(\Delta h)$ la forfecarea nisipurilor in conditii statice

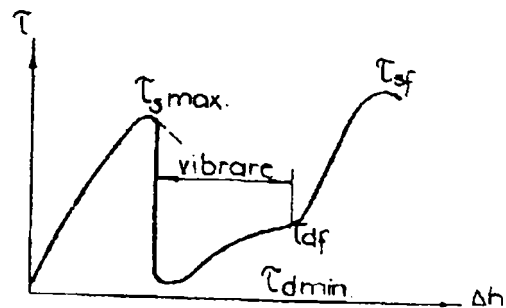


Fig. 3.12. Variatia $\tau = \varphi(\Delta h)$ la forfecarea nisipurilor in conditii dinamice

Din cercetarile teoretice si experimentale privind caracteristicile si comportarea pamanturilor necoezive la actiuni dinamice, in special cele legate de infigerea si extragerea din pamant a diverselor elemente (piloti, palplanse, tuburi), prin vibrare sau vibropercutii [25, 31, 33, 45, 48, 58, 99] rezulta destul de clar concluzia, verificata si de practica, *ca sub influenta vibratiilor, fortele, respectiv coeficientul real de frecare exteriora, se reduc in mod substantial in comparatie cu valorile corespunzatoare conditiilor statice*. Aceasta reducere se datoreaza distrugerii totale a starii structurale a nisipului din imediata vecinatate a elementului vibrant, fragmentele de nisip fiind supuse unor miscari intense de rostogolire. De asemenea, se poate sublinia si conturarea ideii ca, pentru studiul rezistentei la forfecare dinamica, *la nisipurile uscate este mai corespunzatoare ipoteza frecarii uscate, iar la nisipurile umede, saturate, precum si la cele cu continut argilos, ipoteza frecarii vascoase*.

Concluzia generala este ca reducerea rezistentei la forfecare a pamanturilor nisipoase supuse actiunii vibratiilor, contribuie la micșorarea rezistentei și stabilității lor.

Astfel în prima aproximatie se poate considera ca la vibrații de intensitate relativ redusă ($\eta < 0,1 \div 0,2$), când încă starea structurală a pamantului nu este distrusă, reducerea rezistentei la forfecare dinamică este determinată în mare parte de modificările periodice de scurtă durată ale stării tensionale ale mediului. Din punct de vedere practic în această situație, coeficientul de frecare respectiv unghiul de frecare interioară se pot considera cu o oarecare aproximatie ca fiind constante.

La vibrații intense (cu accelerații apropiate și mai mari decât accelerația gravitațională), când starea structurală a pamantului nisipos este distrusă și au loc deplasări reciproce intense a fragmentelor, se poate considera ca pamantul nisipos primește proprietățile unui mediu vascos, iar rezistența la forfecare este determinată de reducerea frecărilor interioare de natură vascoasă. *Această ipoteză prezintă mare importanță în stabilirea și perfecționarea tehnologiilor de vibroînfigere sau vibroextragere, dat fiind faptul că în acest caz se folosesc de regula vibrații intense ($\eta > 1$).*

3.2.3. Influenta vibrațiilor asupra rezistenței la forfecare a pamanturilor coezive

La pamanturile argiloase, rezistența la forfecare este funcție de trei parametri principali : încărcarea verticală, frecarea internă și coeziunea. Sub forma cea mai generală [119], rezistența la forfecare pentru condiții statice de încărcare, poate fi exprimată conform legii lui Coulomb, astfel:

$$\tau_s = tg \varphi + c_c + c_p + c_w \quad (3.6.)$$

unde:

- τ_s - rezistența la forfecare statică;
- φ - unghiul de frecare interioară;
- c_c - coeziunea specifică secundară (de cimentare);
- c_p - coeziunea specifică primară (datorată forțelor intermoleculare);
- c_w - coeziunea specifică aparentă (datorată capilarității).

Natura rezistenței la forfecare în general, și a pamanturilor argiloase în special, a fost și rămâne încă destul de mult controversată în literatura de specialitate, atât pentru condiții statice și cu atât mai mult pentru condiții dinamice de încărcare.

În literatura de specialitate tot mai mult se adoptă ideea că teoria Coulomb-Mohr, referitoare la rezistența la forfecare a pamanturilor, folosită pe scară largă în calculele ingineresti, nu reflectă pe deplin condițiile și fenomenele reale care apar la cedarea prin forfecare a pamanturilor. Parametrii rezistenței la forfecare, unghiul de frecare interioară și coeziunea specifică, determinate prin metodele de laborator cunoscute, reprezintă niste valori convenționale, care oglindesc mai mult modificările care au loc în structura probelor de pamant în timpul încercărilor de forfecare. Teoria clasică Coulomb-Mohr nu ține seama de toți factorii care influențează asupra rezistenței la forfecare a pamanturilor argiloase.

Deși problema influenței sollicitărilor dinamice, fie sub forma de vibrații, fie sub forma de cicluri pulsatorii, asupra rezistenței la forfecare a pamanturilor

argiloase, este poate chiar mai putin elucidata in comparatie cu pamanturile necoezive, din o serie de cercetari intreprinse a rezulat ca si in acest caz *are loc in general o reducere a rezistentei la forfecare*.

In urma unor incercari experimentale [17, 24, 25], s-a ajuns la concluzia ca prin vibrarea unei probe de argila cu structura nederanjata, aceasta isi pierde o parte din rezistenta sa la forfecare. Aceasta reducere a rezistentei la forfecare este pusa mai ales pe seama distrugerii legaturilor structurale, emitandu-se totodata si presupunerea ca la pamanturile argiloase scaderea fortelor de frecare sub influenta vibratiilor ar fi neinsemnata.

Analizand rezistenta la forfecare dinamica a pamanturilor argiloase, prin prisma fenomenelor de interactiune dintre faza solida (scheletul) si faza lichida, s-a incercat sa se explice natura fizica a proceselor care au loc in timpul forfecarii dinamice.

In acest sens s-a concluzionat [25], ca sub influenta vibratiilor particulele solide efectueaza miscari oscilatorii dezvoltand forte de inertie, care fac ca in punctele de contact sa apara in mod alternativ, eforturi de compresiune si de intindere. Aceste eforturi sunt preluate prin rezistenta peliculelor de apa legata fizic si numai dupa invingerea acestei rezistente, particulele solide pot oscila liber, se pot ciocni, producand si la paman-turile argiloase fenomene apropiate ca natura de cele corespunzatoare nisipurilor. Rezistenta legaturilor este slabita datorita faptului ca sub influenta vibratiilor o parte din apa legata fizic poate deveni apa libera.

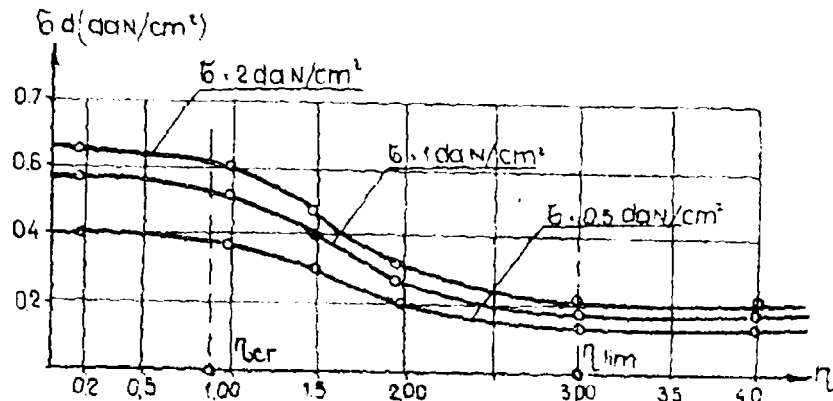
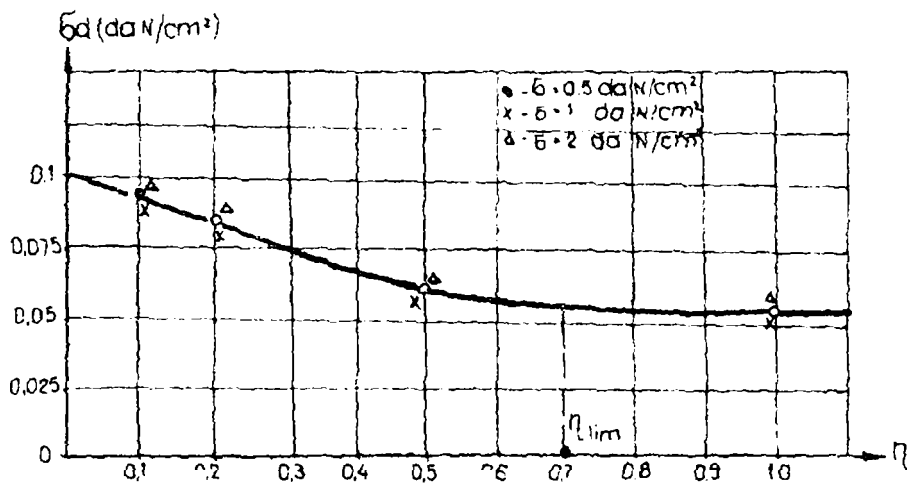
Ca urmare a slabirii sau distrugerii legaturilor are loc pe de o parte micsoararea frecarii interioare, iar pe de alta parte reducerea coeziunii. In acest caz frecarea interna se micsoareaza mai ales datorita rolului de lubrefiant intre particule, pe care-l joaca apa devenita libera, spre deosebire de nisipuri unde rolul preponderent il are, asa dupa cum s-a mentionat in paragraful anterior, presiunea de agitatie. Se poate sublinia de asemenea, ca modificarea rezistentei la forfecare, respectiv a parametrilor acesteia (Φ si c), sub influenta vibratiilor, se produce fara o schimbare a umiditatii pamantului argilos in ansamblul ei.

3.2.3.1. Variatia rezistentei la forfecare dinamica a pamanturilor argiloase in functie de acceleratia vibratiilor

Analizand dependenta rezistentei la forfecare dinamica a pamaturilor argiloase, in functie de acceleratia vibratiilor s-a ajuns la concluzia [21], ca ea se supune acelorasi legi de variatie, ca si la nisipuri (relatia 3.3), cu mentiunea ca valoarea "pragului critic al acceleratiei relative" (η_{cr}), este de regula mai ridicata.

Dupa depasirea "acceleratiei critice", rezistenta la forfecare descreste odata cu marirea aceleratiei vibratiilor (fig. 3.13.), tinzand sa se stabilizeze la o marime minima, pentru o anumita valoare limita a acceleratiilor vibratiilor (η_{lim}). Cele doua valori ale acceleratiei, "critica", (η_{cr}) si respectiv "limita" (η_{lim}), sunt functie de marimea umiditatii. Cu cat umiditatea ete mai mare, cu atat cele doua valori sunt mai reduse.

La umiditati apropiate de limita de curgere (w_L) portiunea orizontala a curbei de variatie $\tau_d = \varphi(\eta)$ dispare (fig. 3.14.), ceea ce arata ca vibratii de intensitate foarte redusa sunt suficiente pentru slabirea si distrugerea legaturilor structurale dintre particule.

Fig. 3.13. Variatia $\tau_d = \varphi(\eta)$ pentru argila grasa cu umiditate $w \approx 0,5 w_L$ Fig. 3.14. Variatia $\tau_d = \varphi(\eta)$ pentru argila grasa cu umiditate $w \approx 0,8 w_L$

S-a constatat, de asemenea, ca pentru o anumita valoare a presiunii normale, caracterul dependentei dintre rezistenta la forfecare dinamica a pamanturilor argiloase si acceleratia vibratiilor, se modifica mult functie de starea de umiditate a pamantului. Cu cat umiditatea pamantului este mai ridicata ca valoare apropiindu-se de limita de scurgere, cu atat cubele de variatie $\tau_d = \varphi(\eta)$, distincte in fig. 3.13., pentru diverse valori ale presiunii normale, tind sa se apropie si sa se suprapuna in final (fig. 3.14.). Aceasta inseamna ca la umiditate ridicata, rezistenta la forfecare devine independenta de presiunea normala, ceea ce se poate explica prin faptul ca in conditii de umiditate ridicata, frecarea devine foarte mica, iar reducerea rezistentei la forfecare se produce prin micorarea coeziunii sub influenta vibratiilor.

Modul si proportia in care se modifica cei doi parametri ai rezistentei la forfecare (Φ si c), in functie de intensitatea vibratiilor pentru stari diferite de umiditate, reiese mai clar daca se admite o dependenta liniara a variatiei $\tau_d = \varphi(\eta)$ si se analizeaza dreptele intrinseci corespunzatoare forfecarii dinamice la diferite regimuri de vibratii si umiditati.

Din fig 3.15. se observa ca dreptele intrinseci corespunzatoare forfecarii dinamice la regimuri de vibratii cu acceleratii reduse ($\eta < 1$) sunt foarte apropiate atat ca ordonate, cat si ca inclinare, de dreapta intrinseca corespunzatoare forfecarii statice. Acest lucru arata ca la vibratii slabe influenta acestora asupra modificarii parametrilor ϕ si c este neesentiala. Dreptele intrinseci obtinute pentru forfecari dinamice la regimuri de vibratii intense ca acceleratii, sunt atat translatate cat si rotite fata de dreapta intrinseca corespunzatoare forfecarii statice, indicand o micorare atat a coeziunii cat si a unghiului de frecare interioara.

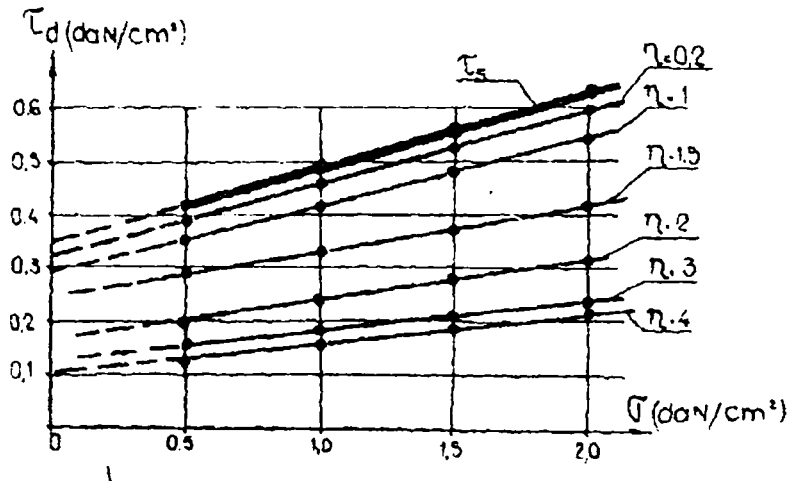


Fig. 3.15. Variatia $\tau_d = \phi(\eta)$ pentru diverse valori ale acceleratiei vibratiilor (η) (argila grasa cu umiditatea $w \approx 0,5 w_L$)

Pe de alta parte cu cat umiditatea este mai ridicata, cu atat influenta vibratiilor asupra unghiului de frecare interioara este mai redusa. Acest lucru rezulta si din analiza grafica din fig. 3.16, unde dreptele intrinseci corespunzatoare forfecarii dinamice a unei argile grase cu umiditate apropiata de limita de curgere ($w_L = 70\%$), au aceeasi inclinare ca si dreapta intrinseca corespunzatoare forfecarii statice, fiind doar translatate fata de aceasta.

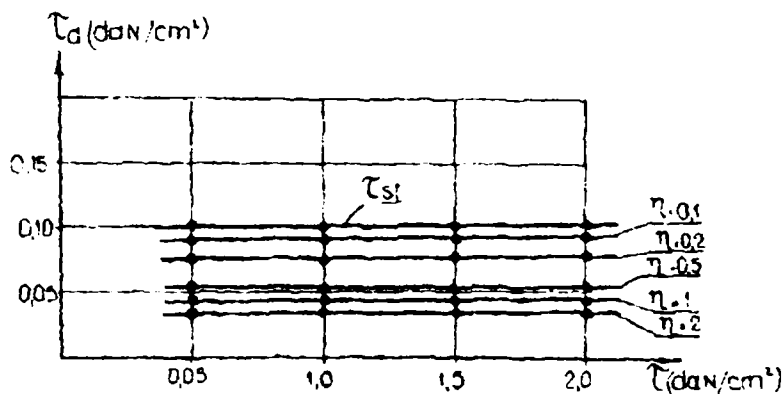


Fig. 3.16. Variatia $\tau_d = \phi(\sigma)$ pentru diverse valori ale acceleratiei vibratiilor (η) (argila grasa cu umiditatea $w \approx 0,8 w_L$)

Avand in vedere concluziile unor cercetari privind forfecarea dinamica a pamaturilor [25], conform carora reducerea cea mai accentuata a rezistentei la forfecare dinamica se obtine atunci cand unghiul dintre directia vibratiilor si cea a planului de forfecare, este apropiat ca marime de unghiul frecarii interioare, in cazul de fata valoarea acestui unghi a fost de $20^{\circ} \div 25^{\circ}$. De asemenea, parametrii vibratiilor (amplitudinea si frecventa) au fost astfel alesi incat acceleratia relativa $\square_1 = A\omega^2/g$, sa fie identica cu valoarea coeficientului de seismicitate, corespunzator unui cutremur de gradul VIII. Pentru umiditatea probelor supuse incercarilor de forfecare statica si dinamica s-au considerat doua ipoteze: ipoteza I corespunzatoare fazei de executie cand ($w = w_{opt}$) si ipoteza a II-a corespunzatoare fazei de exploatare, cand $w = w_{sat}$.

Constatarea acestor aspecte legate de influenta actiunilor dinamice (vibratii sau vibropercutii) asupra rezistentei la forfecare a pamaturilor argiloase, a facut ca in problema folosirii tehnicii vibrarii la executarea diverselor lucrari geotehnice si de fundatii (vibroforare, infigerea si extragerea diverselor elemente din pamant etc.), pentru aceasta categorie de pamanturi atentia sa fie indreptata spre crearea unor instalatii si tehnologii de lucru, bazate pe vibropercutie si nu pe vibratii. [25, 41, 45, 48, 56, 58, 67, 69]

Pe de alta parte se poate considera ca alaturi de alte cauze, aceste aspecte au contribuit si la dezvoltarea, cu precadere in ultimul timp, a unor metodici si tehnici de cercetare si studiu a caracteristicilor dinamice ale pamaturilor, in special a celor argiloase, bazate pe diverse incercari, la care solicitarea dinamica se realizeaza sub forma de impulsuri de scurta durata, cu intensitatea mai mare sau mai mica.

3.2.4. Compresibilitatea pamaturilor solicitate la vibratii

Cercetarea compresibilitatii pamaturilor, in special a celor nisipoase, supuse actiunii vibratiilor, prezinta interes atat pentru evaluarea tasarilor constructiilor fundate pe astfel de pamanturi, asupra carora pot sa actioneze incarcari dinamice sub forma de vibratii, cat si pentru probleme de consolidare a terenurilor de fundare nisipoase prin anumte tehnologii bazate pe tehnica vibrarii.

Din incercari experimentale [14, 17, 25, 31, 51, 58], a rezultat ca prin schimbarea amplitudinii sau a frecventei in limitele unei valori constante a acceleratiei vibratiilor, influenta acestora asupra procesului de compactare, se mentine si ea constanta. Din acest motiv in studiile si cercetarile intreprinse in aceasta directie, in calitate de caracteristica principala a procesului de compactare prin vibrare a pamaturilor nisipoase, s-a considerat tot acceleratia vibratiilor, respectiv raportul dintre acceleratia vibratiilor si acceleratia gravitacionala.

Dupa D.D. Barkan [14], procesul de indesare sub actiunea vibratiilor a unui nisip caracterizat de o porozitate initiala (e_0), poate avea loc numai atunci cand acceleratia relativa a vibratiilor depaseste o anumita valoare minima.

Aceasta valoare minima a acceleratiei relative a vibratiilor (η_0) a fost denumita "prag al vibroindesarii" sau "prag al vibrocompactarii", iar in baza definitiei data de D.D. Barkan, ea depinde numai de porozitatea initiala a materialului. In jurul unei surse de vibratii, indesarea are loc numai in punctele in care acceleratiile relative sunt mai mari sau cel putin egale cu η_0 , adica intr-o zona delimitata de o suprafata de egala acceleratie ($\eta = \eta_0$).

Desi caracterul dependentei $e = \varphi(\eta)$ este neliniar, prin considerarea in prima aproximatie a unei dependente liniare, D. D. Barkan stabileste si expresiile matematice, atat pentru curba de vibroindesare, adica variatia indicelui porilor (e) in

functie de acceleratia relativa a vibratiilor (η) cat si pentru suprafata care delimiteaza zona de vibroindesare.

Concluziile rezultate din studiul vibroindesarii pamanturilor nisipoase [44,59], cu luarea in considerare a starii de eforturi din masiv, se pot rezuma la urmatoarele aspecte principale:

- valoarea pragului vibroindesarii depinde de porozitatea initiala a nisipului, graficul dependentei $e = \varphi(\eta)$ prezentand un palier pana cand acceleratia relativa atinge valoarea η_0 , dupa care porozitatea incepe sa scada (fig. 3.17);

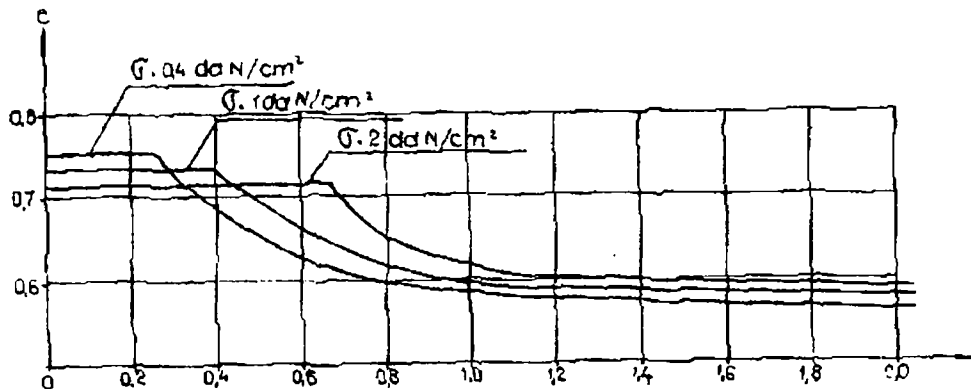


Fig. 3.17. Variatia $e = \varphi(\eta)$ pentru diverse valori a presiunii normale

- pentru porozitati aproximativ egale, valoarea pragului de vibroindesare depinde de marimea presiunii normale aplicate; in prima aproximatie aceasta dependenta fiind liniara, mai ales pentru nisipuri de indesare redusa;
- exista o valoare limita a acceleratiei relative a vibratiilor (η_{lim}), de la care vibroindesarea corespunzatoare unei anumite presiuni normale de incarcare, practic ramane constanta;
- pentru porozitati initiale aproximativ egale si acceleratii relative $\eta > \eta_{lim}$, vibroindesarea realizata este aproximativ aceeași pentru un domeniu relativ larg de valori ale presiunii normale.

3.2.5. Concluzii asupra studiului proprietatilor de rezistenta si stabilitate a pamanturilor supuse la actiuni dinamice

Sub aspect calitativ, ca o concluzie generala se poate mentiona ca proprietatile de rezistenta si stabilitate a pamanturilor supuse la serii limitate de impulsuri de scurta durata, sunt functie de tipul pamantului, de starea fizica a acestuia, de intensitatea actiunii, de durata unui ciclu si de numarul impulsurilor. Din acest motiv este necesar, ca aprecierea actiunii impulsurilor repetate asupra proprietatilor diverselor pamanturi, sa se faca pentru fiecare caz concret, prin cercetari experimentale speciale de laborator sau de teren.

4. STUDII PRIVIND MODELAREA MATEMATICA A SISTEMULUI UTILAJ-FUNDATIE-TEREN DE FUNDARE

4.1. Aspecte de baza ale proiectarii fundatiilor de utilaje si masini

In domeniul tehnicii in general si al constructiilor de masini, in special, succesele obtinute se reflecta in metodele de calcul aplicate in proiectare, care permit sa se micșoreze continuu greutatea masinilor pe unitatea de putere, in timp ce vitezele de functionare cresc. Odata cu aceasta apare insa tot mai des pericolul de rezonanta, de instabilitate a echilibrului si miscarilor.

Pentru a se gasi mijloacele de inlaturare a acestui efect a fost necesara dezvoltarea unor elemente fundamentale in teoria vibratiilor mecanice si stabilirea unor metode de proiectare a constructiilor si masinilor in baza acestei teorii.

Trebuie mentionat totodata ca vibratiile au capatat o tot mai larga utilizare in procesele de productie si anume la baterea pilotilor la lucrarile de fundatii, la forari geotehnice, infigerea si smulgerea elementelor verticale, la vibrarea si revibrarea betonului etc. [7, 8, 11, 15, 48, 68, 69]

In context, vibratia masinilor si utilajelor poate fi libera, rezultat al unei perturbatii initiale, adica nu introduce energie in sistem. Sistemele reale au amortizare (disipare de energie) care face ca amplitudinea sa se diminueze continuu. Aceasta vibratie este deci tranzitorie (fig. 4.1).

Vibratia fortata se caracterizeaza prin faptul ca sistemul primeste energie din exterior, care adesea compenseaza energia disipata prin amortizare, o astfel de vibratie a unui utilaj este stationara (fig. 4.1).

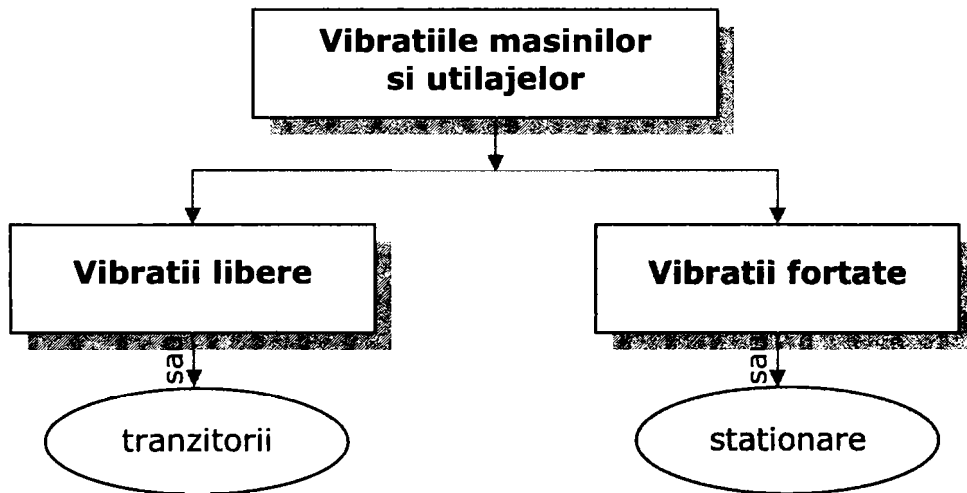


Fig. 4.1. Sisteme reale de amortizare

Sub actiunea unui excitatii de tip impuls, un sistem este supus unui "soc". La excitatii de scurta durata miscarea sistemului se produce cu o frecventa egala cu cea proprie (corespunzatoare vibratiei libere). Adesea vibratiile si socurile sunt daunatoare si de aceea ele trebuie combatute. Mijloacele prin care se combat efectele nedorite ale vibratiilor si socurilor sunt (fig. 4.2.):

- diminuarea la sursa;
- diminuarea raspunsului;
- izolarea contra vibratiilor.

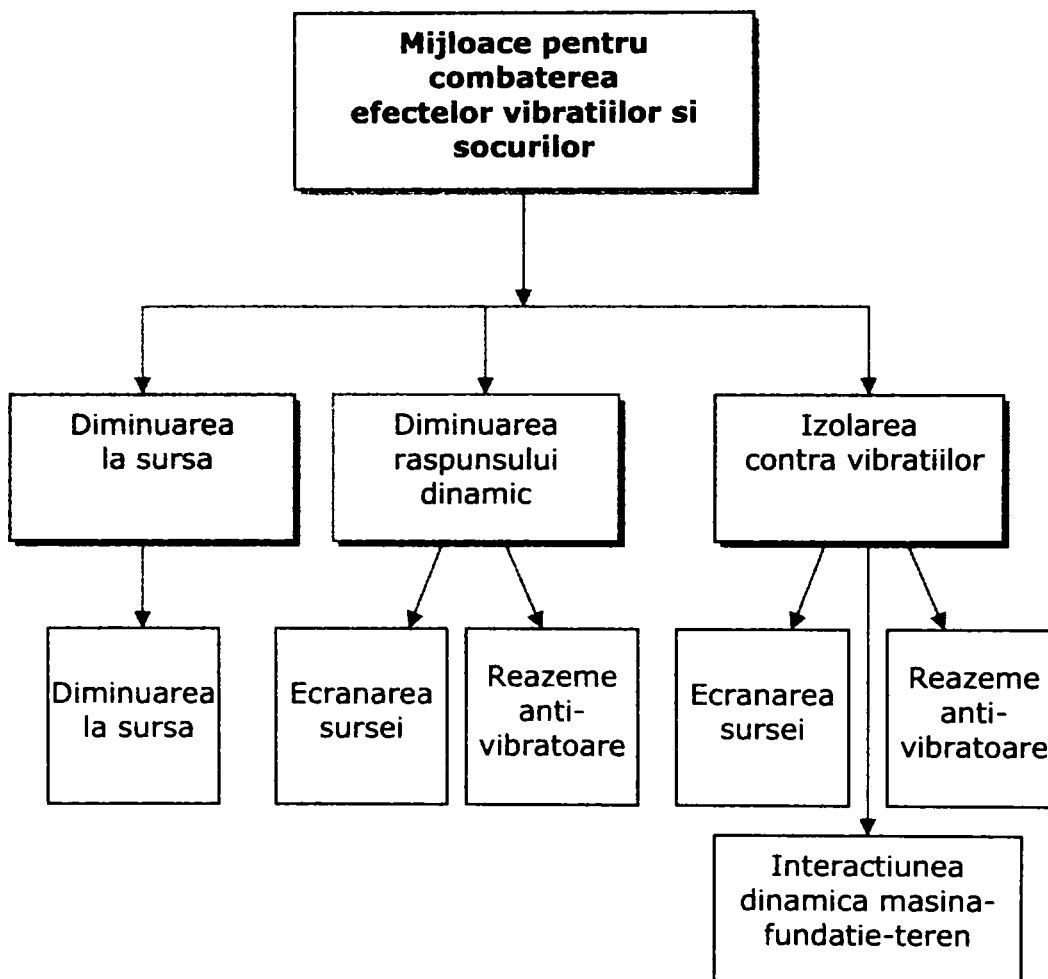


Fig. 4.2. Mijloace prin care se combat efectele vibratiilor si socurilor

4.1.1. Diminuarea la sursa

Diminuarea la sursa este legata de proiectarea si executarea masinilor si utilaje, fiind in sarcina specialistului mecanic.

4.1.2. Diminuarea raspunsului dinamic

Raspunsul dinamic al unui sistem mecanic format dintr-o masina sau utilaj si suportul de fixare, fundatie, planseu, pardoseala, etc. se poate diminua prin urmatoarele cai:

a. Proiectarea sistemului la o anumita frecventa proprie, care pentru vibratie stationara sa fie cat mai departata de frecventa fortei de excitatie.

Pentru un domeniu dat si limitat al frecvetei fortei de excitatie atenuarea efectului vibratiilor se realizeaza prin modificarea frecventei proprii a sistemului.

b. In cazul vibratiilor cu spectru larg de frecvente, atenuarea vibratiilor se poate realiza prin dispararea energiei, indeosebi prin modificarea amortizarii.

c. Reducerea efectelor vibratiilor se poate face prin introducerea in sistem a unor mase auxiliare care sa realizeze fenomenul de excitatie.

4.1.3. Izolarea contra vibratiilor

Izolarea contra vibratiilor se poate realiza, de asemenea, in mai multe moduri : [8, 9, 10]

a. Proiectarea de fundatii antivibratorii prin ecranarea sursei;

b. Introducerea de reazeme antivibratorii;

c. Folosirea adecvata a efectelor interactiunii dinamice (utilaj, masina) – fundatie si fundatie – teren.

De asemenea, se pot avea in vedere unele efecte combinate menite sa conduca la diminuarea efectelor nedorite ale vibratiilor si socurilor.

Utilajele si masinile care produc vibratii se pot imparti in doua clase:

a) Utilaje si masini care au frecventa de functionare deasupra celei de rezonanta;

b) Utilaje si masini care au frecventa de functionare sub cea de rezonanta.

Masurile prevazute sunt diferite pentru cele doua clase de utilaje si masini.

In raport cu modul de cuplare intre utilaj sau masina si fundatie, intre fundatie si suportul de rezervare si functie de tipul utilajului sau masinii si fundatiei, sistemul poate fi considerat cu unul sau mai multe grade de libertate, avand corespunzator una sau mai multe frecvente proprii.

Fundatia realizeaza transmiterea efectelor dinamice suportului de rezervare si in clupaj cu utilajul sau masina determina intr-o anumita masura raspunsul dinamic al sistemului si asigura un anumit grad de izolare, de limitare a amplitudinii miscarii si implicit a transmisibilitatii.

4.2. Factorii care influenteaza raspunsul dinamic al sistemelor utilaj-fundatie-suport de rezervare

Limitarea efectelor vibratiilor implica in primul rand stabilirea unor frecvente respectiv pulsatii proprii pentru sistem, astfel incat sa se evite rezonanta in timpul functionarii si sa se diminueze efectele acestuia in timpul pornirilor si opririlor, in

cazul utilajelor si masinilor care functioneaza deasupra rezonantei. Acest din urma efect presupune existenta unor mijloace de disipare sau absorbtie a energiei, deci a unor mijloace de amortizare.

Intrucat amortizarea nu este favorabila transmisibilitatii este de dorit ca amortizarea sa fie variabila in functie de frecventa.

Frecventa depinde de masa sistemului in care se include masa utilajului sau masinii, masa fundatiei, mase aditionale (rezultate din interactiunea cu suportul, absorbitor dinamic, etc.). depinde de asemenea, de factorul de rigiditate R sau rigiditatea sistemului.

Rigiditatea R la randul sau este determinata de proprietatile elastice ale suportului de rezemare, de proprietatile elastice (de rigiditate) ale reazemelor: arcuri, resoarte, izolatori de cauciuc, elastomeri, neopren, perne elastice din balast si pietris, piloti, placi de beton armat, covoare de cauciuc, pluta, pasla, tesaturi presate etc.

Sistemul constructiv, materialele utilizate, valorile presiunii pe suporti si teren conduce de asemenea, la variabilitate in raspunsul dinamic al sistemului utilaj (masina) – fundatie-suport de rezemare. In cazul fundatiilor amplasate pe teren apar probleme importante privind determinarea constantelor elastice (de rigiditate) ale terenurilor tinand cont de proprietatile dinamice si reologice ale acestora. Dupa aprecierile din literatura de specialitate rezulta ca in privinta proprietatilor terenurilor referitoare la parametrii care intervin in analiza dinamica a sistemelor cu care se cupleaza, atat cercetarile experimentale sunt insuficiente cat si cele teoretice, care sa conduca la perfectionarea proiectarii.

Un loc important il ocupa problema fundatiilor de masini si utilaje incastrate in teren, al caror raspuns este in unele cazuri influentat in mod semnificativ de efectul incastrarii

In acest sens in cadrul cercetarilor, se acorda un loc important studiilor privind modul de determinare a constantelor elastice pentru teren, a unor caracteristici elasto-dinamice, ca de exemplu modulul de forfecare al terenului si, de asemenea, se analizeaza efectul incastrarii fundatiilor in teren asupra raspunsului dinamic al sistemului utilaj (masina) – fundatie-teren si mijloacelor de ameliorare a efectelor vibratiilor.

4.3. Solutii constructive pentru atenuarea vibratiilor

4.3.1 Aspecte privind modelele de calcul

Izolarea antivibratoare se realizeaza prin fixarea utilajelor si masinilor pe fundatii speciale, pe placi de beton asezate pe planseu sau pardoseli, sau prin asezarea pe suporti izolatori si covoare amortizoare.

Placile de beton se utilizeaza pentru utilaje si masini de dimensiuni mici, producatoare de forte perturbatoare mari (strunguri automate, freze etc) ,care la randul lor sunt asezate pe planseele halelor industriale etajate.

In general izolarea se face intre placa de beton si planseu prin introducerea de straturi amortizore, care contribuie si la evitarea efectelor daunatoare a vibratiilor asupra planseelor; acestea avand frecvente proprii relativ joase si se afla adesea in zone de rezonanta.

Pe langa amortizare, placile de beton lasa intact planseul si permit modificari in amplasarea utilajelor si masinilor.

Inainte de proiectarea definitiva sunt necesare studii preliminare privind transmisibilitatea vibratiilor si stabilirea mijloacelor de izolare antivibratoare.

4.3.2 Staturi izolatoare intre fundatie si teren

Parametrul de baza pentru aceste studii este pulsatia proprie p , respectiv frecventa proprie a sistemului pe verticala (f). Pentru aceasta faza de proiectare se poate admite decuplarea gradelor de libertate si f se determina din relatia:

$$p = 2\pi f = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4.1.)$$

in care:

- f – frecvanta proprie a sistemului pe verticala;
- p – pulsatia proprie a ansamblului fundatie – masina;
- k – constanta elastica a suportului fundatiei;
- m – masa ansamblului fundatie-masina.

Daca $f \leq 3$ Hz, atenuarea optima a vibratiilor se realizeaza prin dispunerea utilajului si masinii pe o fundatie speciala din beton sau pe suporti izolatori cu arcuri din otel. Pentru $5 \text{ Hz} < f < 12 \text{ Hz}$ se recomanda folosirea suportilor izolatori din cauciuc (natural, sintetic), neopren etc. Daca $f \geq 12$ Hz este indicata utilizarea covoarelor de amortizare.

In cazul montarii utilajului sau masinii pe fundatie de beton, se considera in general ca ansamblul formeaza un singur corp rigid de masa m , care reazema elastic pe teren, pe un strat elastic interpus intre teren si masina sau pe suporti elastici.

Din cele de mai sus rezulta ca valoarea constantei elastice k se refera la elementul suport la masei echivalente (a utilajului respectiv masinii sau a ansamblului utilaj-masina – fundatie).

Date preliminare pentru calculul constantei elastice k sunt utile pentru faza de alegere a solutiilor constructive.

In cazul suportilor izolatori din arcuri de otel, constanta elastica k_z pentru vibratii verticale se calculeaza cu relatia:

$$k_z = N_1 \frac{Gd^4}{8D^3n}, \quad (4.2.)$$

in care :

- N_1 – numarul suportilor izolatori;
- d – diametrul spirei arcului;
- D – diametrul de infasurare;
- n – numarul de spire.

Pentru placi din cauciuc, covoare sau placi amortizoare din alte materiale (cauciuc, pluta), constanta elastica k_z este data de relatia:

$$k_z = \frac{E_d A_c}{h}; \quad (4.3.)$$

in care :

E_d – modulul de elasticitate dinamic longitudinal al materialului din covorul din amortizare;

A_c – suprafata de rezemare;

h – grosimea stratului amortizor.

Modulul de elasticitate dinamic E_d se determina experimental pentru fiecare material utilizat; pentru cateva tipuri de cauciuc se pot folosi urmatoarele valori :

- cauciuc policloropren (duritate Shore 60) $E_d=5\text{N/mm}^2$;
- cauciuc natural (duritate Shore 50) $E_d=6\text{N/mm}^2$;
- cauciuc natural cu 30 % negru de fum $E_d=3\text{N/mm}^2$.

Alte materiale utilizate pentru izolare sunt: pluta, pasla, tesaturile presate.

In cazul asezarii fundatiilor din beton direct pe teren, constanta elastica echivalenta se determina cu relatia:

$$k_z = C_z A_c, \quad (4.4.)$$

in care :

C_z – coeficientul de deformare elastica a terenului pentru miscari de translatie pe verticala.

Valorile coeficientului C_z sunt dependente de natura si starea terenului, precum si de marimea suprafetei de incarcare:

- $C_z=20-30 \text{ MN/m}^3$ – teren nisipos, argile nipoase moi;
- $C_z=40-60 \text{ MN/m}^3$ – argile, nisipuri;
- $C_z=80-100 \text{ MN/m}^3$ – argile tari, nisip cu pietris;
- $C_z=120-150 \text{ MN/m}^3$ – roci.

Valorile pentru C_z se refera la suprafete incarcate mai mari de 10 m^2 . In caz contrar se inmultesc valorile coeficientului C_z cu $3,2 \sqrt{A_c}$.

Raportul de amortizare ξ se determina cunoscand decrementul logaritmic δ , care se stabileste experimental. Ca valori orientative pentru decrementul logaritmic δ , se considera la arcuri din otel: $\delta = 0,009$ (practic neglijabil); cauciuc policloropran $\delta = 0,4 \dots 0,7$; cauciuc natural $\delta = 0,5$; terenuri de fundatie $\delta = 0,6$; fundatii din beton $\delta = 0,4$; placi din beton armat $\delta = 0,3$; pluta $\delta = 0,2$.

Intre raportul de amortizare ξ si decrementul logaritmic exista relatia :

$$\xi = \delta / 2\pi \quad (4.5.)$$

Considerand fundatia impreuna cu utilajul sau masina ca o singura masa care vibreaza in directie varticala (fig. 4.3), pulsatia proprie respectiv frecventa sistemului se determina cu relatia:

$$p_z = 2\pi f_z = \sqrt{\frac{k_z}{m}} \quad (4.6.)$$

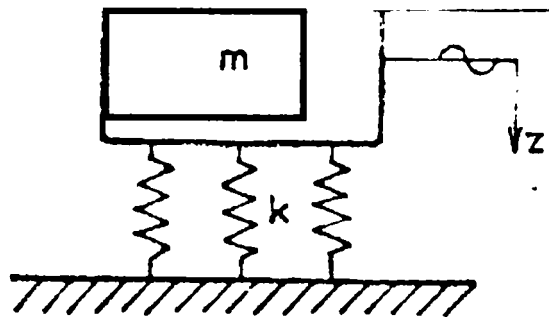


Fig.4.3. Schema de calcul a pulsatiei proprii:
fundația împreună cu utilajul vibrează în direcție verticală

Pentru evitarea rezonanței trebuie să fie îndeplinită condiția: $p_z \neq \omega$,
în care:

ω – pulsația proprie a mașinii sau utilajului (a forței perturbatoare).

4.3.3. Calculul transmisibilității în proiectarea fundațiilor de mașini

Pentru diminuarea vibrațiilor este necesar să se realizeze izolare activă, prin care intensitatea acțiunii dinamice perturbatoare transmisă la suportul de rezemare a fundației să fie diminuată.

Expresia transmisibilității în forma cea mai simplă a sistemului cu grad de libertate, supus la vibrații verticale și fără amortizare are forma:

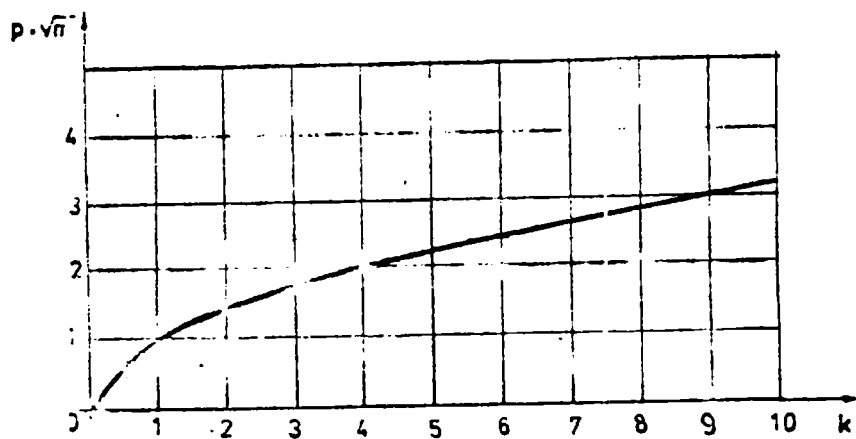
$$T_r = \frac{1}{1 - \frac{\omega^2}{p^2}} \quad (4.7.)$$

Pentru ca T_r să fie cât mai mic este necesar ca raportul $\frac{W}{p}$ să fie cât mai mare, deci pulsația forței perturbatoare să fie mai mare decât pulsația proprie a sistemului, (utilajul sau mașina lucrează deasupra frecvenței de rezonanță), deci se realizează o acordare joasă.

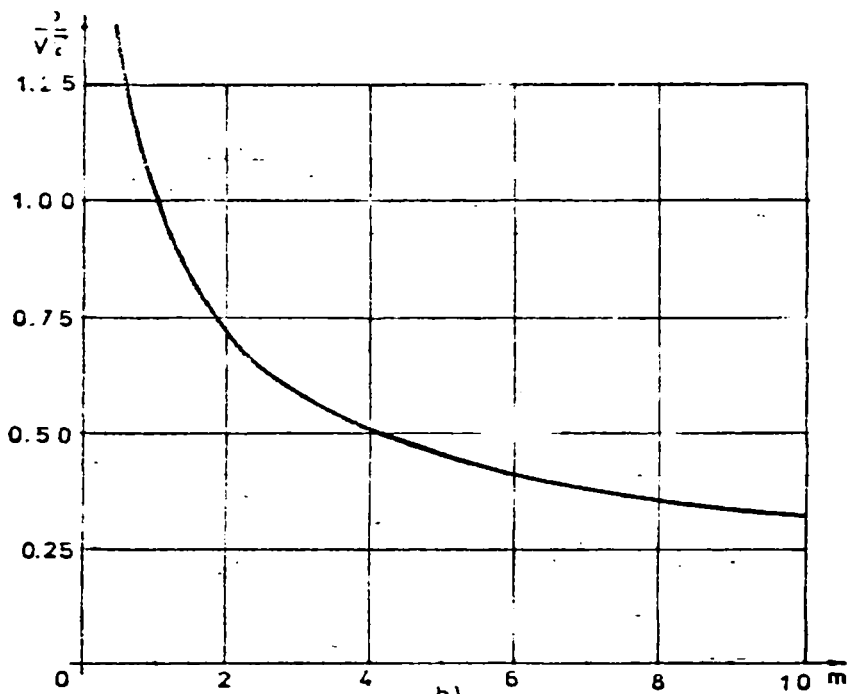
Pentru a realiza un sistem cu o pulsație proprie joasă, după cum rezulta din relația (4.7) trebuie să se realizeze o constantă elastică de valoare mică și o masă a sistemului mare. În fig. 4.4 se prezintă modul de variație a pulsației p funcție de constantă elastică (la masă constantă) și respectiv a pulsației p funcție de masă pentru constantă elastică fixată.

La utilaje și mașini cu frecvențe medii și mari (de exemplu peste 500 rot / min) se poate realiza acordare joasă.

La cele cu frecvențe înalte prin așezarea fundațiilor direct pe teren, iar la cele cu frecvențe medii prin introducerea sub fundație a unor elemente elastice (ex. pluta, izolatori de cauciuc, arcuri de oțel etc.).



a)



b)

Fig.4.4. Modul de variatie a pulsatiei p functie de:
 a) constanta elastica la masa constanta
 b) masa si constanta elastica fixata

Evitarea rezonantei la porniri si opri se realizeaza prin proprietatile de amortizare ale sistemului, prin introducerea de elemente disipative, care realizeaza protectia antivibratorie si o transmisibilitate mai redusa in aceste faze.

Modelul corespunde unei mase (utilaj sau masina si fundatie) rezemate pe resoarte si amortizori (fig. 4.5).

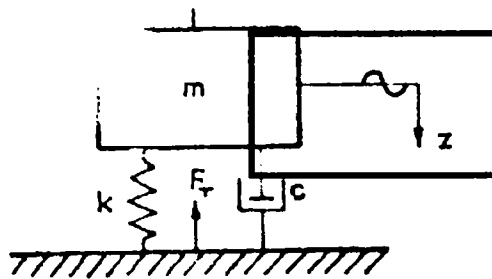


Fig. 4.5. Model fundatie - utilaj rezemat pe resoarte si amortizori

Transmisibilitatea in acest caz are expresia:

$$T_r = \sqrt{\frac{1 + (2\xi\eta)^2}{(1 - \eta^2)^2 + (2\xi\eta)^2}} \quad (4.8.)$$

unde:

ξ - raport de amortizare;

$\eta = \omega / p$;

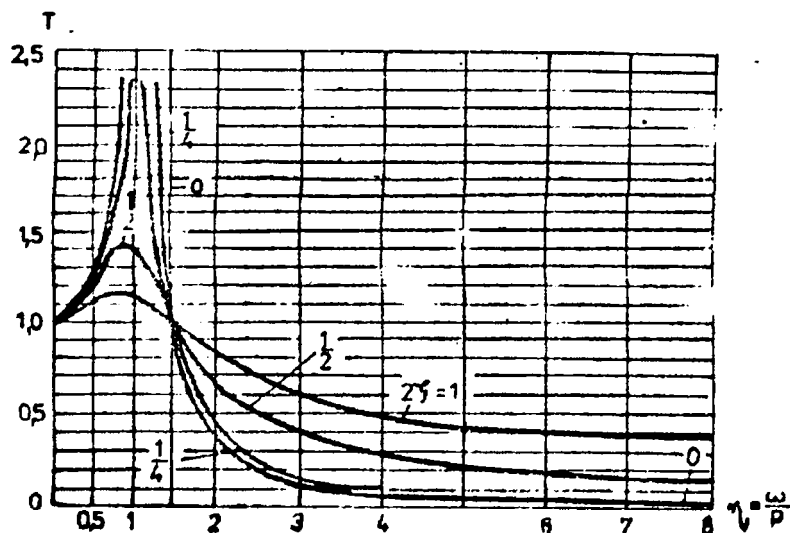
$\xi = C/C_i$;

$C_i = 2\sqrt{km}$

Din fig 4.6 se remarca influenta coeficientului η si a amortizarii asupra transmisibilitatii. Valorile coeficientului η , care separa transmisibilitatea in doua subdomenii:

$$1. \eta < \sqrt{2}; T_r > 1 \quad (4.9.)$$

$$2. \eta > \sqrt{2}; T_r < 1 \quad (4.10.)$$

Fig. 4.6. Influenta coeficientului η si a amortizarii asupra transmisibilitatii

Frontiera dintre cele doua subdomenii este data de conditia $\omega / p = \sqrt{2}$ situata la dreapta rezonantei. In primul subdomeniu amortizarea este favorabila diminuarii transmisibilitatii, iar in al doilea defavorabila. Prin urmare pentru regimul de functionare al utilajelor si masinilor cu acordare joasa amortizarea amplifica transmisibilitatea. [8, 9, 48, 56, 58, 62]

Cercetari experimentale au pus in evidenta faptul ca o saltea elastica relativ groasa asezata intre fundatie si teren diminueaza sensibil transmiterea fortelor dinamice la teren, indeosebi presiunile in aceasta, sunt relativ ridicate.

Modelul corespunzator unui astfel de sistem este redat in fig. 4.7.

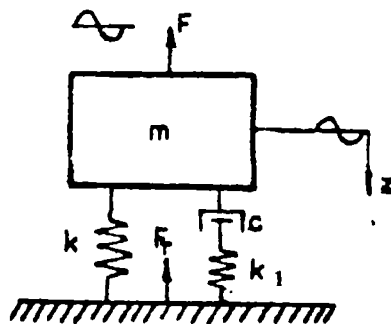


Fig. 4.7. Model fundatie - utilaj rezemat pe o saltea elastica

Masa m din figura este orinsa cu un resort si un amortizor cu resort, reprezentate schematic prin arcuri de constante elastice k_1 si k , montate paralel.

In forta de excitatie $u = u_0 \sin \omega t$ amplitudinea miscarii vibratorii X_0 si transmisibilitatea $T_r X_0 / u_0$ rezulta:

$$X_0 = \frac{F_0}{k} \sqrt{\frac{1 + \frac{4}{N^2} (\xi \eta)^2}{(1 - \eta^2)^2 + \left(\frac{2\xi \eta}{N}\right)^2 (N + 1 - \eta^2)^2}} \quad (4.11.)$$

$$T_r = \sqrt{\frac{1 + 4 \left(\frac{N+1}{N}\right)^2 \xi^2 \eta^2}{(1 + \eta^2)^2 + \frac{4}{N^2} \xi^2 \eta^2 (N + 1 - \eta^2)^2}} \quad (4.12.)$$

in care:

$$N = k_1 / k$$

k_1, k - constantele elastice ale resoartelor din modelul experimental (fig. 4.7)

In fig. 4.8, 4.9 si 4.10 sunt reprezentate transmisibilitatile in functie de η, ξ si N . Din aceste grafice se desprinde solutia ca pentru valori mari ale factorului N se obtine o transmisibilitate scazuta si se diminueaza si amplitudinea miscarii. Acest model prezinta interes practic deosebit datorita unor posibilitati mai mari de a interveni in variatia parametrilor care determina raspunsul dinamic. Pe baza acestui

model urmeaza sa se faca propuneri de solutii si recomandari, care sa conduca in proiectarea fundatiilor de utilaje si masini la ameliorarea efectelor vibratiilor.

In cazul utilajelor si masinilor care produc vibratii cu frecvente situate sub frecventa proprie a sistemului utilaj (masina) - fundatie - suport de rezemare (cu acordare inalta) se impune realizarea de fundatii usoare si constante elastice mari ale terenului.

La sistemele cu acordare inalta, este important sa se foloseasca rezemarea pe suport cu amortizare ridicata care favorizeaza si diminuarea transmisibilitatii (fig. 4.6, 4.8, 4.9, 4.10).

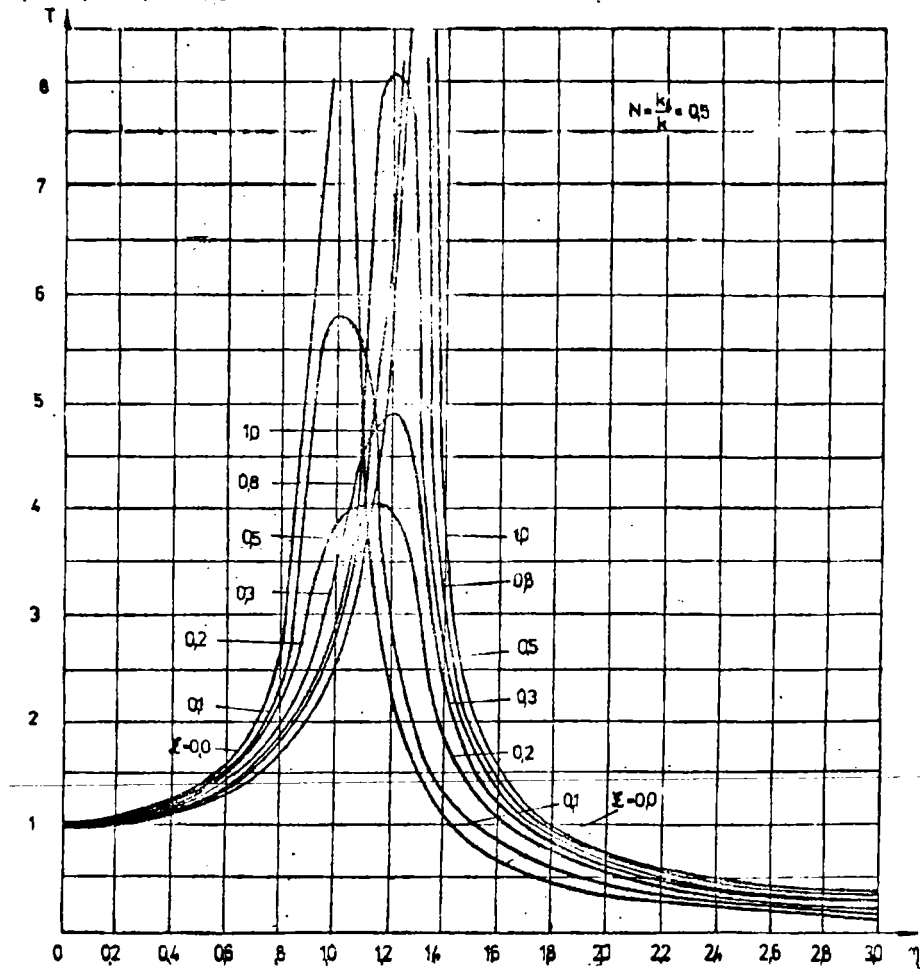


Fig. 4.8. Variatia transmisibilitatii functie de coeficientul η

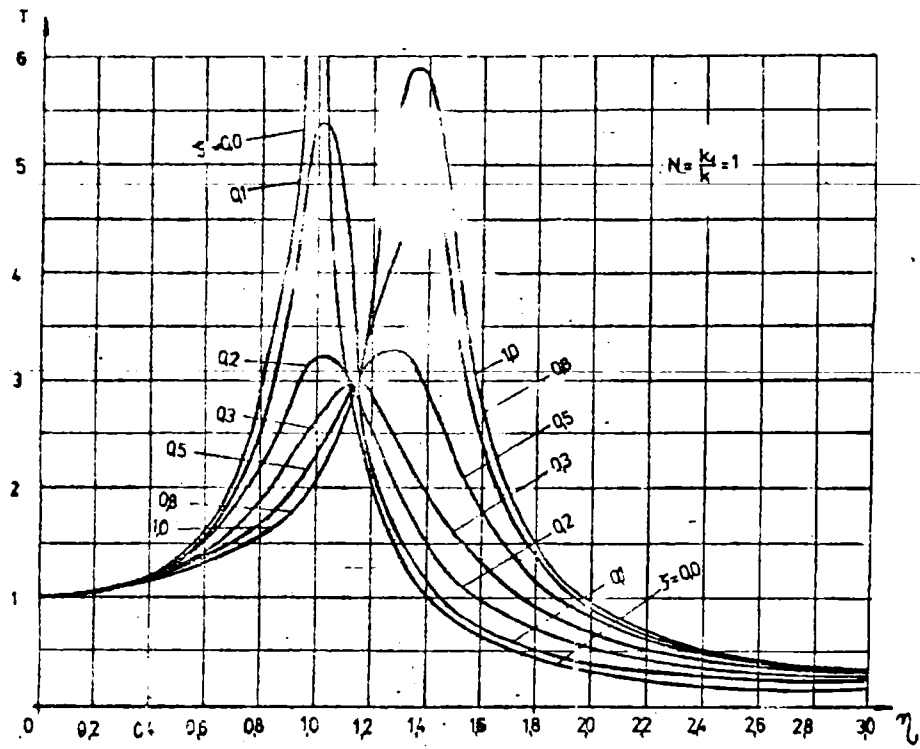


Fig. 4.9. Variatia transmisibilitatii functie de raportul de amortizare ξ

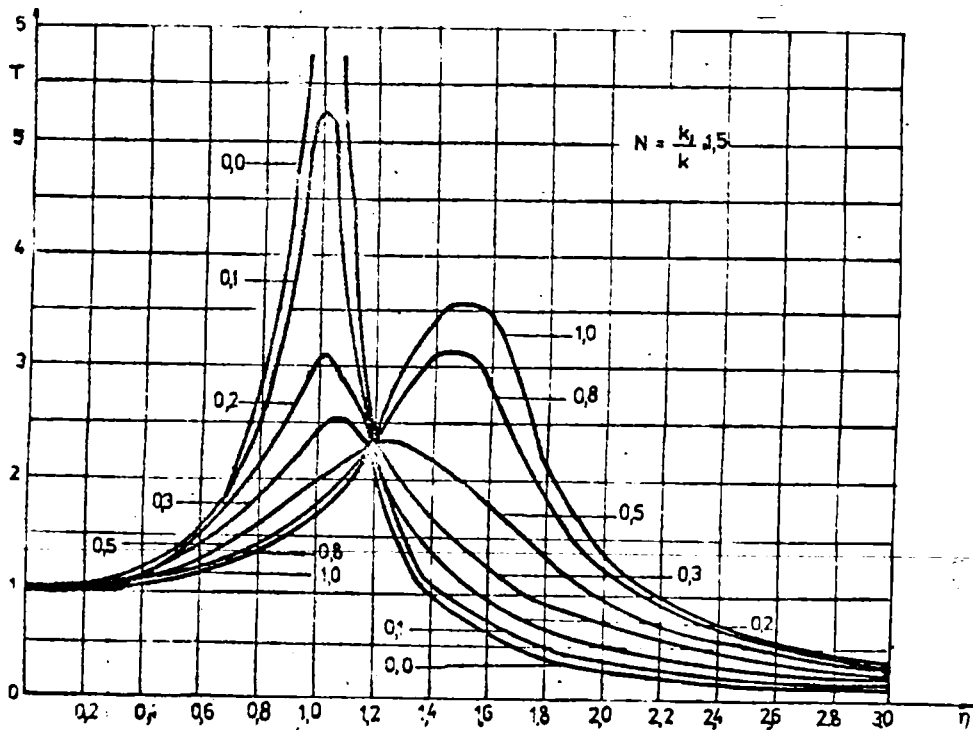


Fig. 4.10. Variatia transmisibilitatii functie de factorul $N = k_1/k$

4.4. Raspunsul dinamic al unei fundatii de utilaj sau masina incastrata in teren si supusa la vibratii verticale

4.4.1 Efectul incastrarii fundatiei in teren

Uneori fundatiile de utilaje si masini raman in intregime pe suprafata terenului. Adesea insa acestea sunt in intregime sau partial incastrate in teren. Masuratori pe fundatii executate arata ca raspunsul real difera de cel calculat daca nu se considera efectul incastrarii.

Fundatiile incastrate supuse vibratiilor au facut obiectul unor investigatii teoretice (9, 11, 15, 18) si experimentale, in continuare prezentandu-se cateva rezultate semnificative ale acestora.

Se considera un bloc de fundatie de forma cilindrica incastrat in teren si supus unei miscari vibratorii verticale, (fig. 4.11).

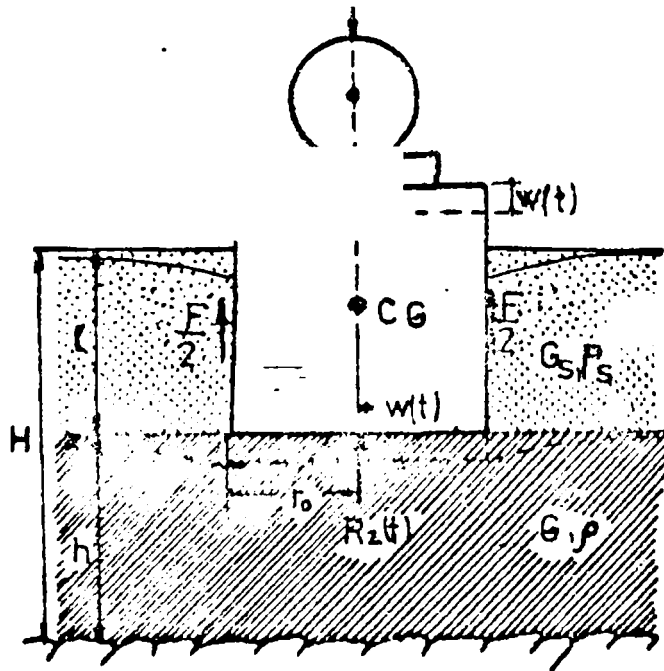


Fig. 4.11. Modelul dinamic format din bloc de fundatie incastrat in teren supus unei miscari vibratorii verticale

Modelul dinamic este cu un grad de libertate, in masa m incluzandu-se si cea a utilajului sau masinii. Rezemarea pe teren este asimilata cu rezemarea pe un semispatiu liniar elastic omogen si izotrop si rigiditatea resortului.

Efectul incastrarii este reflectat in forta de frecare laterala.

Modelul dinamic propus este prezentat in fig. 4.12 in comparatie cu modelul fundatiei de suprafata.

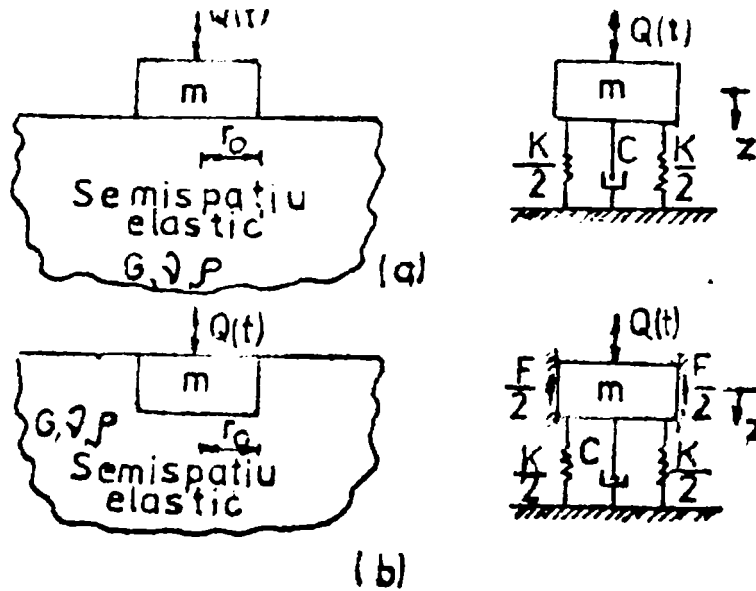


Fig. 4.12. Modelul dinamic rezemat pe un semispatiu liniar elastic, omogen si izotrop

Factorul de amortizare este dat de expresia:

$$D = \frac{0,425}{\sqrt{\frac{1-\nu}{4} \cdot b}} \quad (4.13.)$$

in care :

ν – coeficientul de deformare laterala a terenului (coeficientul lui Prisson);

$$b = m / \rho r_0^3 \quad (4.14.)$$

ρ – densitatea terenului;

r_0 – raza modelului.

Fora armonica excitatoare data de rotirea masei excentrice are expresia:

$$Q(t) = m_0 e \omega^2 \sin \omega t \quad (4.15.)$$

unde:

m_0 – masa excentrica;

e – excentricitatea masei;

ω – frecventa circulara (pulsatia) a excitatiei.

In fig. 4.13 se prezinta grafice de variatie a factorului adimensional al amplitudinii $m x_0 / m_0 e$ si raportul pulsatiilor ω / ω_n pentru diferite valori ale lui D .

La rezonanta se obtin urmatoarele marimi:

$$\frac{\omega_r}{\omega_n} = \frac{1}{\sqrt{1-2D^2}} \quad (3.5);$$

$$\frac{mx_0}{m_0e} = \frac{1}{2D\sqrt{1-D^2}} \quad (4.16.)$$

ω_n – pulsatia sistemului utilaj (masina)-fundatie

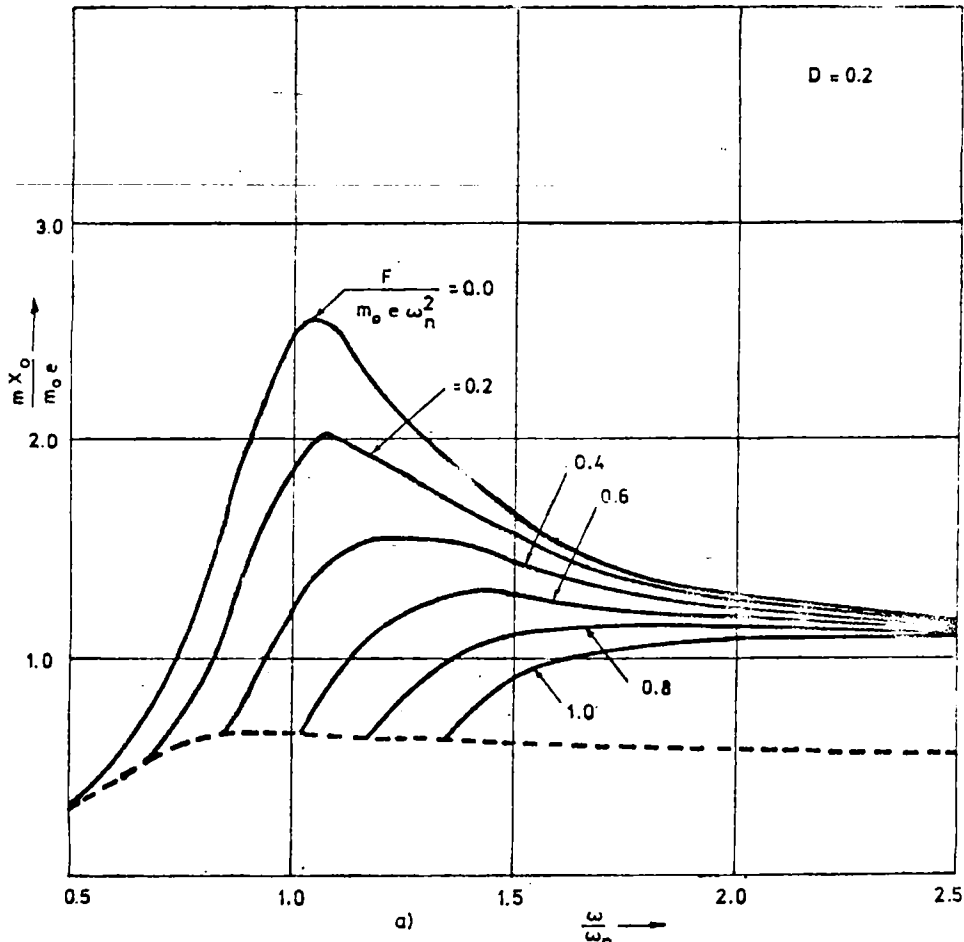


Fig. 4.13. Grafice de variatie a factorului adimensional al amplitudinii mx_0 si m_0e si raportul pulsatiilor pentru diferite valori ale factorului de amortizare $D=0,2; 0,4; 0,6$

Efectul incastrarii se evidentiaza prin cresterea energiei disipate, indeosebi datorita amortizarii prin frecare a vibratiilor fundatiei. De asemenea, prin aparitia fortei laterale se modifica presiunile de contact fata de fundatiile amplasate pe suprafata semispatiului.

Ecuatia diferentiala a miscarii sistemului cu fundatia incastrata are forma:

$$m \ddot{x} + c\dot{x} + kx \pm F = Q(t), \quad (4.17.)$$

in care:

F este forta de frecare, constanta in timpul miscarii.

O solutie a ecuatiei 4.17 se obtine considerand o excitatie sinusoidala la forta de frecare constanta.

Se folosesc notatiile:

$$\frac{F}{m_0 e \omega^2} = F_1 \quad a) \quad \omega_n / \omega = \beta \quad (4.18.)$$

si factorul de amplitudine redus este:

$$\frac{m x_0}{m_0 e} = \frac{1}{\beta^2} \left[-R F_1 + \sqrt{\frac{1}{q^2} - S^2 F_1^2} \right] \quad (4.19.)$$

in care:

$$q = \sqrt{\left(\frac{\beta^2 - 1}{\beta^2} \right)^2 + \left(\frac{2D}{\beta} \right)^2} \quad (4.20.)$$

iar R si S sunt functii care nu depind de forta de frecare.

$$R = \frac{\operatorname{sh} \beta n D - \sqrt{\frac{D^2}{1-D^2}} \sin (\beta n \sqrt{1-D^2})}{\operatorname{ch} \beta n D + \cos (\beta n \sqrt{1-D^2})} \quad (4.21.)$$

$$S = \frac{\beta \sin (\beta n \sqrt{1-D^2})}{\sqrt{1-D^2} [\operatorname{ch} \beta n D + \cos (\beta n \sqrt{1-D^2})]} \quad (4.22.)$$

Daca forta de frecare este suficient de mare, poate sa conduca la anihilarea miscarilor vibratorii. Conditii care asigura permanenta miscarilor oscilatorii sunt:

$$\frac{m x_0}{m_0 e} \geq \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 \frac{I - R}{\sqrt{q^2 (S^2 - 1^2)}} \quad (4.23.)$$

$$\frac{F}{m_0 e} \geq \frac{I}{\sqrt{q^2 (S^2 + 1^2)}} \quad (4.24.)$$

in care:

$$I = 2\beta DS + \beta^2(1 + R) \quad (4.25.)$$

Relatiile (4.23) si (4.24) sunt valabile pentru $\omega / \omega_n \geq 0,5$. Limita de existenta a miscarii este aratata punctat in fig. 4.13 fiind determinata de inegalitatea din relatia (4.23).

Pentru proiectare se pot utiliza unele rezultate prezentate in fig 4.14 si fig. 4.15 din care se poate vedea ca amplitudinea miscarii la rezonanta descreste cu cresterea factorului de frecare $F/m_0e\omega_n^2$, iar pulsatia de rezonanta creste cu cresterea factorului de frecare respectiv. Aceste rezultate concorda cu cele masurate experimental

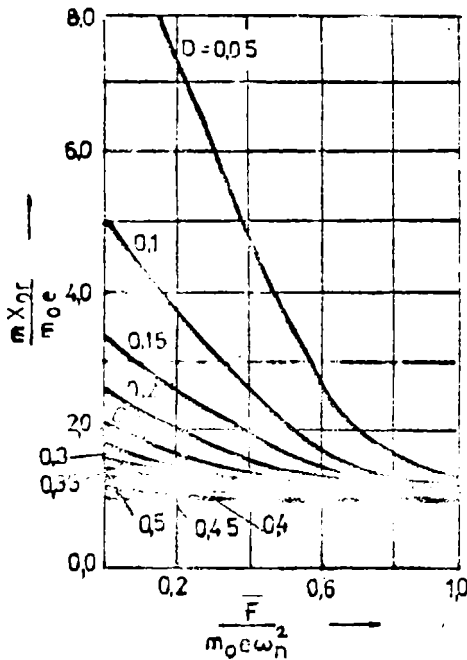


Fig. 4.14. Variatia amplitudinii miscarii la rezonanta functie de factorul de frecare $F/m_0e\omega_n^2$

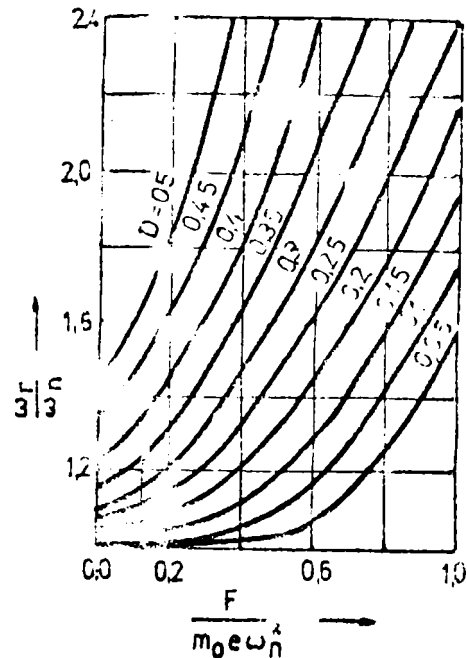


Fig. 4.15. Variatia pulsatiei de rezonanta functie de factorul de frecare $F/m_0e\omega_n^2$

4.4.2. Parametri dinamici – factori definitorii in raspunsul dinamic

Pentru a prevedea raspunsul dinamic al unui sistem utilaj sau masina – fundatie incastrata in teren trebuie sa se cunoasca:

- modulul de forfecare;
- coeficientul lui Poisson;
- densitatea terenului;
- raportul maselor;
- forta de frecare dintre fundatie si teren. [2, 23, 25, 65, 66].

Evaluarea fortei de frecare dintre teren si suprafata laterala a fundatiei de contact cu terenul se face in functie de impingerea pamantului.

a) Cazul terenurilor necoezive

Pentru terenuri necoezive forta de frecare mobilizata in timpul vibratiilor se poate evalua cu relatia:

$$F = \frac{1}{2} K_a H^2 \gamma \mu_f L \quad (4.26.)$$

in care:

K_a – coeficientul impingerii active a pamantului;

γ – greutatea volumica a pamantului;

H – adancimea de incastrare a fundatiei ;

μ_f – coeficient (cinematic) de frecare intre teren si peretii laterali ai fundatiei;

L – perimetrul fundatiei incastrate.

b) Cazul terenurilor coezive

Pentru terenuri coezive forta F mobilizata in timpul vibratiilor sistemului se determina cu expresia:

$$F = C_a H L \quad (4.27.)$$

in care C_a este coeficient de aderenta intre teren si suprafata laterala a fundatiei in conditii dinamice.

Daca fundatia este incastrata intr-un teren care prezinta atat coeziune cat si frecare ("c - Φ ") atunci forta de frecare care poate fi mobilizata in timpul vibratiilor se poate determina dupa cum urmeaza:

$$F = \left(\frac{1}{2} K_a H^2 \gamma \mu_f + C_a H \right) L \quad (4.28.)$$

Coeficientul cinematic de frecare μ_f depinde de natura suprafetelor corpurilor care vin in contact. Intrucat intre suprafata de beton si teren, acesta poate fi format din diferite straturi, coeficientul de frecare statica se ia $\text{tg}(2\Phi/3)$, unde Φ este unghiul de frecare interna al pamantului, pentru fiecare strat. Coeficientul cinematic de frecare folosit in analiza dinamica este mai mic decat cel static si se considera $\text{tg}(\Phi/3)$. La terenurile "c - Φ " se poate lua $\mu_f = 0,15-0,20$, in functie de unghiul de frecare interna a pamantului.

Coeficientul de aderenta C_a la terenurile "c - Φ " este indicat a se lua (1-2)% din rezistenta la coeziune a terenului, dar in acest caz se recomanda sa se efectueze incercari pe teren.

O serie de cercetari experimentale atesta consideratiile facute mai sus privind proiectarea fundatiilor incastrate de utilaje sau masini care transmit vibratii.

4.5. Analize parametrice

a) Analize numerice parametrice s-au putut efectua pentru o fundatie circulara incastrata, la care s-a considerat raspunsul real al vibratiei:

$$x(t) = x_0 \cos(\omega t + \Phi), \quad (4.29)$$

in care amplitudinea reala are expresia:

$$x_0 = \frac{F_0}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} = \frac{F_0}{k} \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + 4D^2\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \quad (4.30.)$$

$$a) \quad \varphi = -\arctg \frac{C\omega}{k - m\omega^2} \quad (4.31.)$$

$$b) \quad D = \frac{c}{2m\omega_n} \quad (4.32.)$$

$$c) \quad \omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4.33)$$

F_0 este amplitudinea fortei excitatoare,

$$F_0 = m_0 e \omega^2 \quad (4.34.)$$

(m_0 - fiind masa excentrica; e - excentricitatea masei care se roteste).

Se foloseste si expresia amplitudinii reduse $A = x_0 m / m$.

S-a determinat amplitudinea adimensionala A , in functie de frecventa adimensionala $a_0 = r_0 \omega \sqrt{\varphi_t / G_t}$, (fig. 4.16) unde r_0 - raza fundatiei si G_t - densitatea si, respectiv, modulul de forfecare al stratului de sub fundatie.

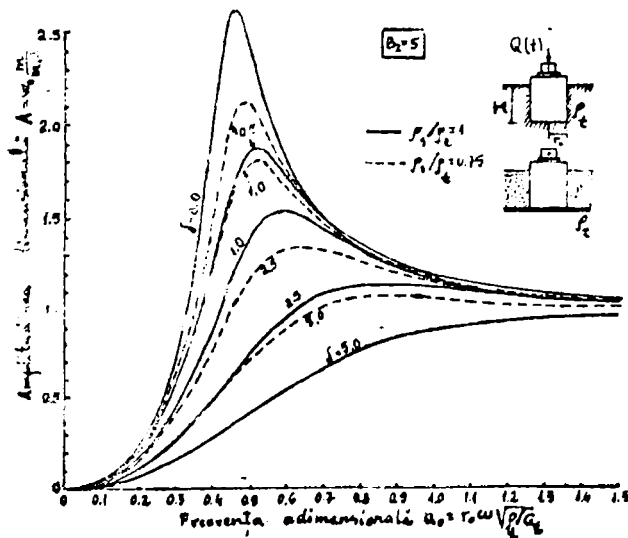


Fig. 4.16. Variatia amplitudinii adimensionale A functie de frecventa adimensionala a_0

S-au obtinut curbe pentru diferite rapoarte ale gradului de incastare H/r_0 si $B_z = \frac{1-\eta}{4} \cdot \frac{m}{\rho_t r_0^3}$. In fig. 4.16; $B_z=5.00$, iar in fig. 4.17 s-a reprezentat amplitudinea de rezonanta redusa in functia de B_z .

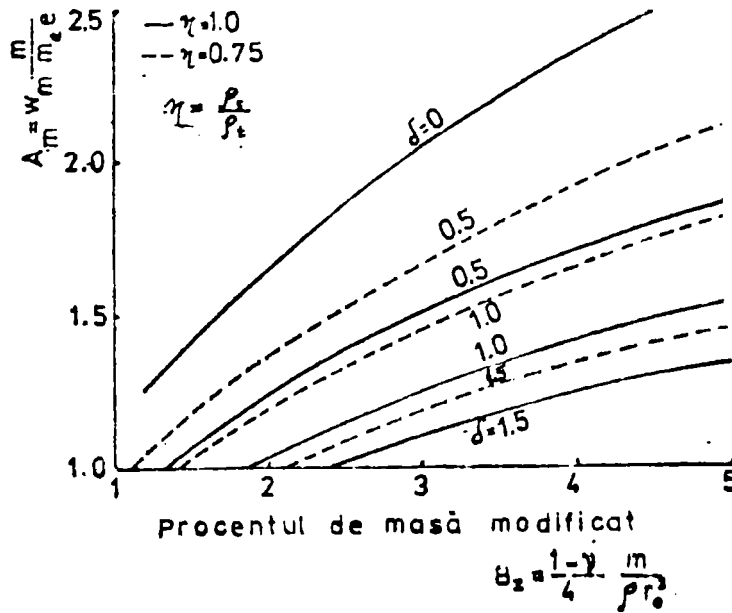


Fig. 4.17. Variatia amplitudinii adimensionale A functie de B_z (procentul de masa)

Frecventa de rezonanta redusa s-a determinat in functie de gradul de incarcare (H/r_0) si pentru diferite valori ale raportului $\eta = \rho' / \rho_t$ si respectiv B_z (fig. 4.18), unde ρ' este densitatea terenului lateral pana la baza fundatieii, iar ρ_t este densitatea terenului de sub fundatie.

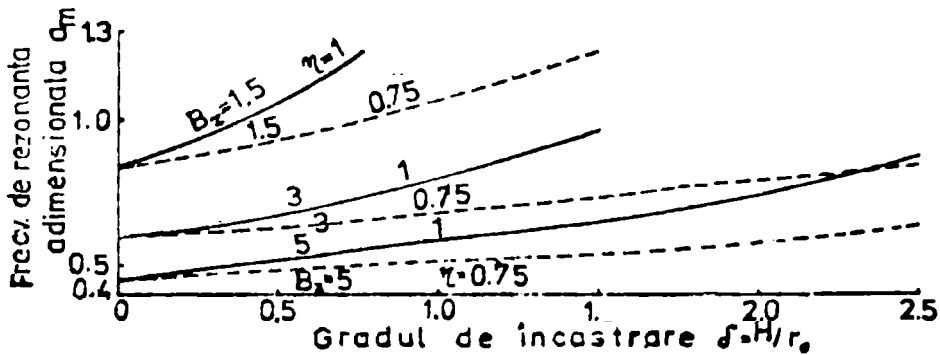


Fig. 4.18. Variatia frecventei adimensionale a_m cu gradul de incastare δ

In fig. 4.19 si fig. 4.20 se prezinta variatiile relative ale amplitudinii la rezonanta si respectiv ale frecventei la rezonanta in functie de gradul de incastare.

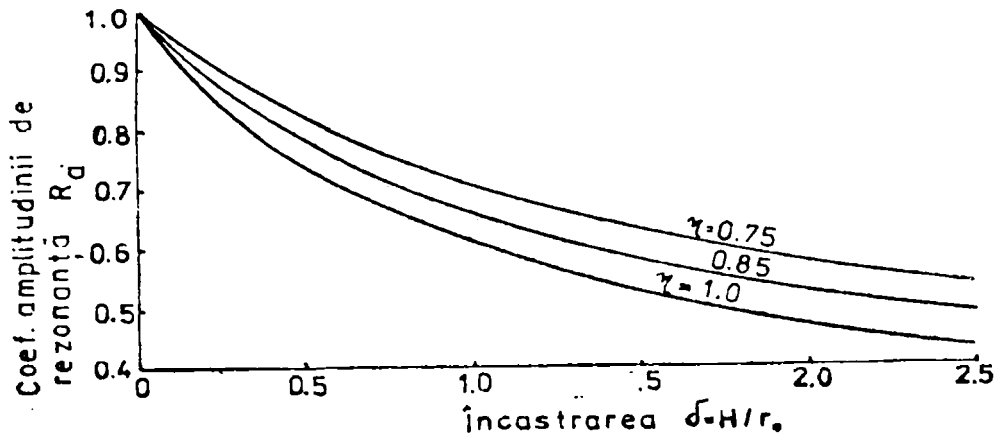


Fig. 4.19. Variatia coeficientului frecvenței de rezonanță R_d funcție de gradul de incastrare δ la diferite valori ale lui η

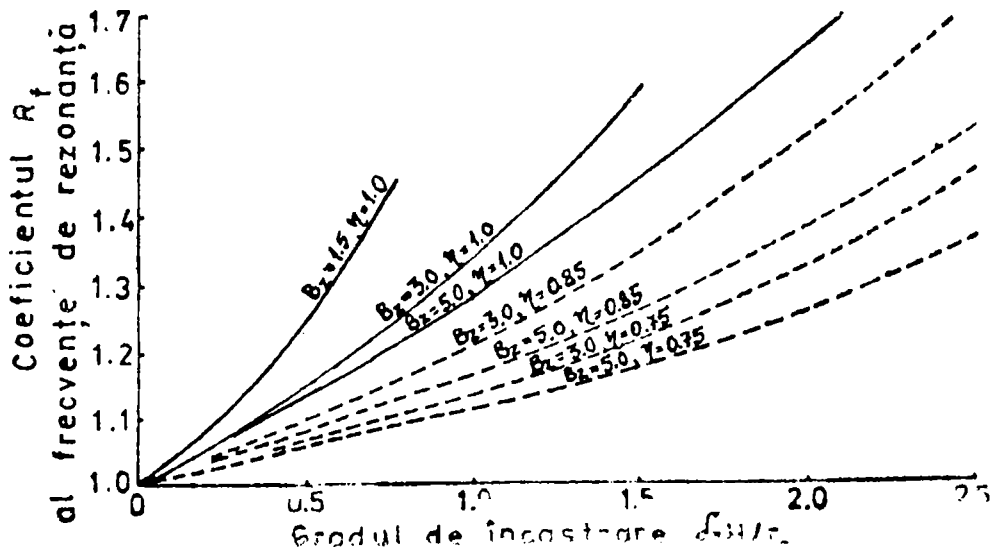


Fig. 4.20. Variatia coeficientului frecvenței de rezonanță R_f funcție de gradul de incastrare δ la diferite valori ale lui B_z

Studiile teoretice prezentate mai sus ca și cele experimentale arată că amplitudinea la rezonanță scade, iar frecvența la rezonanță crește cu creșterea adâncimii de incastrare și cu creșterea densității terenului din jurul fundației.

b) În continuare s-a considerat o fundație de lungime infinită, lățimea $2B$ și înălțimea $2H$, fiind încadrată în semispaziu linear elastic, omogen și izotrop pe adâncimea D . Fundația este supusă la o forță armonică orizontală de frecvență ω și amplitudinea F_0 , la înălțimea H_t de la partea superioară (fig. 4.21.).

Pentru raportul H/B s-au folosit valorile 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 pentru coeficientul lui Poisson între 0,25-0,45 (domeniu specific pământurilor), iar pentru D/B valorile 0; 0,5; 1,00; 1,5.

S-a luat in considerare lunecarea si rotirea fundatiei simultan iar ca parametri de studiu amplitudinea miscarii si frecventa fara sau cu influenta amortizarii prin radiatie.

Ecuatia de miscare pentru sistem poate fi scrisa sub forma:

$$[M] \{\ddot{\Delta}\} + [C] \{\dot{\Delta}\} + [K] \{\Delta\} = \{F\}e^{i\omega t} \quad (4.35.)$$

unde:

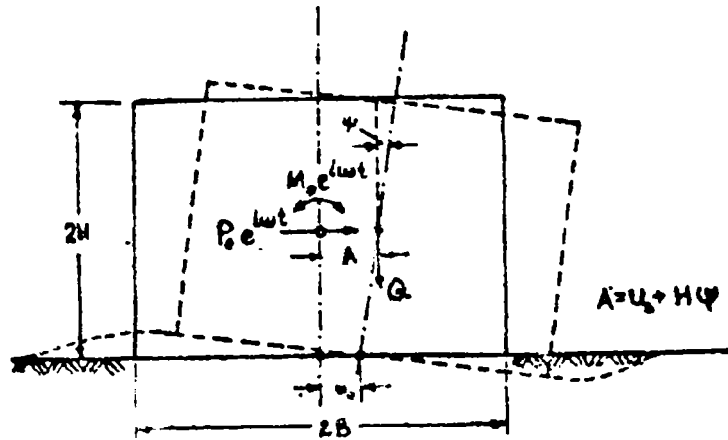
$[M]$ - matricea maselor

$\{C\}$ - matricea amortizarii

$[K]$ - matricea de rigiditate

$\{\Delta\}, \{\dot{\Delta}\}, \{\ddot{\Delta}\}$ - vectori pentru deplasari, viteze, acceleratii

$\{F\}$ - vectorul fortei excitatoare



(a) Miscarea vibratorie cuplata a fundatiei

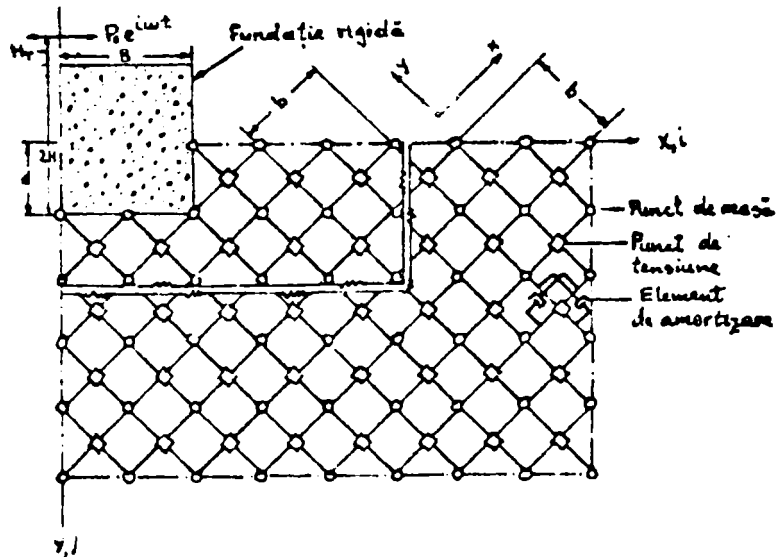


Fig. 4.21. Sistem fundatie - utilaj supus miscarii vibratorii

În cazul vibrațiilor libere, neglijând efectul amortizării prin radiație, ecuația mișcării devine:

$$[M]\{\ddot{\Delta}\} + [K]\{\Delta\} = 0 \quad (4.36.)$$

Pentru răspunsul complex se considera soluția:

$$\{\Delta\} = \{\delta\}e^{i\omega t}; \quad \Delta = \delta_1 + i\delta_2 \quad (4.37.)$$

și ecuațiile mișcării pentru sistem se pot scrie:

$$[K]^{-1}[M] \{\delta\} = \frac{1}{\omega^2} \{\delta\} \quad (4.38.)$$

Pentru a lua în considerare efectul amortizării prin radiație folosind soluția (3.23) și ecuația (3.21) se obține:

$$[R] \{\delta\} = \{F\} \quad (4.39.)$$

în care:

$$[R] = -\omega^2[M] + i\omega [C] + [K] \quad (4.40.)$$

c) Studiul parametric al sistemului utilaj (mașina) fundat pe suprafața vibrațiilor cuplate (fig. 4.21.), considerând terenul ca semispațiu, discretizat în elemente finite specifice, este analizat cu ajutorul calculului automat, iar rezultatele obținute sunt prezentate în fig. 4.22 ÷ 4.25.

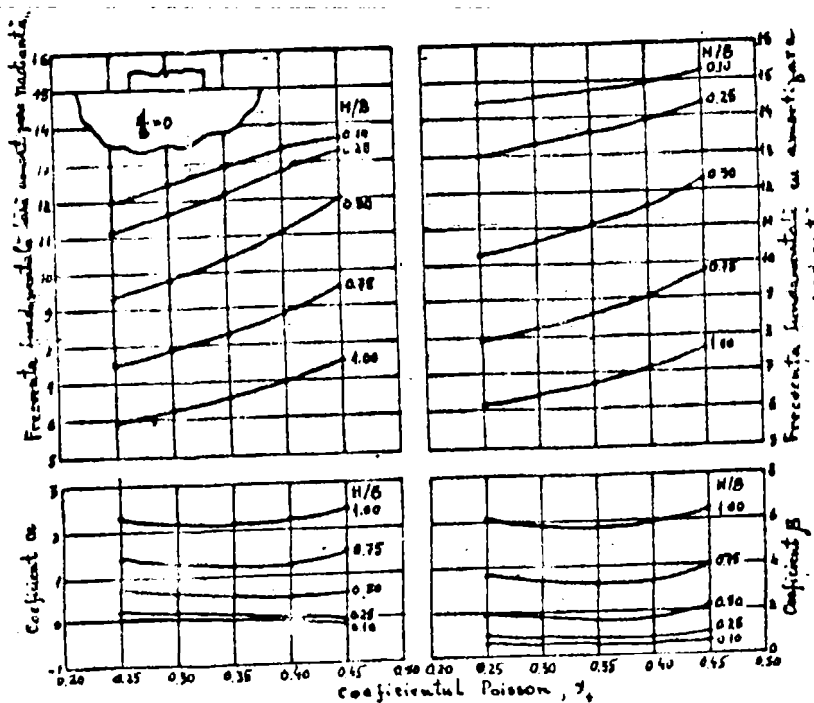


Fig. 4.22. Variația frecvenței de rezonanță fără și cu amortizare în funcție de coeficientul lui Poisson

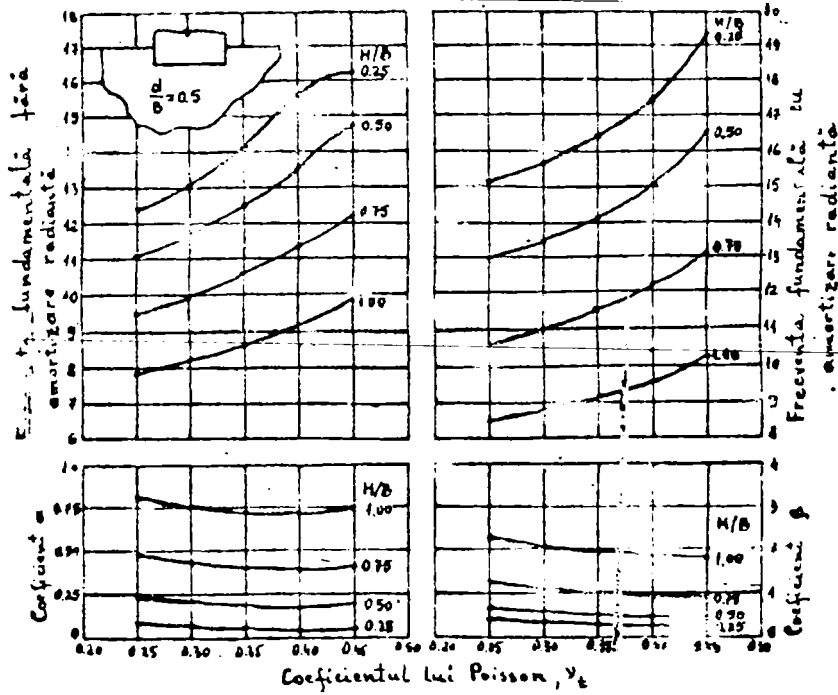


Fig. 4.23. Variatia frecventei de rezonanta fara si cu amortizare in functie de coeficientul lui Poisson

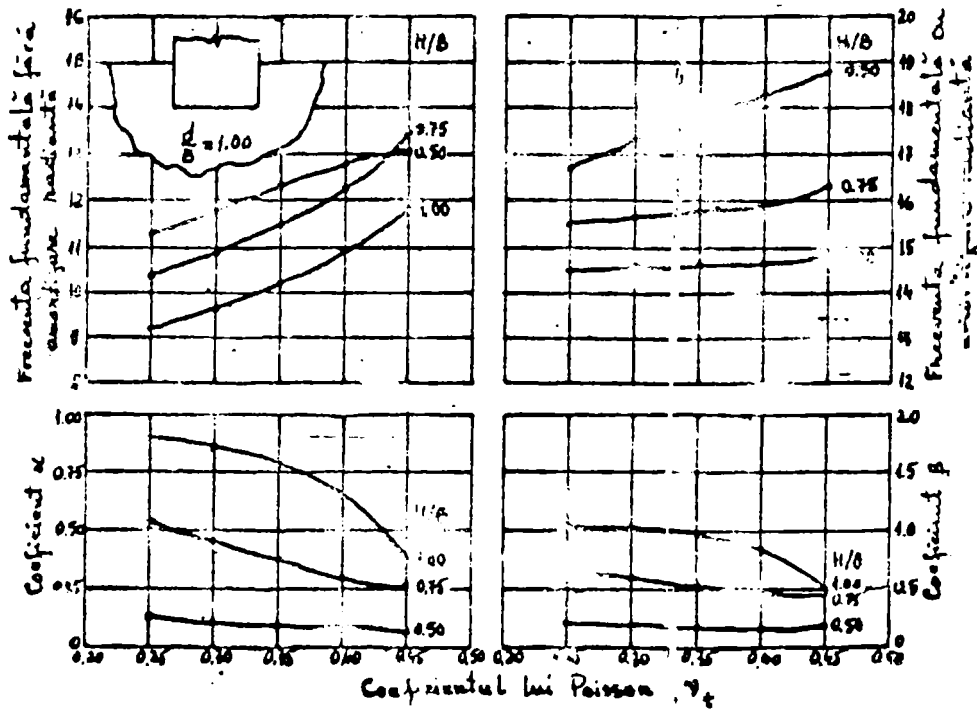


Fig. 4.24. Variatia frecventei de rezonanta fara si cu amortizare in functie de coeficientul lui Poisson

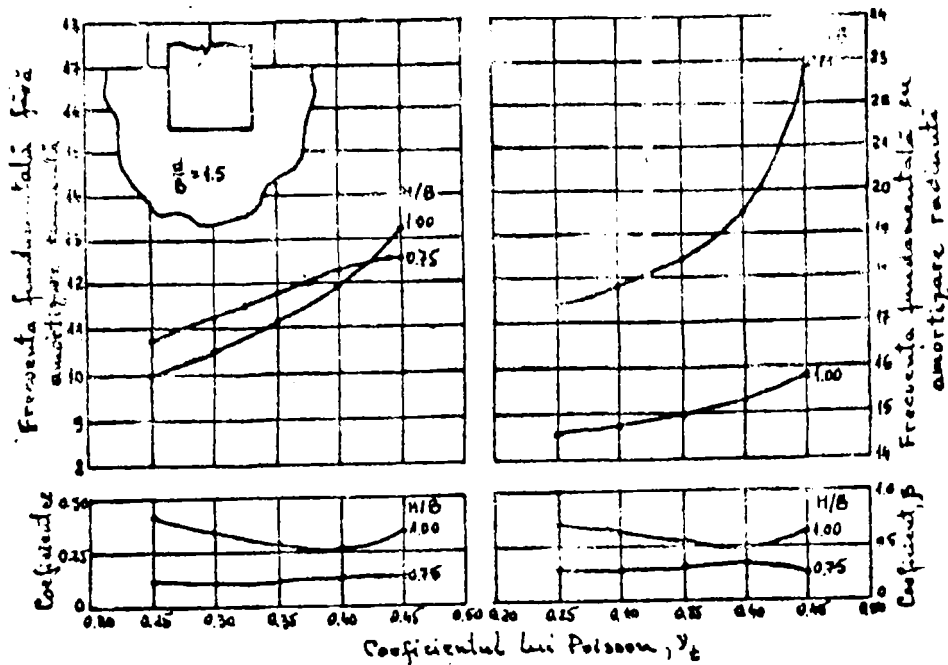


Fig. 4.25. Variatia frecventei de rezonanta fara si cu amortizare in functie de coeficientul lui Poisson

Se prezinta variatia frecventei de rezonanta fara si cu amortizare prin radiatie in functie de coeficientul lui Poisson ν , alti parametri neexplicitati fiind marimea actiunii orizontale si pozitia acesteia si viteza undelor de forfecare in semispatiu.

Se constata o marire a frecventei odata cu cresterea vitezei undelor de forfecare. Frecventa creste cu diminuarea raportului H/B si are un ecart mai mare cand se considera amortizarea prin radiatie.

Gradul de incastare influenteaza de asemenea raspunsul sistemului ; frecventa de rezonanta creste cu gradul de incastare.

d) Amplitudinea totala maxima a miscarii fundatiei se gaseste prin variatia ca marime a fortei aplicate si invers ca patrat a vitezei undelor de forfecare din semispatiu. Un studiu parametric amplu arata ca raspunsul maxim A poate fi exprimat prin relatia:

$$A = \frac{F_0}{V_f^2} \left[a \left(\frac{H}{B} \right) + \beta \right] \quad (4.41.)$$

in care :

V_f - este viteza undelor de forfecare in semispatiu,

H_t - pozitia fortei orizontale de excitatie fata de partea superioara a fundatiei,

F_0 - amplitudinea fortei de excitatie,

B - semilatiimea fundatiei,

UNIVERSITATEA
TEHNICA
BUCURESTI
CENTRALA

α si β – coeficienti dati in fig 4.22÷ 4.25 in functie de coeficientul lui Poisson si gradul de incastrare D/B . Coeficientii α si β scad mult cu cresterea gradului de incastrare, cum rezulta si din graficele mentionate.

CONCLUZII

Cercetarile efectuate permit sa se desprinda unele concluzii utile pentru cercetarile de viitor, dar si pentru conceptia si proiectarea fundatiilor de utilaje si masini.

1. Se mentioneaza mai intai efectul dual al amortizarii, acela de diminuare a amplitudinii si de amplificare a transmisibilitatii la acordare joasa, aspecte foarte importante pentru proiectarea fundatiilor de utilaje si masini.

2. Izolarea fundatiilor cu perne elastice si raspunsul dinamic al acestora este mai putin studiat. Curbele obtinute pentru valori ale raportului $N = 0,5; 1; 1,5$, arata ca pentru straturi elastice relativ groase raspunsul sistemului se atenuaza. Pentru a realiza valori ale factorului N corespunzatoare se poate deci actiona, fie asupra stratului elastic prin grosime si modul de elasticitate, fie asupra terenului care poate fi tratat prin procedee mecanice sau fizico-chimice pentru a obtine caracteristici dorite.

3. Cercetarile privind efectele incastrarii fundatiilor in teren sunt de mare utilitate practica, intrucat adesea pot conduce la proiectarea mai economica (in mod frecvent fundatiile de utilaje sunt incastrate in teren) si se poate considera efectul de interactiune ca mijloc de izolare si deci de atenuare a vibratiilor si consecintele acestora.

5. MODELE DE CALCUL PENTRU DETERMINAREA COEFICIENTILOR ELASTICI AI TERENURILOR SI ALE CONSTANTELOR ELASTICE A FUNDATIILOR

5.1. Consideratii generale asupra caracteristicilor utilizate in studiul dinamic al fundatiilor generatoare de vibratii

Dintre problemele carora inginerul mecanic proiectant trebuie sa le gaseasca un raspuns este cea legata de comportarea fundatiilor sub actiunea solicitarilor dinamice.

Acestea pot proveni dintr-o multime de surse:

- din functionarea unor masini asezate pe fundatia respectiva, caz in care calculul se face in mod special la solicitari dinamice;
- din alte surse ca: trafic teran sau suprateran, explozii subterane, vant, impact, seism, caz in care calculul la solicitari dinamice vine in completarea celui static.

Determinarea coeficientilor elastici ai terenului si a constantelor elastice – rigiditate – ale mediului de rezemare care stau la baza proiectarii fundatiilor de masini, a constituit tema a numeroase activitati de cercetare, si implicit, lucrari stiintifice. Ea constituie una din problemele principale de calcul si proiectare a fundatiilor supuse la vibratii. Rezultatele metodei de calcul aplicate in practica sunt aplicabile cu suficient grad de certitudine in cazul acestui tip de fundatii intrucat sunt respectate aproape integral ipotezele adoptate in dezvoltarea diferitelor modele de calcul, in special cea referitoare la raspunsul elastic al fundatiei si terenului. [8, 10, 13, 15, 79]

5.1.1. Coeficientii elastici ai terenului de fundare: C_z C_x C_φ C_ψ

Coeficientii elastici ai terenului de fundare C_z , C_x , C_φ , C_ψ , folositi in studiul dinamic al fundatiilor de masini se determina pe baza rezultatelor cercetarilor experimentale de teren dar si in laborator, urmand schema logica din fig. 5.1., ca marime de baza fiind recomandata utilizarea in calcul a modului dinamic de deformatie transversala G_d .

5.1.2. Relatia dintre tasari si presiuni

Legea lui Hooke exprima relatia liniara care exista intre eforturi unitare, respectiv presiuni si deformatii specifice ε sau γ , ultimele fiind marimi adimensionale. La corpuri cu contur bine determinat – piese de masini sau elemente de constructii –

deformatiile specifice ε si γ pot fi usor determinate prin calcul sau experimental. [15, 45, 56, 69]

Terenul de fundare reprezinta un semispatiu elastic, avand accesibila numai suprafata, restul fiind considerat infinit.

Din punctual de vedere al deformatiilor, marimea cea mai usor de masurat este *tasarea*, adica deplasarea suprafetei terenului sub actiunea unei presiuni.

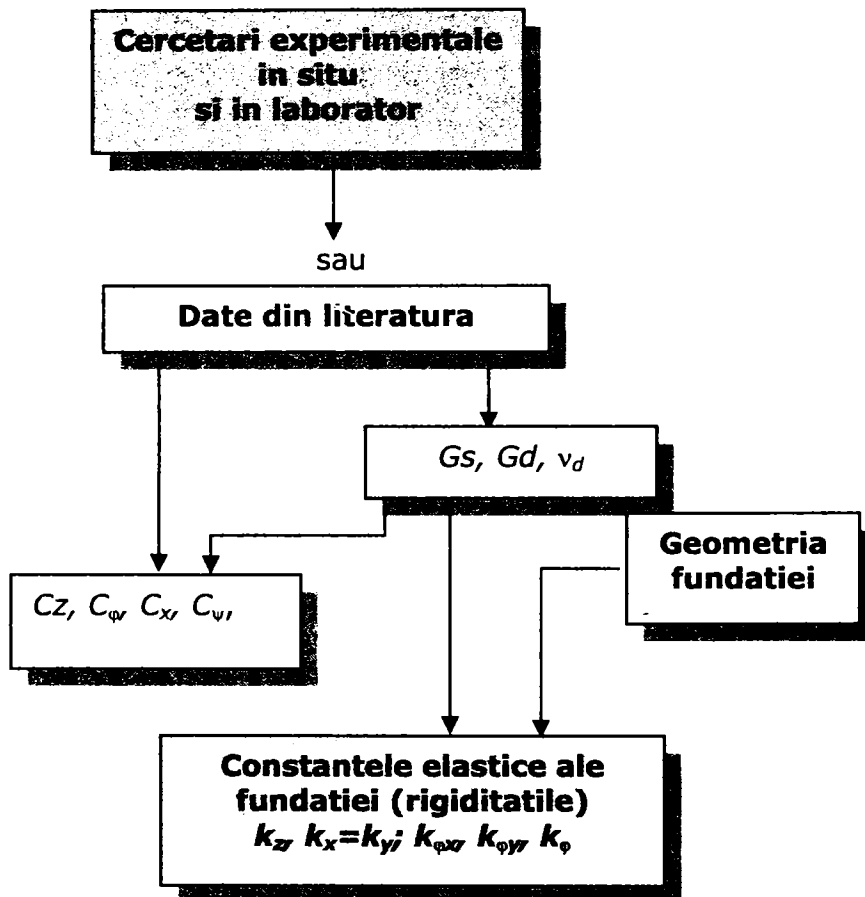


Fig. 5.1 Schema logica pentru determinarea caracteristicilor in regim static si dinamic a terenului si a constantelor elastice ale fundatiilor

Alta marime, de asemenea usor de calculat, este *presiunea* pe suprafata libera a terenului, exercitata de aparatul cu care se face experimentarea. Se ajunge astfel la ideea de a exprima relatia dintre presiuni si tasari, deci ceva analog legii lui Hooke. Daca presiunea exercitata vertical, avand valoarea p_z , iar tasarea totala corespunzatoare ei este z_t , urmeaza a se stabili pe cale experimentală relatia:

$$p_z = f(z_t) \quad (5.1.)$$

In figura 5.2. se da relatia dintre p_z si z_t stabilita prin apasarea unei matrite cu suprafata $S=1 \text{ m}^2$ pe nisip foarte umed cu granulatie medie.

In figura 5.3 se arata curba obtinuta pentru pamant argilos cu loess prin apasare cu matrita cu $S=8 \text{ m}^2$.

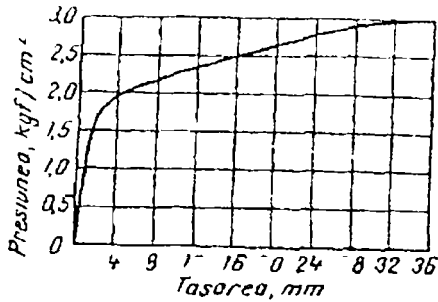


Fig. 5.2 Graficul de variatie a presiunii verticale p_z si tasarea corespunzatoare z pentru un nisip foarte umed cu granulatie medie

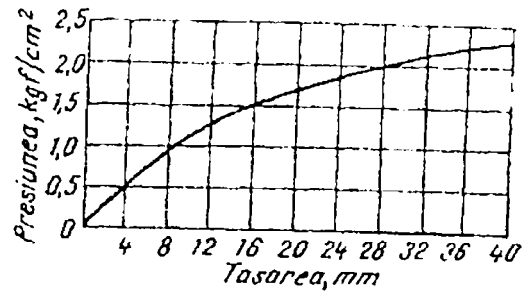


Fig. 5.3 Graficul de variatie a presiunii verticale p_z si tasarea corespunzatoare z pentru un pamant argilos

Ambele diagrame, ca si altele ce se pot intocmi in mod analog, arata ca la inceput exista o relatie liniara intre presiuni si tasari, care se poate exprima sub forma:

$$p_z = Kz_t \quad (5.2.)$$

coeficientul K fiind numit « coeficient de tasare » sau « coeficient de balast ». Se observa existenta unei *limite de proportionalitate* in jur de $1,5 \text{ daN/cm}^2$ in figura 5.2 respectiv $1,25 \text{ daN/cm}^2$ in figura 5.3.

Ecuatia de dimensiuni arata ca, daca p_z se masoara in daN/cm^2 , coeficientul de balast K se va masura in daN/cm^3 . Descarcand terenul, se constata ca numai o mica parte din tasarea z_t se anuleaza, restul ramane ca deformatie permanenta. Prin urmare, tasarea are doua componente: una elastica, alta permanenta. Rezulta de aici ca in zona de proportio-nalitate terenul nu este elastic, cum se intampla, de exemplu, la otel.

In cazul actiunilor dinamice asupra terenului, intereseaza numai deformatiile elastice, reversibile. Ca urmare, se va lua in considerare numai tasarea elastica, notata cu z , ceea ce transforma relatia (5.2.) in:

$$p_z = C_z z \quad (5.3.)$$

S-a introdus astfel coeficientul de contactie elastica, C_z , care se masoara, ca si K , in daN/cm^3 . Experienta arata ca, pentru valori mici ale presiunilor, relatia (5.3) este liniara, deci C_z este constant.

Pentru metodele de calcul in proiectarea fundatiilor generatoare de vibratii, coeficientii elastici ai terenului sunt: [11, 15]

C_z – coeficientul de contractie elastica uniforma sau coeficientul elastic pentru translatie verticala masurat in kN/m^3 , pentru care in tabelul 5.1. se dau valori orientative in functie de natura terenului si presiunea conventionala.

Tabel 5.1. Valori orientative ale coeficientului C_z

Natura pamantului	Presiunea conventionala kN/m^2	Coeficientul C_z kN/m^3
Argile si pamanturi argiloase cu consistenta redusa, pamanturi nisipoase fine	$\leq 1,5 \cdot 10^2$	$\leq 3 \cdot 10^4$
Argile consistente, nisipuri indesate	$\leq 3,5 \cdot 10^2$	$\leq 3 \cdot 10^4$
Argile tari, nisipuri cu pietris indesate	$\leq 6 \cdot 10^2$	$\leq 10 \cdot 10^4$
Terenuri stancoase	$\leq 6 \cdot 10^2$	$\leq 10 \cdot 10^4$

Pentru calculul coeficientului C_z , in cazul in care importanta lucrarii nu reclama determinarea acestuia prin experimentari de teren, se pot utiliza urmatoarele relatii:

$$C_z = 1,13 \cdot \frac{E_s}{(1-\nu^2)R\sqrt{\pi}} \quad (5.4.)$$

pentru fundatii avand talpa circulara:

$$C_z = k_1 \cdot \frac{E_s}{(1-\nu^2)\sqrt{a \cdot b}} \quad (5.5.)$$

pentru fundatii dreptunghiulare:

$$C_z = \frac{E_d}{f \cdot \sqrt{a \cdot b}} \quad (5.6.)$$

unde:

- E_s, E_d – modul de elasticitate static, dinamic al pamantului;
- ν - coeficientul lui Poisson;
- R, a, b – raza, respectiv dimensiunile in plan ale talpii fundatiei;
- k_1 si f – coeficientii de forma ai fundatiei dati in tabelul 5.2 si 5.3.

Tabel 5.2. . Coeficienti de forma K_1 si f

a / b	1,0	1,5	2,0	3	5	10
K	1,06	1,07	1,09	1,13	1,22	1,41
f	1,045	0,435	0,420	0,375	-	-

C_x – coeficientul de lunecare elastica uniforma sau coeficientul elastic pentru translatie orizontala – masurata in kN/m^3 . Avand determinat C_z , pentru C_x se poate considera valoarea:

$$C_x = 0,7C_z \quad (5.7.)$$

C_ϕ – coeficientul de contractie elastica neuniforma sau coeficientul elastic pentru rotatie in jurul unei axe orizontale, masurat in kN/m^3 , se poate lua ca valoare:

$$C_\phi = 2C_z \quad (5.8.)$$

Coeficientul C_ϕ poate fi calculat si cu relatia:

$$C_\phi = \frac{E_d}{f' \sqrt{a \cdot b}} \quad [\text{kN/m}^3] \quad (5.9.)$$

unde: f' este un coeficient calculat in functie de raportul a/b si de adancimea relativa z/b , z fiind adancimea sub talpa fundatiei pana la stratul practic incompresibil.

Tabel 5.3. Coeficientul f'

z/b	a/b		
	1,0	1,5	2,0
0,5	0,23	0,22	0,21
1,0	0,29	0,34	0,36
2,0	0,31	0,34	0,36
	0,32	0,36	0,38

C_ψ – coeficientul de lunecare elastica neuniforma sau coeficientul elastic pentru rotatie in jurul unei axe verticale – masurat in kN/m^3 :

$$C_\psi = 0,75 C_z \quad (5.10.)$$

5.1.3. Consideratii asupra valorilor coeficientilor elastici rezultati din calculul analitic si cercetari experimentale

In prescriptiile tehnice rusesti TU 60-49 se recomanda a se alege coeficientii elastici indicati in tabelul 5.4. atunci cand fundatia are $S > 10\text{m}^2$.

Tabel 5.4. Valori recomandate pentru coeficientii C_z , C_v si C_x la $S > 10\text{m}^2$ dupa TU 60-49

Categoria terenului	Natura terenului	Presiunea statica admisibila p_a daN/cm ²	C_z daN/cm ³
I	Terenuri slabe (argila in stare plastica, pamant nisipos, terenuri de categoriile II-III amestecate cu mal)	Pana la 1,5	Pana la 3
II	Terenuri cu rezistenta medie (argile la limita de plasticitate, nisipuri)	Pana la 3,5	Pana la 6
III	Terenuri rezistente (argila tare, pietris, nisip cu pietris, leoss, argila ci leoss)	Pana la 6	Pana la 10
IV	Terenuri stancoase	Peste 6	Peste 10

NOTA: Pentru suprafete mai mici de 10 m^2 , valorile din tabel se inmultesc cu factorul $3.2 / \sqrt{S}$. Se ia $C_v = C_z$, $C_x = 0.5 C_z$.

Numerosi cercetatori au facut experiente pentru determinarea coeficientilor elastici si compararea lor cu cei stabiliti pe cale teoretica. Acestea au aratat concordante multumitoare intre teorie si experienta, respectiv au dus la concluzia ca pentru rapoarte uzuale intre laturile talpii fundatiei ($\alpha = a/b$) se pot lua in medie,

$$C_v = 2C_z; C_x = 0.5 C_z \quad (5.11.)$$

Rausch recomanda:

$$C_x = \frac{1}{3} C_z + \frac{2}{3} C_z \quad (5.12.)$$

Cazurile de vibratii in jurul unei axe verticale sunt rare din acest motiv s-au facut putine studii asupra coeficientului C_v . Datele cunoscute arata ca se poate lua:

$$C_v = 1.5C_x \quad (5.13.)$$

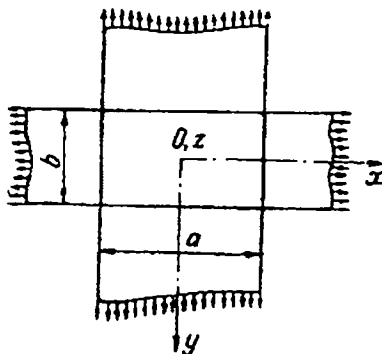


Fig. 5.4. Schema de calcul a fundatiei pentru stabilirea coeficientilor elastici ai terenului

Nepotrivirile dintre valorile coeficientilor elastici obtinuti prin experimentari si prin calcule au facut pe unii cercetatori sa caute noi solutii de rezolvare a problemei. Astfel s-a pornit de la ideea ca fundatia este un bloc rigid, de dimensiuni in plan a si b , iar terenul poate fi inlocuit prin doua membrane elastice de lungimi infinite, respectiv de latimi a si b , asezate in cruce ca in figura 5.4. Ei ajung la stabilirea urmatoarelor expresii ale coeficientilor elastici ai terenului:

$$C_z = C_0 \left[1 + \frac{2(a+b)}{S \cdot \Delta} \right] \sqrt{\frac{p}{p_0}} \quad (5.14.)$$

$$C_\varphi = C_0 \left[1 + \frac{2(a+b)}{S \cdot \Delta} \right] \sqrt{\frac{p}{p_0}} \quad (5.15.)$$

$$C_z = D_0 \left[1 + \frac{2(a+b)}{S \cdot \Delta} \right] \sqrt{\frac{p}{p_0}} \quad (5.16.)$$

in care:

$S = ab$ este suprafata talpii fundatiei;

Δ - un coeficient care are practic aceeasi valoare $\Delta = 1 \text{ m}^{-1}$;

p_0 - o presiune de referinta, in general de ordinul 0.1-0.2 daN/cm², la care se determina in laborator modulul de elasticitate al terenului;

p - presiunea statica pe teren, data de raportul dintre greutatea G a fundatiei si suprafata S a talpii.

Cercetarile au aratat ca, coeficientii C_0 si D_0 sunt constante ale unui teren, independente de dimensiunile fundatiei, definite prin relatiile:

$$C_0 = 1.7 \frac{E_0}{1-\nu^2} \cdot 10^{-3}, \text{ daN/cm}^3 \quad (5.17.)$$

$$D_0 = 1.7 \frac{E_0}{(1+\nu^2)(1-0.5\nu)} \cdot 10^{-3}, \text{ daN/cm}^3 \quad (5.18.)$$

unde:

E_0 - este modulul de elasticitate, determinat in laborator, la presiunea $p_0 = 0.1 - 0.2 \text{ daN/cm}^2$;

ν - coeficientul lui Poisson.

Pentru ν se pot folosi urmatoarele valori:

argila	$\nu = 0.45 - 0.50$
pamant argilos	$\nu = 0.40 - 0.45$
pietris	$\nu = 0.35 - 0.40$
nisip	$\nu = 0.30 - 0.35$

Prin impartirea relatiilor (5.17) de mai sus, rezulta:

$$\frac{D_0}{C_0} = \frac{1-\nu}{1-0.5\nu} \quad (5.19.)$$

Cu valoarea medie $\nu = 0,4$ se obtine relatia

$$D_0 = 0.75 C_0 \quad (5.20.)$$

In felul acesta, studiul coeficientilor C_z , C_0 , C_x , se reduce la cunoasterea lui C_0 si la aplicarea relatiilor (5.10) tinand seama de faptul ca $\Delta = 1 \text{ m}^{-1}$.

Experientele facute au dus la conculzia ca se poate face o clasificare a terenurilor dupa valoarea lui C_0 , ca in tabelul 5.5.

Tabel 5.5. Clasificarea terenurilor pentru fundatii de masini

Categoria terenului	Caracteristica terenului	Scurta descriere a terenurilor	$C_0 \text{ daN/cm}^3$ (pentru $p_0=0.2 \text{ daN/cm}^2$)
I	<i>Nerigide</i>	Pietris, pamant argilos si argila in stare plastica, aproape de limita de curgere	0.5 – 0.8
II	<i>Rigiditate redusa</i>	Pietris, pamant argilos si argila plastica; teren prafos, cu porozitate mijlocie, saturat cu apa	0.8 – 1.5
III	<i>Rigiditate medie</i>	Pietris, pamant argilos si argila plastica; nisip prafos si afanat; nisip cu granulatie de orice fel, independent de porozitate; pietris; teren leossoidal cu umiditate naturala	1.5 – 2.0
IV	<i>Rigide</i>	Pamant argilos si argila; foarte plastice si dure	2.0 – 3.0

Rausch da o comparatie interesanta intre elasticitatea terenului si a diverselor materiale folosite la fundatii de masini. Daca se considera un teren cu $C_z = 5 \text{ daN/cm}^3$, pe care reazema o fundatie cu presiunea statica $\sigma = G / S = 1 \text{ daN/cm}^2$, se obtine o tasare:

$$\delta_0 = \frac{G}{C_z S} = \frac{1}{5} = 0,2 \text{ cm} \quad (5.21.)$$

Din cele prezentate se poate trage concluzia ca in lipsa unor valori ale caracteristicilor elastice ale terenurilor, acestea se pot extrage din litertura de specialitate intrucat valorile sunt acoperitoare.

5.2. Coeficienti elastici pentru fundatii amplasate la suprafata terenului

Coeficientul elastic C_z se defineste ca raportul dintre sarcina terenului pe unitatea de arie ca suprafata orizontala la tasarea corespunzatoare a suprafetei. [11, 15, 69)

Cercetari experimentale arata ca acest coeficient elastic depinde de aria suprafetei de contact A_c , de presiunea medie de contact si de ecartul presiunii de contact p . O crestere a ariei suprafetei de contact conduce la o diminuare a coeficientului elastic C_z . Valoarea coeficientului C_z creste odata cu cresterea presiunii medii de contact si descreste la presiuni ciclice (de exemplu la fundatii pentru utilaje si masini).

In cadrul modelului Winkler C_z este constant si corespunde unui camp uniform de resoarte independente.

Modelul semispatiului elastic, omogen si izotrop (Boussinesq) pentru o placa rigida circulara data, conduce la urmatoarea relatie pentru C_z :

$$C_z = \frac{\bar{p}}{s} = \frac{4G_t}{\pi (1-\nu_t)r_0} = \frac{4G_t}{1-\nu_t} \cdot \frac{1}{\sqrt{\pi A_c}} \quad (5.22.)$$

in care:

- C_z - coeficientul elastic;
- \bar{p} - presiunea fundatiei;
- s - deplasarea sau tasarea fundatiei;
- G_t - modul de forfecare a semispatiului;
- r_0 - raza placii circulare;
- ν_t - coeficientul lui Poisson al semispatiului;
- A_c - aria de contact a placii.

Deci C_z este invers proportional cu radical din aria A_c .

In fig. 5.5 se arata o comparatie a coeficientului elastic dupa modelul Winkler, respectiv al semispatiului cu cel a unui nisip aluvionar frecvent intalnit, determinat experimental. Pentru o anumita arie A^* a suprafetei de contact, cei trei coeficienti sunt identici.

Admitand pentru teren modelul semispatiului omogen si izotrop, se poate utiliza incercarea cu placa pentru determinarea modelului de elasticitate echivalent. Pentru situatia ideala, modelul de elasticitate trebuie sa fie independent de marimea placii si presiunea de contact. Pentru teren acest modul echivalent devine o functie de forma si marimea placii, de presiunea medie de contact si de presiunea ciclica medie. Un modul echivalent se poate determina pentru modelul Winkler, care este proportional cu radicalul din aria de contact.

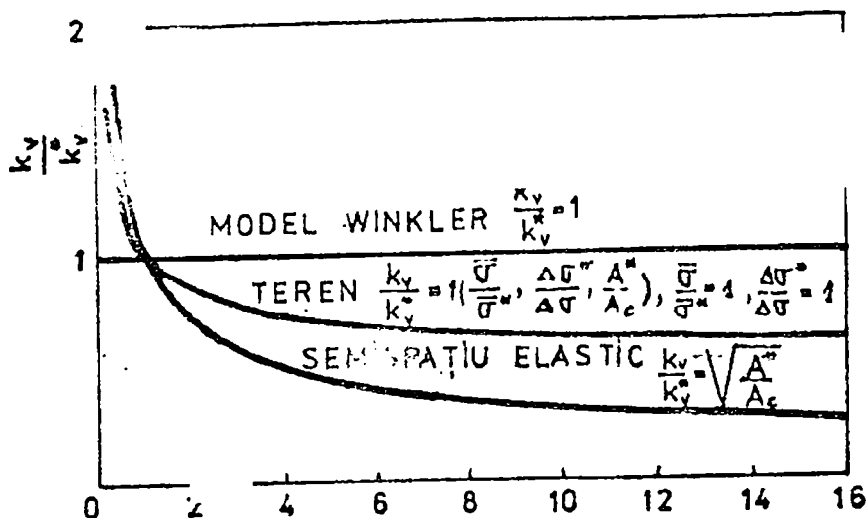


Fig. 5.5 Schema de calcul a fundatiei pentru stabilirea coeficientilor elastici ai terenului

In fig. 5.5 este prezentata $G/(1 - \nu_t)$ in functie de aria suprafetei de contact pentru un semispatiu elastic, alcatuit din nisip aluvionar experimental si modelul Winkler. Presiunea de contact pentru teren este mentinuta la nivel constant. Pentru suprafete de contact dreptunghiulare si blocuri rigide de fundare C_z are forma:

$$C_z = \alpha_z \frac{2G_t}{1 - \nu_t} \cdot \frac{1}{\sqrt{A_c}} \quad (5.23.)$$

unde coeficientul α_z depinde de raportul a/b .

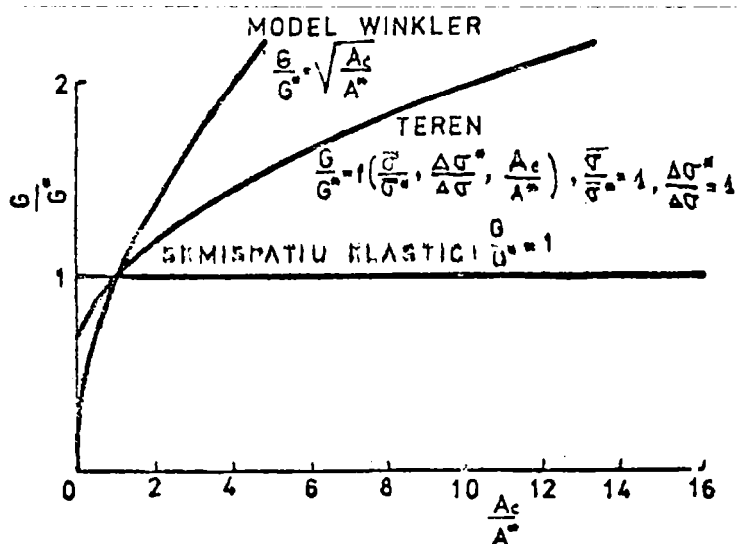


Fig. 5.6. Modelul Winkler pentru modulul de forfecare a semispatului elastic functie de aria suprafetei de contact

Adesea fundatiile de utilaje si masini sunt actionate de momente, a caror efecte se suprapun peste cele date de greutatea ansamblului utilaj-masina si fundatie (fig. 5.7).

Presiunile de la marginile fundatiei, pentru teren considerand modelul Winkler, au expresiile:

$$p_1 = \frac{Q}{A_c} + \frac{M(a - e_0)}{I_c} \quad (5.24.)$$

$$p_2 = \frac{Q}{A_c} - \frac{Me_0}{I_c} \quad (5.25.)$$

unde:

- p_1 si p_2 sunt presiunile la marginile fundatiei ($p_1 = p_M$ - maxima; $p_2 = p_m$ - minima);
- Q - este greutatea ansamblului;
- A_c - aria suprafetei de contact dintre fundatie si teren;
- a - dimensiunea suprafetei de contact in planul de incovoiere;
- e_0 - distanta de la axa la punctul de presiune minima;
- I_c - momentul de inertie al suprafetei A_c fata de axa neutra.

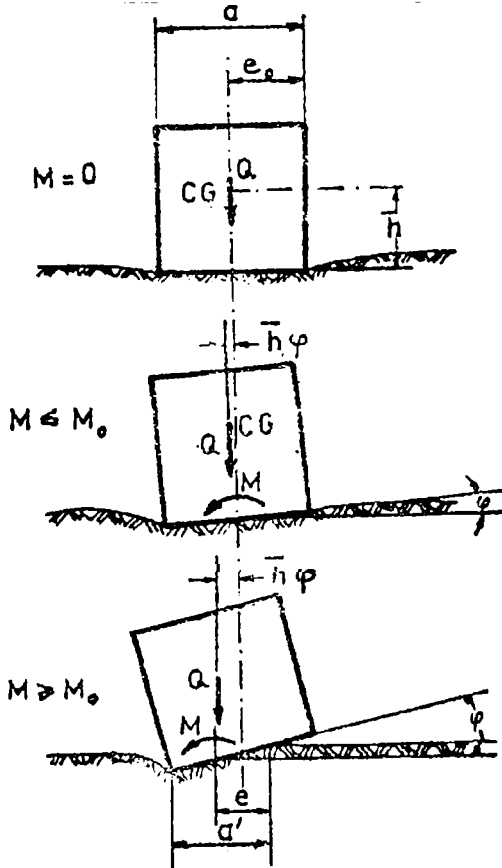


Fig. 5.7. Modelul de calcul cu efecte suprapuse pe fundatie din greutate si momentul dat de ansamblul utilaj-masina

Aceste relatii sunt valabile pentru $p_m \geq 0$ (presiunile de compresiune s-au considerat pozitive). Evident pentru $p_2 = p_m = 0$ rezulta:

$$M_0 = \frac{Q I_c}{A_c e_0} \quad (5.26.)$$

M_0 este valoare maxima a momentului pentru care intreaga supra-fata de contact ramane activa, adica este supusa la compresiune.

Pentru $0 \leq M \leq M_0$, intre momentul M si rotirea φ exista relatia urmatoare, valabila pentru orice forma a suprafetei de contact:

$$M \cong C_z I_0 \varphi \quad (5.27.)$$

La limita superioara $M_0 = C_z I_c \varphi_0$ si tinand cont de (5.26) se gaseste valoarea rotirii φ_0 :

$$\varphi_0 = \frac{Q}{C_z A_c e_0} \quad (5.28.)$$

Exprimand legatura $M - \varphi$ se pune in evidenta constanta elastica echivalenta k_φ , in particular pentru suprafata de contact circulara si dreptunghiulara rezultand:

- suprafata de contact circulara:

$$M = \frac{\pi D^4}{64} C_z \varphi = k_\varphi \varphi \quad (5.29.)$$

$$0 \leq \varphi \leq \frac{8}{\pi} \cdot \frac{Q}{C_z a^3} = \varphi_0 \quad (5.30.)$$

- suprafata de contact dreptunghiulara:

$$M = \frac{a^3 b}{12} C_z \varphi = k_\varphi \varphi \quad (5.31.)$$

$$0 \leq \varphi \leq \frac{2Q}{C_z a^2 b} = \varphi_0 \quad (5.32.)$$

Este mai dificil de stabilit legatura $M - \varphi$ pentru fundatii rezemate pe semispatiu liniar-omogen. Astfel de legaturi sunt cunoscute pentru suprafete de contact circulare si dreptunghiulare (fundatia considerandu-se rigida).

- suprafata de contact circulara:

$$M = \frac{1}{3} \cdot \frac{G}{1-\nu} D^3 \varphi = \frac{1}{3\pi} \cdot \frac{G}{1-\nu} A_c D \varphi = k_\varphi \varphi \quad (5.33.)$$

$$0 \leq \varphi \leq \frac{1}{2} \cdot \frac{1-\nu}{G} \cdot \frac{Q}{D^2} \quad (5.34.)$$

- suprafata de contact dreptunghiulara:

$$M = \pi \cdot \frac{G}{1-\nu} a^2 b \varphi = \kappa_{\varphi} \varphi ; \text{daca } \frac{a}{b} \ll 1 \quad (5.35.)$$

$$M = \pi \cdot \frac{G}{1-\nu} A_0 a_0 \varphi = \kappa_{\varphi} \cdot \varphi ; \text{daca } 0 \leq \varphi \leq \varphi_0 = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1-\nu}{G} \cdot \frac{Q}{ab} \quad (5.36.)$$

unde:

b - dimensiunea fundatiei in directia normala la planul de incovoiere.

Se mentioneaza si solutia data de Schleicher:

$$M = \alpha_{\varphi} \cdot \frac{2G}{1-\nu} \cdot \frac{I}{\sqrt{A_c}} \cdot \varphi \quad (5.37.)$$

unde: α_{φ} depinde de raportul a / b .

Intre coeficientul C_z si modul de elasticitate G se stabileste o relatie care arata ca aceste marimi sunt interdependente.

$$C_z = \frac{3\pi}{2} \cdot \frac{G}{1-\nu} \cdot \frac{1}{a} \quad (5.38.)$$

Daca coeficientul C_z se determina experimental cu ajutorul unor placi dreptunghiulare, aria suprafetei de contact dintre fundatie si teren, A_c , se determina cu relatia:

$$\frac{A_c}{A_0} = \frac{A_c}{ab} = \frac{64a}{9\pi^3 b} = 0,229 \cdot \frac{a}{b} \quad (5.39.)$$

unde a si b sunt dimensiunile suprafetei de contact dintre fundatie si teren in planul de incovoiere.

Pentru o fundatie circulara, coeficientul C_z se calculeaza cu relatia:

$$C_z = \frac{64}{3\pi} \cdot \frac{G}{1-\nu} \cdot \frac{1}{D} \text{ conduce la } A_c = \frac{9\pi D^2}{256} \quad (5.40.)$$

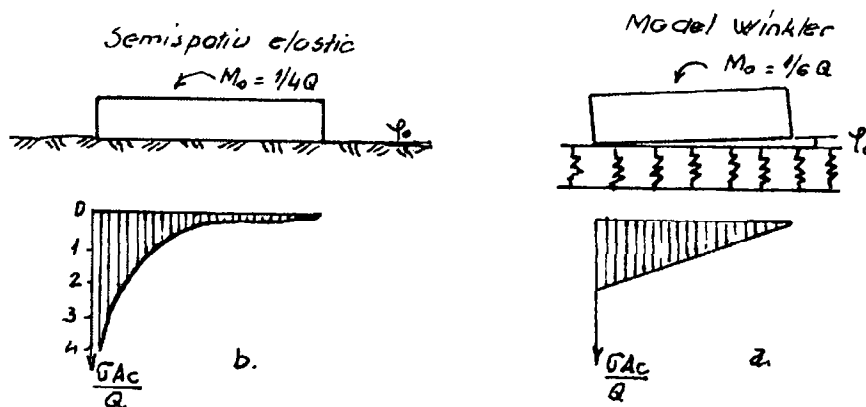


Fig 5.8. Distributia presiunii sub fundatie dupa modelul Winkler

5.3. Relatia dintre moment si rotire la fundatii incastrate in teren

In numeroase cazuri fundatiile pentru utilaje si masini sunt incastrate in teren, raspunsul dinamic al acestora fiind modificat in raport cu fundatiile de suprafata, de rezistenta laterala a terenului. [45, 48, 56]

Considerand terenul ca un mediu Winkler, fundatia are legaturi de tipul resoartelor (fig. 5.9.)

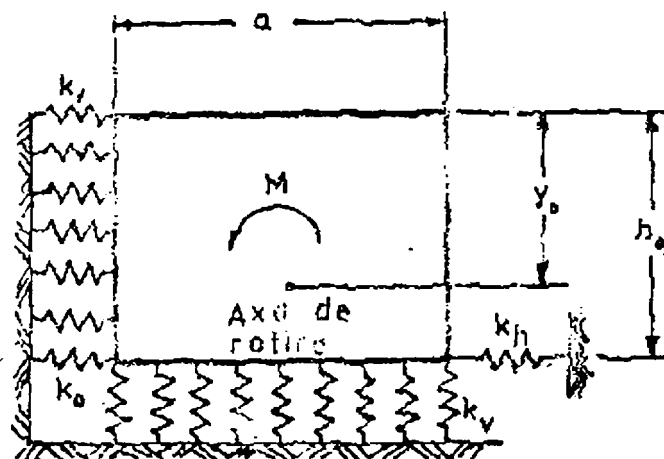


Fig. 5.9. Distributia presiunii sub fundatie dupa modelul Winkler

Rigiditatea laterala a terenului se considera variabila liniar pe inaltime si are valoarea k_1 la partea superioara si k_0 la baza fundatiei. Coeficientul de rigiditate la deplasari verticale se noteaza k_v si este tipul coeficientului C_2 . De asemenea, rezistenta terenului la baza se ia in considerare prin cuplarea fundatiei cu un resort de rigiditate k_r , care se determina in raport cu ceilalti coeficienti si elemente geometrice, din conditii de echilibru.

Relatia dintre momentul minim, $M_{min.}$, aplicat fundatiei si rotirea corespunzatoare a acesteia poate fi pusa in final sub forma:

$$\frac{M_{min}}{M_0} = \frac{\varphi}{\varphi_0} \cdot \left[1 + \frac{1}{4} \cdot \frac{h_f}{a} \cdot \frac{k_0}{k} \cdot \frac{1 + 4 \frac{k_1}{k_0}}{1 + \frac{k_1}{k_0}} \right] \quad (5.41.)$$

pentru:

$$0 \leq \varphi \leq \varphi_0 \quad (5.42.)$$

Daca $\varphi_0 \leq \varphi \ll 1$ relatia dintre momentul minim, $M_{min.}$, aplicat fundatiei si rotirea corespunzatoare a acesteia se calculeaza:

$$\frac{M_{min}}{M_0} = 3 - 2 \cdot \sqrt{\frac{\varphi_0}{\varphi} + \frac{1}{4} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_0} \cdot \left(\frac{h}{a}\right)^3 \cdot \frac{k_0}{k_v} \cdot \frac{1 + 4 \frac{k_1}{k_0}}{1 + \frac{k_1}{k_0}}} \tag{5.43.}$$

Coeficientul k_v poate fi determinat prin incercari cu placa rigida tinand cont de relatiile (5.24) si (5.30). Coeficientii k_1 si k_0 pot fi de asemenea determinati experimental.

Pentru moment se obtine o valoare la limita inferioara pentru $k_1=0$ si o valoare la limita superioara $k_1= k_0$. Astfel de valori au fost calculate si reprezentate grafic in fig. 5.10.

Se constata ca efectul incastrarii este mai important la fundatiile care sunt pe o inaltime mai mare sub nivelul terenului. Cativa parametri au fost grupati intr-un factor λ , care influenteaza semnificativ valoarea momentului si implicit a rigiditatii k_0 .

$$\lambda = \frac{h_0}{a} \cdot \sqrt[3]{\frac{k_0}{k_v}} \tag{5.44.}$$

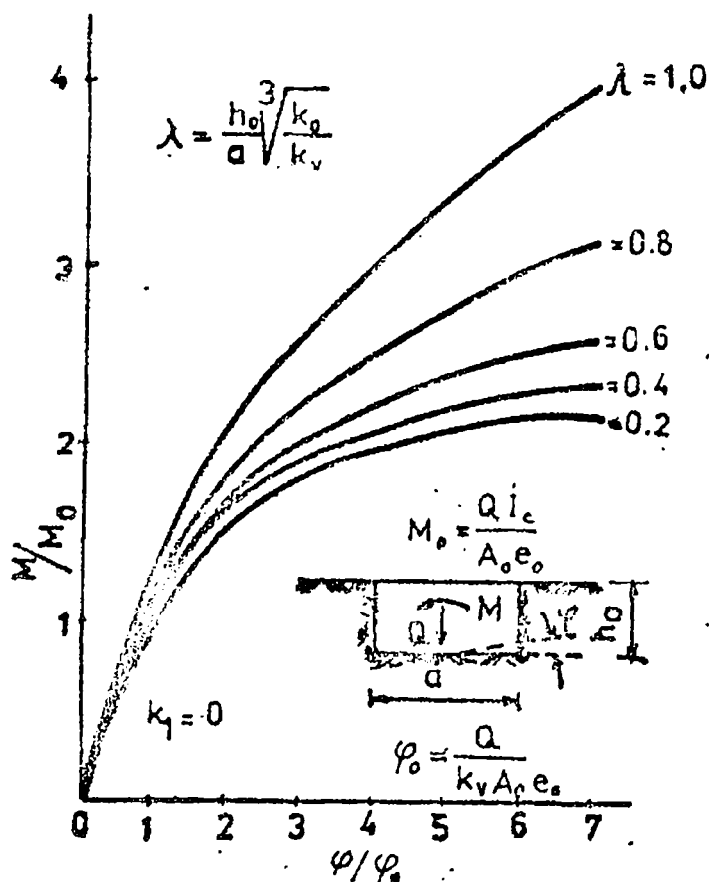


Fig. 5.10. Grafic de variatie intre raportul M / M_0 si φ / φ_0 pentru $k_1=0$

Acest factor trebuie luat in considerare si in cazul incercarilor pe modele sau pe fundatii reale (fig. 5.11).

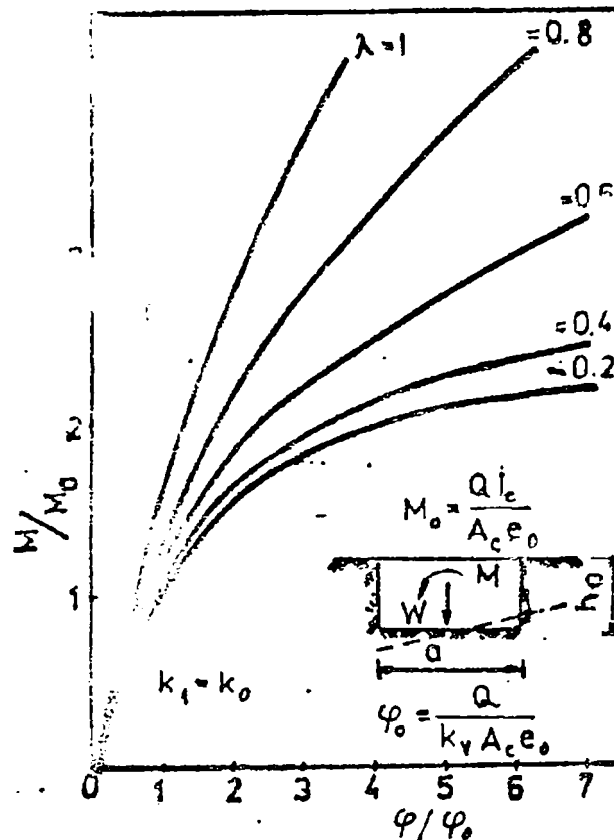


Fig. 5.11. Grafic de variatie intre raportul M/M_0 si φ/φ_0 pentru $k_1 = k_0$

5.4. Metoda de determinare a coeficientilor elastici ai terenului pentru suprafata de contact oarecare

5.4.1. Principii de baza

In general pentru teren se definesc sase coeficienti elastici in raport cu directiile posibile ale vibratiilor. Acesti coeficienti pot fi determinati daca se cunosc coeficientii elastici globali. Se considera o fundatie avand suprafata de contact oarecare. Aceasta suprafata se raporteaza la axele principale centrale. Daca suprafata de contact prezinta o axa de simetrie, aceasta este o axa principala centrala.

Fundatia se presupune rigida astfel incat suprafata de contact cu terenul ramane plana in timpul miscarii vibratorii.

Constantele elastice globale ale terenului (sau rigiditatile terenului raportate la suprafata de contact) se definesc ca raportul dintre forta generalizata aplicata fundatiei (sau sistemului) si deplasarea generalizata corespunzatoare, produsa terenului (fig. 5.12).

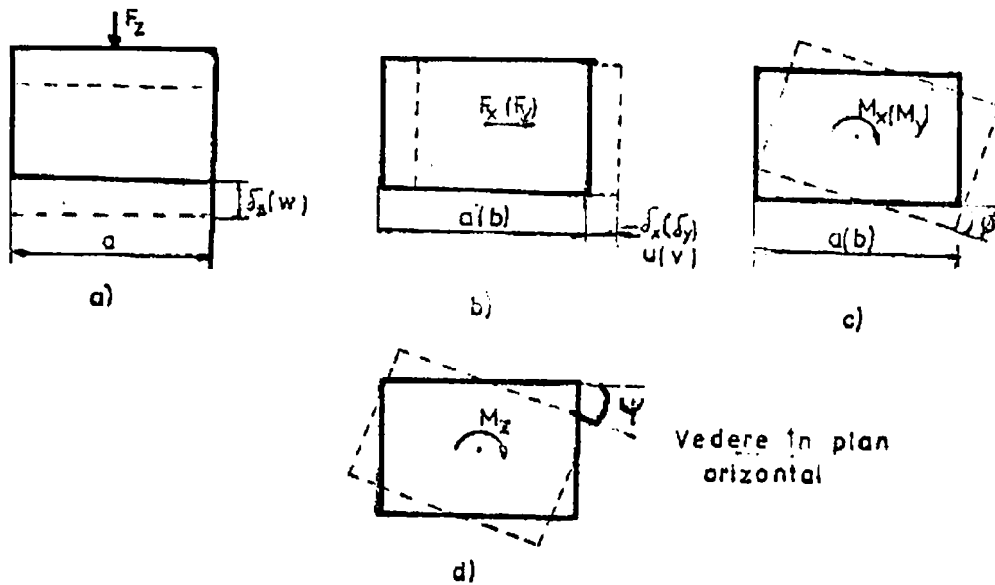


Fig. 5.12. Determinarea constantelor elastice ale terenului raportate la suprafata de contact

$$k = \frac{F}{\delta} \quad (5.45.)$$

unde:

- k - constanta elastica;
- F - forta generalizata aplicata sistemului (forta, cuplu);
- δ - deplasare generalizata (deplasare liniara, rotire).

Cunoscand constantele elastice $k_x, k_y, k_z, k_{\varphi x}, k_{\varphi y}, k_{\varphi z}$, se determina coeficientii elastici $C_x, C_y, C_z, C_{\varphi x}, C_{\varphi y}, C_{\varphi z}$.

$$C_x = \frac{k_x}{A_c}; \quad C_y = \frac{k_y}{A_c}; \quad C_z = \frac{k_z}{A_c}; \quad C_{\varphi x} = \frac{k_{\varphi x}}{I_x}; \quad C_{\varphi y} = \frac{k_{\varphi y}}{I_y}; \quad C_{\varphi z} = \frac{k_{\varphi z}}{I_0} \quad (5.46.)$$

unde:

- A_c - aria suprafetei de contact dintre fundatie si teren;
- I_x, I_y - momente de inertie axiale ale suprafetei de contact in raport cu axele in jurul carora are loc rotirea acesteia, odata cu sistemul;
- I_0 - momentul de inertie polar.

Pentru a determina acesti coeficienti terenul se asimileaza cu un semispatiu linear elastic, omogen si izotrop si respectiv semispatiul cu modulul de elasticitate variabil cu adancimea. De asemenea, pentru terenuri stratificate se poate introduce un semispatiu echivalent.

Suprafata de contact se discretizeaza in subdomenii (fig. 5.13.) astfel incat in interiorul unui domeniu sa se poata admite ca presiunile de contact sunt uniforme, fara a introduce erori semifiativ. De la un subdomeniu la altul presiunile sunt variabile.

Se exprima deplasările în centrul fiecărui subdomeniu în funcție de rezultantele presiunilor de pe toate subdomeniile componente. Deplasările terenului după axele de coordonate sunt: u, v, w . Coeficienții de lângă rezultantele presiunilor R_h corespunzătoare subdomeniilor se notează cu: β_{jh}^δ , primul indice inferior indicând locul deplasării iar al doilea locul acțiunii unitare; indicele superior indică deplasarea la care se referă ($\delta = u, v, w$). Se admite că se pot obține deplasările prin suprapunere de efecte. O deplasare oarecare, δ_j din centrul unui subdomeniu va avea expresia:

$$\delta_j = \beta_{j1}^\delta R_1 + \delta_j = \beta_{j2}^\delta R_2 + \dots + \delta_j = \beta_{jh}^\delta R_h + \dots + \delta_j = \beta_{jn}^\delta R_n \quad (5.47.)$$

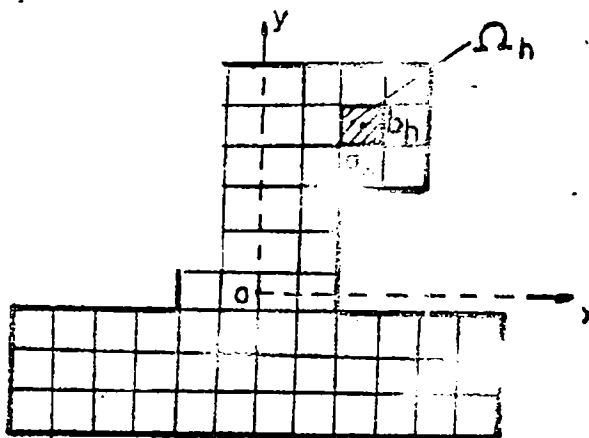


Fig. 5.13. Discretizarea în subdomenii a suprafeței de contact a fundației

Dând indicelui j valori de la 1 la n se obțin toate deplasările, numărul acestora fiind egal cu cel al subdomeniilor obținute prin discretizare și deci al rezultatelor R .

Coeficienții de influență β , formează matrice pătrate nesingulare, de trei tipuri, $\beta^u, \beta^v, \beta^w$ în raport cu cele trei deplasări distincte de pe suprafața de contact care depind de modelul considerat pentru teren.

5.5. Programe de calcul automat pentru analize numerice parametrice

În vederea determinării valorilor coeficienților elastici s-au utilizat în analizele numerice parametrice programe de calcul automat CØFEL 1 și CØFEL 2. Programele de calcul au fost inițiate la Universitatea Tehnică de Construcții, București, Facultatea de Utilaj în Construcții, implementate ulterior la centrele de calcul care dispun de opțiuni pentru determinarea coeficienților folosiți în proiectare de utilaje și mașini.

Principalele ipoteze de lucru ale programelor în diferite variante au ca date de intrare:

- viteza undelor de forfecare în teren (v_t);
- modulul de forfecare dinamic (G_d) și coeficientul lui Poisson (ν);
- modulul de elasticitate longitudinal dinamic (E_d) și coeficientul lui Poisson (ν).

Programul CØFEL 1 determina coeficienti elastici $C_x, C_y, C_z, C\varphi_x, C\varphi_y, C\varphi_z$, pentru terenuri asimilate ca semispatiu liniar elastic, omogen si izotrop.

Programul CØFEL 2 utilizat in cazul terenurilor asimilate ca semispatiu elastic avand modul de elasticitate variabil cu adancimea determina coeficientii elastici, $C_z, C\varphi_x, C\varphi_y$.

Ca date initiale privind terenul se dau:

E_0 si ν – la suprafata terenului;

E_n – coeficient de variatie cu adancimea;

n – indicele de omogenitate.

Un exemplu de calcul efectuat pune in evidenta efectul cresterii modulului de elasticitate E al terenului cu adancimea, asupra valorilor coeficientilor elastici.

Elementele initiale si variantele de calcul adoptate se prezinta in continuare.

A/ S-a considerat o fundatie dreptunghiulara avand suprafata de contact $12 \times 15 \text{ m}^2$. Aceasta suprafata a fost discretizata in 20 de subdo-menii folosind o retea de patrute cu latura de 3 m.

In cazul terenului semispatiu liniar elastic, omogen si izotrop s-a luat $E_t = 500 \text{ daN/cm}^2$ si $\nu = 0,35$.

B/Aceeasi fundatie s-a considerat amplasata pe doua terenuri de tipul semispatiu cu modul de elasticitate variabil cu adancimea cu urmatoarele caracteristici:

a) $E_0 = 500 \text{ daN/cm}^2, \nu_0 = 0,35; E_n = 5 \text{ daN/cm}^2, n = 0,1;$

b) $E_0 = 500 \text{ daN/cm}^2, \nu_0 = 0,35; E_n = 50 \text{ daN/cm}^2, n = 0,1.$

Terenurile cu modul de elasticitate variabil cu adancimea au acelasi caracteristici E_0, ν_0 la suprafata si sunt identice cu a terenului semispatiu liniar elastic, omogen si izotrop.

Terenul b) are modul de elasticitate variabil liniar cu adancimea.

In tabelul 5.6. se dau coeficientii calculati folosind programele mentionate.

Analizand rezultatele din tabelul 5.6 se observa ca in cazul consolidarii modulului de elasticitate avand variatia lenta cu adancimea [teren a)] coeficientii elastici sunt apropiati de cei corespunzatori terenului de tip semispatiu liniar omogen si izotrop. In cazul modulului de elasticitate variabil liniar cu adancimea avand valoarea indicata a coeficientului de variatie E_n coeficientii elastici au valori mult mai mari, dar evident ca aceasta crestere depinde de rata cresterii. In cazul considerat se remarca faptul ca $C_z, C\varphi_x, C\varphi_y$ au rezultat apropiati ca valoare.

Tabelul 5.6. Valori calculate ale coeficientilor elastici in daN/cm³

Nr. crt.	Teren	C_x	C_y	C_z	$C_{\varphi x}$	$C_{\varphi y}$	$C_{\varphi z}$
1	Semispatiu liniar elastic, omogen si izotrop	3,63	3,71	4,57	9,50	10,0 1	7,63
2	Semispatiu elastic, cu modul E variabil	-	-	5,32	12,3 1	11,3 4	-
3	Semispatiu elastic, cu modul E variabil, teren b)	-	-	50,3 8	49,2 6	50,1 1	-

Calculul coeficientilor elastici, asa cum se presupune in acest program , prezinta avantajul semnificativ ca se pot folosi parametri care se pot determina in laborator (viteza undelor transversale v_t , E_t sau G_t , v_t , E_n , n), dar si determinari in situ.

5.6. Constantele elastice ale mediilor de rezemare

Constantele elastice pentru fundatii rezemate pe teren corespunza-toare diferitelor feluri de miscari pe care acesta pot sa le aiba sunt: [7, 11, 15]

- constanta elastica pentru miscare de translatie verticala k_z

$$k_z = C_z \cdot A_{fd} \text{ [kN/m]} \quad (5.48.)$$

$A_{fd} = ab$ – suprafata talpii fundatiei [m²]

- constanta elastica pentru miscare de translatie orizontala k_x

$$k_x = C_x A_{fd} \text{ [kN/m]} \quad (5.49.)$$

- constanta elastica pentru miscare de rotatie in jurul unei axe orizontale k_{φ}

$$k_{\varphi} = C_{\varphi} I \text{ [kN/m]} \quad (5.50.)$$

I – momentul de inertie al talpii fundatiei in raport cu axa orizontala in jurul careia se produce rotatia, [m⁴].

- constanta elastica pentru miscare de rotatie in jurul unei axe verticale k_{ψ}

$$k_{\psi} = C_{\psi} \cdot I_z \text{ [kN/m]} \quad (5.51.)$$

I_z – momentul de inertie polar al talpii fundatiei in raport cu centrul de greutate al talpii, [m⁴].

In tabelul 5.7 sunt prezentate relatiile de calcul ale constantelor elastice pentru fundatii cu talpa circulara de raza R si respectiv dreptunghiulara cu dimensiunile ab , rezemate direct pe teren.

Tabelul 5.7. Constantele elastice pentru fundatii rigide rezemate direct pe teren

Felul miscarii	Forma talpii fundatiei	
	Circulara	Dreptunghiulara
Translatie verticala	$k_z = \frac{4GR}{1-\nu}$	$k_z = \frac{G}{1-\nu} \beta_z \sqrt{a \cdot b}$
Translatie orizontala	$k_x = \frac{32(1-\nu)GR}{7-8\nu}$	$k_x = 2(1+\nu)G\beta_x \sqrt{a \cdot b}$
Rotatie in jurul unui ax orizontal	$k_\varphi = \frac{8GR^2}{3(1-\nu)}$	$k_\varphi = \frac{G}{1-\nu} \cdot \beta_\varphi \cdot ab^2$
Rotatie in jurul unui ax vertical	$k_\psi = \frac{16}{3} GR^3$	-

In tabelul 5.7, G reprezinta modulul de elasticitate transversal [kN/m^2], iar $\beta_z, \beta_x, \beta_\varphi$ sunt coeficientii adimensionali ce pot fi determinati din graficul prezentat in fig. 5.14.

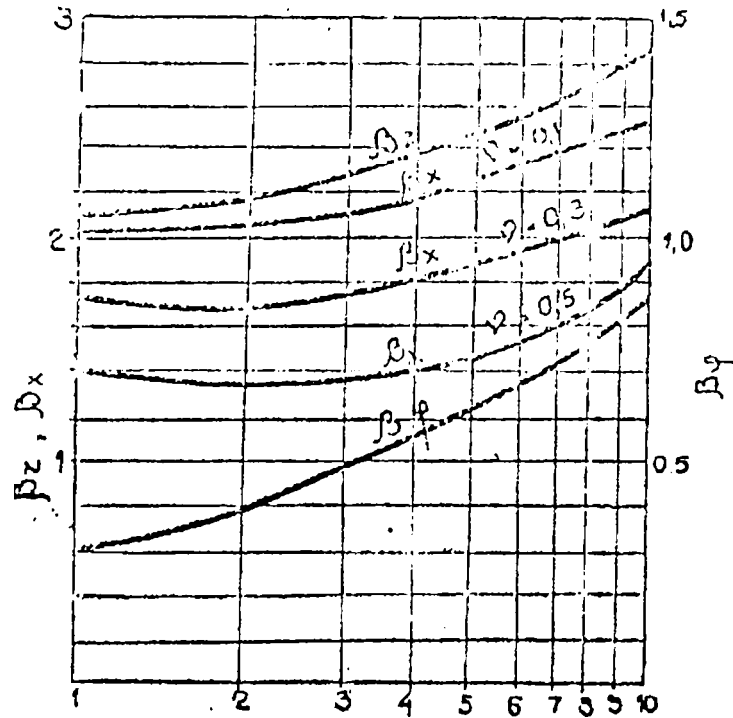


Fig. 5.14. Graficul de variatie a factorilor adimensionali

Din cele prezentate rezulta ca la studiul dinamic al terenurilor de fundare numai unele marimi sunt constante independente de fundatie si de conditiile de experimentare si anume: densitatea, modulul de deformatie transversal, coeficientul de contractie transversal. In schimb coeficientii elastici, atat de importanti in studiul vibratiilor sunt functie de conditiile de experimentare. Acesta este motivul pentru care coeficientii respectivi sunt dati in literatura cu intervale de variatie destul de mari.

La acestea se adauga diversitatea mare a terenurilor de fundare si neomogenitatea lor, ceea ce ingreuneaza folosirea datelor din literatura, fapt pentru care se recomanda un calcul comparativ intre valorile rezultate din calculul analitic si experimentarile « in situ » pentru o evaluare cat mai corecta a valorilor coeficientilor elastici utilizati in studiul dinamic al terenurilor de fundare.

5.7. Coeficientul dinamic

Prin definitie, coeficientul dinamic η constituie multiplicatorul actiunii perturbatoare pe care o transforma in actiune dinamica, conform relatiei:

$$F_{din} = \eta \cdot F_{pert} \quad (5.52.)$$

Coeficientul dinamic este functie de:

a) *acordarea dinamica*

$$\frac{\omega_m}{\omega} = \frac{n_m}{n} = \frac{f_m}{f} \quad (5.53.)$$

b) *acordarea relativa*

$$\lambda = \frac{c}{c_{cr}} \quad (5.54.)$$

Marimile din relatiile (5.52), (5.53) si (5.54), au semnificatiile prezentate mai jos:

F_{pert}	- actiune perturbatoare
F_{din}	- actiune dinamica
η	- coeficientul dinamic
ω_m (s^{-1})	- pulsatia actiunii perturbatoare a masinii
ω (s^{-1})	- pulsatia proprie a ansamblului masina-fundatie
n_m (rot/min)	- turatia actiunii perturbatoare
n (rot/min)	- turatia proprie a ansamblului masina-fundatie
f_m (Hz)	- frecventa actiunii perturbatoare
f (Hz)	- frecventa proprie ansamblului masina-fundatie
λ (%)	- amortizarea relativa a rezemarii fundatiei
c (kNs/m)	- amortizarea rezemarii fundatiei
c_{cr} (kNs/m)	- amortizarea critica a rezemarii fundatiei.

Coeficientul dinamic poate fi determinat in doua moduri:

- considerand parametri dinamici cu valoarea lor normata fixa, in acest caz admitandu-se o variatie de $\pm 10\%$ a pulsatiei proprii (fig. 5.15, curba 1 si fig. 5.16a)

$$\eta = \frac{1}{1 - \left[\frac{\omega_m}{(0,9 - 1,1) \cdot \omega} \right]^2} \quad (5.46.)$$

- considerand parametrii dinamici cu variabilitatea lor intrinseca rezultand diagramele din fig. 5.15b; aceasta metoda se recomanda a fi folosita in calcul.

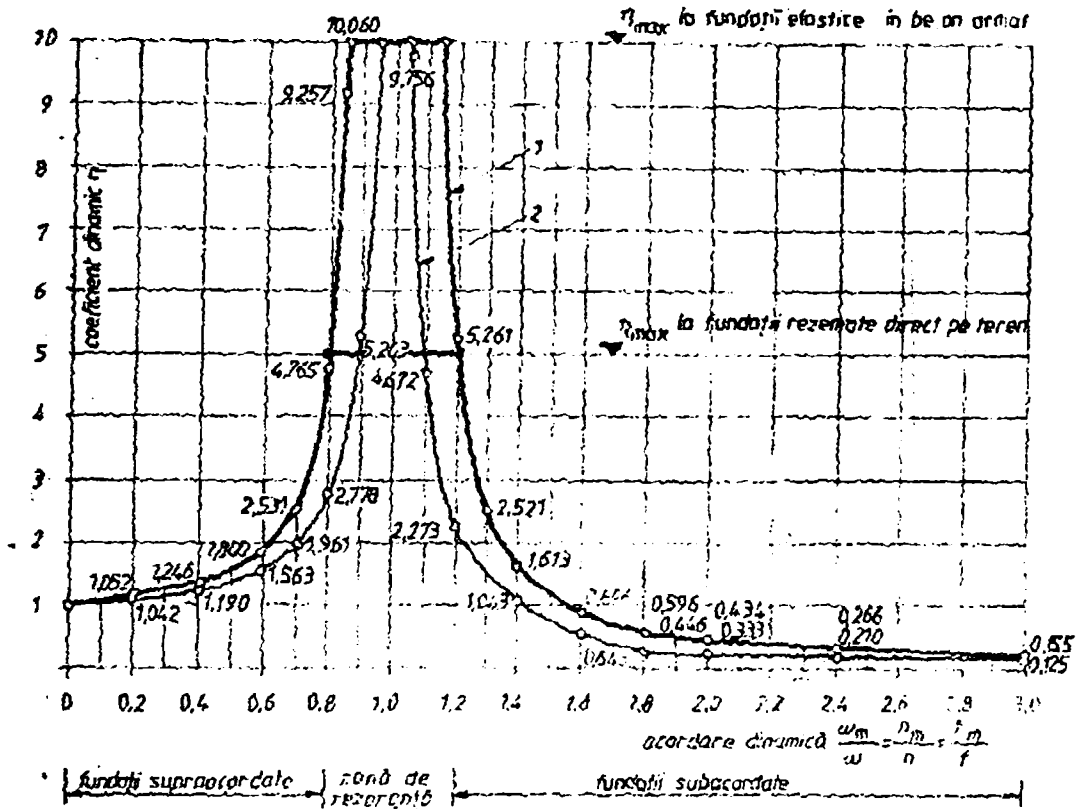


Fig. 5.15. Coeficientul dinamic η , functie de acordarea dinamica

$$\text{curba 1 : } \eta = \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega_m}{\omega \pm 10\%} \right)^2}$$

$$\text{curba 2 : } \eta = \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega_m}{\omega} \right)^2}$$

La rezonanta, coeficientul dinamic η nu poate depasi valoarea maxima finita η_{max} , datorita prezentei amortizarii; valoarea η_{max} este stabilita experimental, functie de mediul in care se disipeaza energia de vibratie si este precizata in tabelul 5.8. Pentru cazuri nespecificate in tabel, η_{max} se va stabili pe baza rezultatelor incercarilor la scara naturala, conduse pana in situatia de rezonanta.

In zonele de rezonanta ale unui sistem cu mai multe grade de libertate dinamica, se admite extrapolarea curbelor $\eta \left(\frac{\omega m}{\omega} \right)$ din fig 5.15 si 5.16, stabilite pentru cazul unui sistem cu un singur grad de libertate.

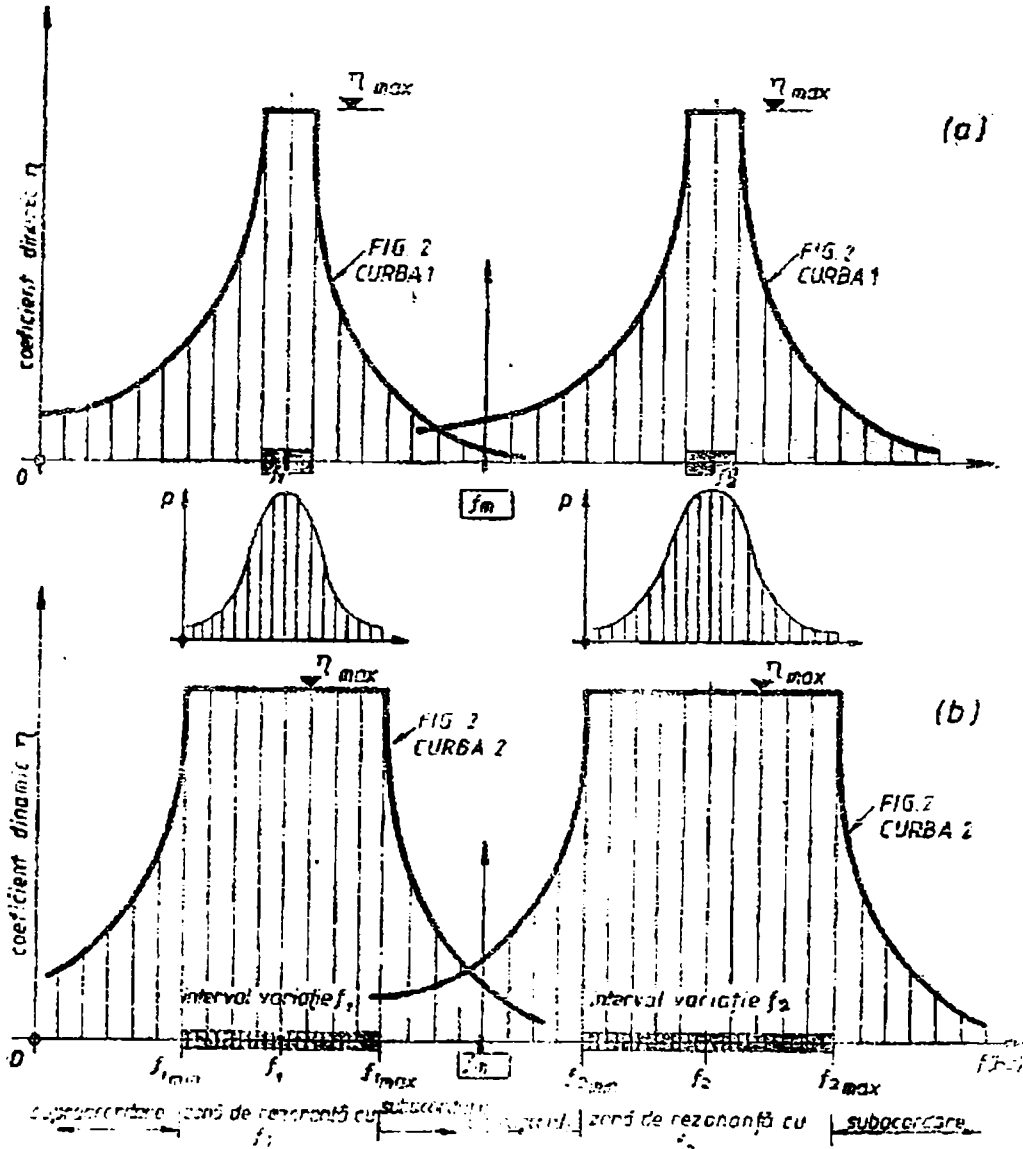


Fig.5.16. Diagramele coeficientilor dinamici si situatia acordarii dinamice a unei fundatii de masini

Tabelul 5.8. Valorile maxime η_{\max} ale coeficientului dinamic pentru fundatii de masini

Mediul de disipare al energiei de vibratie	Valoarea η_{\max}	Exemplu tipic de fundatie de masina la care se foloseste
1. Terenul de fundare	5	Fundatie tip bloc rigid, cu sau fara goluri, rezemata direct pe teren
2. Elemente de beton armat sau precomprimat	10	Fundatie flexibila in cadre de beton armat, stalpii fiind principalele elemente elastice
3. Elemente metalice	25	Fundatie tip bloc rigid, rezemata pe cutii cu arcuri; fundatie flexibila in cadre metalice

Concluzii

1. Cunoasterea coeficientilor elastici si evaluarea lor cat mai aproape de realitate este de mare utilitate in proiectarea optima a fundatiilor de masini. Acestia pot fi determinati experimental cu placa rigida, fiind necesare corectii prin trecerea de la placa de incercare la fundatia reala. Incercarile dinamice sunt relativ dificil de realizat, iar prin utilizarea valorilor statice sunt necesare corectii ale caracteristicilor elastice ale terenului pentru a lua in considerare efectele dinamice.

2. Evaluarea prin calcul a coeficientilor elastici ai terenului constituie o cale directa si cu rezultate bune, daca s-au determinat in prealabil in laborator modulul de elasticitate E sau modulul de forfecare G si coeficientul lui Poisson ν , corespunzator actiunilor dinamice. Aceasta cale prezinta avantajul ca nu mai sunt necesare corectii datorita marimii si formei suprafetei de rezemare, iar incercarile necesare pentru determinarea caracteristicilor elasto-dinamice ale terenului sunt mai putin costisitoare si mai sigure prin realizarea mai multor determinari si alegerea valorilor finale pe baza legilor statisticii.

3. Analizele numeric - parametrice s-au efectuat utilizand programele de calcul automat CØFEL 1 si CØFEL 2, care determina coeficientii elastici pentru

terenuri asimilate ca semispatiu liniar, elastic, omogen si izotrop cat si pentru terenuri asimilate ca semispatiu elastic avand modulul de elasticitate variabil cu adancimea.

Calculul coeficientilor elastici cu aceste programe, avand la baza ipoteze de lucru conforme cu conditiile reale din teren, prezinta avantajul semnificativ ca utilizeaza ca date de intrare parametrii care se pot determina in laborator, dar si "in situ".

6. CERCETARI EXPERIMENTALE PRIVIND EFECTUL STRATURILOR IZOLATOARE DIN MATERIALE GRANULARE ASUPRA RASPUNSULUI DINAMIC SI A TRANSMISIBILITATII VIBRATIILOR

6.1. Obiectivele cercetarii

Cercetarile efectuate au avut ca scop determinarea efectelor unui strat izolator realizat din material granular si dispus intre fundatia de beton a masinii si terenul de fundare, asupra raspunsului dinamic al sistemului "masina - fundatie-teren de fundare", a transmisibilitatii si atenuarii vibratiilor armonice intretinute.

Cercetarile experimentale s-au bazat pe faptul ca fundatia realizeaza transmiterea efectelor dinamice suportului de rezemare si in cuplaj cu utilajul sau masina, determinand, intr-o anumita masura, raspunsul dinamic al sistemului si asigurand un anumit grad de izolare, de limitare a amplitudinii miscarii si, implicit, a transmisibilitatii.

6.1.1. Programul experimental

In ceea ce priveste programul experimental acesta a fost conceput astfel incat sa raspunda obiectivelor propuse pentru valorificarea si finalizarea tezei de doctorat.

In program s-a prevazut incercarea a doua fundatii cu dimensiuni identice, avand suprafata de rezemare de 10 mp (316×316 cmp) si inaltime de 1.0 m. Amplasamentul acestor fundatii s-a ales in perimetrul unei locatii in amplasamentul INCERC Bucuresti.

Fundatia F_1 , rezemata direct pe terenul de fundare, a constituit modelul martor pentru fundatia F_2 , rezemata pe un strat izolator de pietris cu grosimea de 10 cm si cu granule de 7-15 mm, amplasata la distanta de cca. 6 m fata de fundatia F_1 .

Raspunsurile in viteze ale oscilatiilor corespunzatoare atat celor doua fundatii, cat si suprafetei terenului, in diverse puncte amplasate la distante variabile fata de sursa perturbatoare, s-au masurat cu aparate tip Vegik.

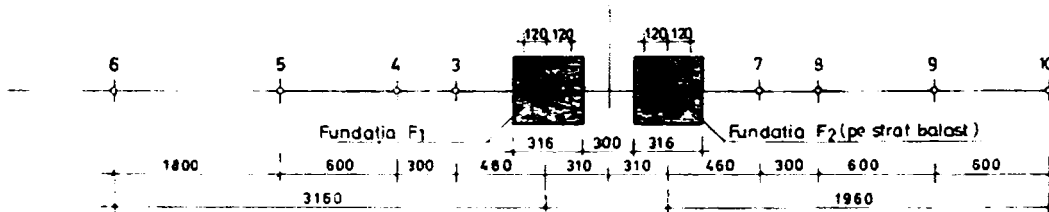
Actionarea fundatiilor experimentale cu forte armonice verticale, orizontale si cu momente de balans in jurul axei orizontale a fost realizata cu o vibromasina cu mase excentrice.

Programul a prevazut urmatoarele tipuri de incercari:

- **Incercarea F_{1-1}** , respectiv **F_{2-1}** – excitatie verticala a fundatiei F_1 , respectiv F_2
- **Incercarea F_{1-2}** , respectiv **F_{2-2}** – excitatie orizontala a fundatiei F_1 , respectiv F_2
- **Incercarea F_{1-3}** , respectiv **F_{2-3}** – excitatie de balans in jurul axei orizontale a fundatiei F_1 , respectiv F_2

Pentru fiecare din cele 6 incercari s-a prevazut inregistrarea raspunsului in viteze atat a oscilatiilor verticale cat si orizontale, in puncte amplasate atat pe fundatii cat si pe teren la diverse distante de sursa perturbatoare (fig. 6.1 si 6.2.)

nr. incercari	Numărul experimentului											
	70	69	68	67	62	72	61	71	63	64	45	66
2	70	69	68	67	62	72	61	71	63	64	45	66
3	58	57	56	55	50	60	49	59	51	52	53	54
1	46	45	44	43	38	48	37	47	39	40	41	42
2	30	29	28	27	25	35	26	36	31	32	33	34
3	18	17	16	15	13	23	14	24	19	20	21	22
1	6	5	4	3	1	11	2	12	7	8	9	10



NOTA: Punctele de măsură 1, 1', 2 și 2' sunt amplasate pe fundatii.
Punctele de măsură 3 - 10 sunt amplasate pe teren.

Fig. 6.1. Amplasamentul fundatiilor la experimente.
Notatia punctelor de masura si a experimentarilor efectuate

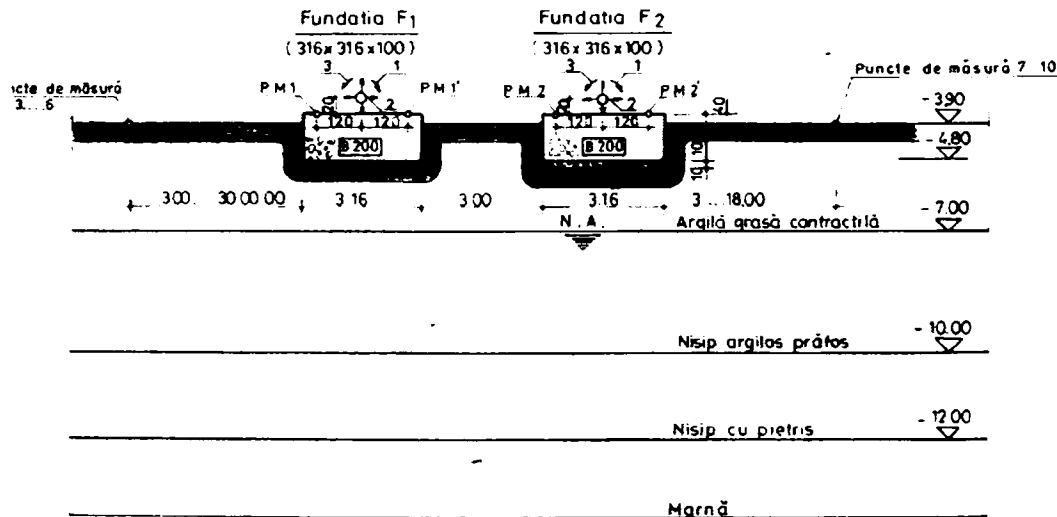


Fig. 6.2. Amplasamentul fundatiilor experimentale.
Sectiune verticala si stratificatia geologica

6.2. Modelele experimentale

Pentru cercetarea efectelor straturilor izolatoare din material granular asupra raspunsului dinamic al sistemului „masina - fundatie - teren de fundare”, precum si asupra transmisibilitatii vibratiilor si atenuarii acestora in raport cu

distanța de la sursa perturbatoare s-au folosit două modele experimentale F_1 și F_2 , având următoarele caracteristici principale:

Caracteristicile principale ale modelelor experimentale, condițiile de teren și de experimentare se prezintă sintetic în continuare.

a) *Amplasamentul fundațiilor* – șantierul Institutului de Cercetare al INCERC București

b) *Stratificarea terenului:*

- argila grasă contractilă în grosime de cca. 3,0 m ($E_d=180 \div 400$ daN/cm²; $V_L=1100 \div 1700$ m/s);
- nisip argilos prafos în grosime de cca. 3,0 m – în care este cantonată apă freatică ($E_d=320 \div 390$ daN/cm²; $V_L=1600 \div 1800$ m/s);
 - nisip cu pietriș în grosime de cca. 2,0 m;
 - argila marnoasă.

c) *Caracteristicile fundațiilor F_1 și F_2 :*

- dimensiuni în plan: $316 \times 316 = 10^5$ cm²;
- înălțimea: 100 cm;
- greutatea: 23×10^3 daN (beton armat marca B 200);

d) *Mediul de rezemare:*

- fundația F_1 – argila grasă contractilă: $C_z=2,65 \div 3,32$ daN/cm³, $C_x=1,77 \div 2,21$ daN/cm³, $C_p=6,61 \div 26,5$ daN/cm³;
- fundația F_2 – strat de pietriș în grosime de 10 cm, cu granule de 7-15 mm diametru dispus între teren și fundația de beton.

e) *Utilajul de acționare a fundațiilor:*

- Vibromasina cu mase excentrice acționată de un motor de 10 KW- 0,4 Kv c.a. – cu turatie variabilă

Prin construcție, vibromasina poate realiza acțiuni sinusoidale verticale, $N = N_0 \omega \sin \omega t$, acțiuni orizontale, $H = H_0 \omega^2 \sin \omega t$ și momente de balans în jurul axei orizontale, $M_x = M_0 \omega^2 \sin \omega t$, după modul de dispunere a maselor excentrice în compartimentele prevăzute în trei tamburi angrenați între ei și dispusi cu axele coplanare, orizontale, paralele cu x.

Frecvența maximă a vibromasinei este de 50 Hz – la această frecvență maximă, N , H , fiind de cca. $2,5 \times 10^4$ daN, iar momentul de balans de 7×10^5 daN/cm.

Fundația experimentală F_1 , rezemată direct pe terenul de fundare este modelul martor al fundației F_2 , rezemată pe stratul amortizor de pietriș granular (fotografiile 6.3. și 6.4.).

În jurul ambelor fundații s-au realizat umpluturi de pamant pe înălțimea de 60 cm (Fig. 6.2.).

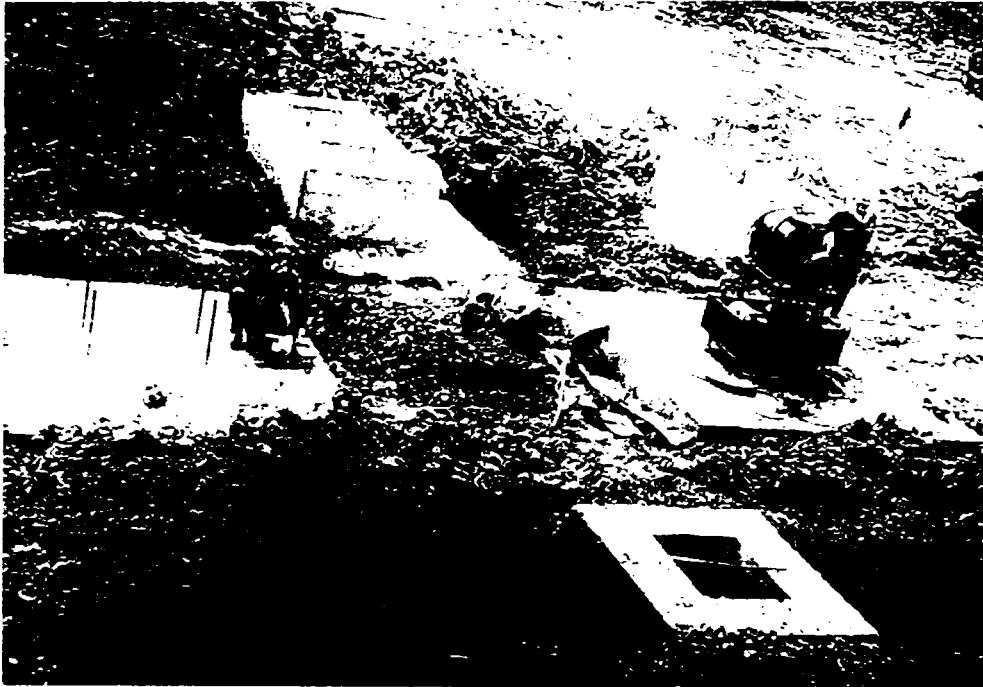


Fig.6.3. Fundatia experimentală F_1 , rezemata direct pe terenul de fundare este modelul martor al fundatiei F_2 , rezemata pe stratul amortizor de pietris granular

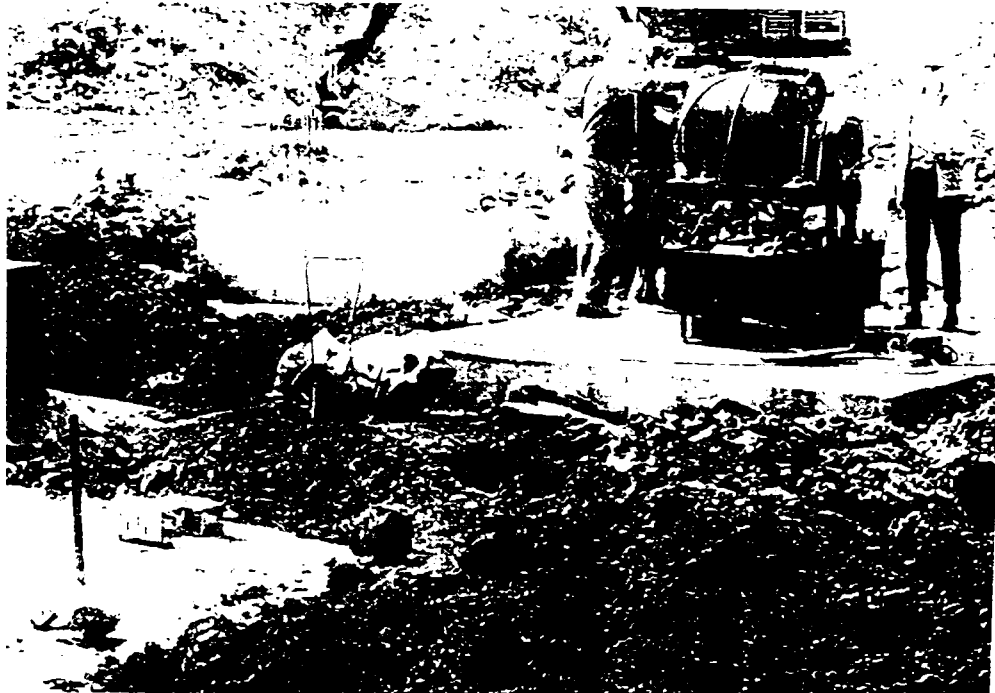


Fig.6.4. Fundatia experimentală F_1 , rezemata direct pe terenul de fundare este modelul martor al fundatiei F_2 , rezemata pe stratul amortizor de pietris granular

6.3. Tehnica de incercare

6.3.1. Puncte de inregistrare a raspunsului dinamic

Pentru evidentierea efectelor stratului amortizor asupra raspunsului dinamic, transmisibilitatii vibratiilor la fundatia vecina si atenuarii vibratiilor in raport cu distanta fata de sursa perturbatoare, s-au dispus aparate Vegik, atat pe cele doua fundatii experimentale F_1 si F_2 , cat si pe suprafata terenului la nivelul superior al fundatiilor, pe un aliniament rectiliniu de cca. 60 m lungime la distante fata de sursa perturbatoare variind intre 3 si 37 m.

Masuratorile vitezelor de raspuns, atat al oscilatiilor verticale, cat si al oscilatiilor orizontale, provocate de vibratiile fundatiilor F_1 si F_2 s-au efectuat in 12 puncte dispuse ca in Figurile 6.1. si 6.2.

6.3.2. Caracteristicile fortelor de actionare dinamica ale modelelor experimentale

Vibromasina a fost echipata cu mase excentrice corespunzatoare realizarii urmatoarelor valori maxime ale fortelor perturbatoare:

- a) actiune verticala, incercari notate cu F_{1-1} si F_{2-1}

$$N = 13,8 f^2 \sin 2\pi ft \text{ (daN)}$$

- la frecventa maxima de incarcare (30 Hz), $N_{\max} = 12.42 \text{ daN}$

- b) actiune orizontala, incercari notate cu F_{1-2} si F_{2-2}

$$H = 13,8 f^2 \sin 2\pi ft$$

- c) actiune de balans, incercari notate cu F_{1-3} si F_{2-3}

$$M_x = 35 \text{ N (daN} \times \text{cm)}$$

- la frecventa maxima de incarcare (30 Hz),

$$M_{x \max} = 4,35 \times 10^5 \text{ daN} \times \text{cm}$$

Observatii: Greutatea vibromasinei si a motorului de actionare, fixat de aceasta este de $1,3 \times 10^3 \text{ daN}$. Vibromasina a fost fixata rigid de fundatia de beton, astfel incat ansamblul sa corespunda modelului dinamic cu masa unica de vibratie (masa fundatiei + masa vibromasinei).

6.3.3. Metodologia de incercare. Inregistrarea raspunsului dinamic

Disponandu-se de doua aparate tip Vegik a fost necesar sa se faca un numar de 12 incercari pentru fiecare din cele 6 experimentari mentionate la punctul 6.1.1. S-au efectuat astfel 72 de incercari montate de la 1 la 72, inregistrandu-se in cele 12 puncte vitezele vibratiilor orizontale si verticale.

Notatia experimentarilor este prezentata in Tabelul 6.1. avand urmatoarea corespondenta:

- experimentul F_{1-1} – incercarile nr. 1 ÷ 12;
- experimentul F_{1-3} – incercarile nr. 13 ÷ 24;
- experimentul F_{1-2} – incercarile nr. 15 ÷ 36;
- experimentul F_{2-1} – incercarile nr. 37 ÷ 48;
- experimentul F_{2-3} – incercarile nr. 49 ÷ 60;
- experimentul F_{2-2} – incercarile nr. 61 ÷ 72.

La fiecare incercare vibromasina se conecta la retea aducandu-se turatia de 1800 rot./min, dupa care alimentarea motorului se inrerupea simultan cu inceperea inregistrarii semnalelor date de cele doua Vegik-uri montate in doua din cele 12 puncte de masura. Inregistrarea semnalelor s-a facut pe un inceptor cu 4 canale cu banda magnetica, tip Philips.

In tabelele 6.1 ÷ 6.4. sunt prezentate valorile maxime inregistrate ale vitezelor oscilatiilor in mm /s, pe 7 domenii de frecventa (4-8, 8-11, 11-14, 14-17, 17-20, 20-25, 25-35 Hz).

Tabelele 6.1. si 6.2. contin valorile raspunsurilor verticale la excitatii verticale si raspunsurile orizontale la excitatii orizontale ale fundatiei F_1 (F_{1-1} (v) si F_{1-2} (o) si respectiv F_2 (F_{2-1} (v) si F_{2-2} (o)). Tabelele 6.3. si 6.4. contin raspunsurile orizontale la excitatii verticale si raspunsurile verticale la excitatii orizontale ale fundatiei F_1 (F_{1-1} (o) si F_{1-2} (v) si respectiv F_2 (F_{2-1} (o) si F_{2-2} (v)).

Tabel 6.1. Raspunsul in viteza la excitatii verticale si orizontale (fundatia F1)

	Domeniul de frecventa (Hz)	Valori ale vitezelor de oscilatie (mm/s)											
		Puncte de masurare											
		1	1' (11)	2	2' (12)	3	4	5	6	7	8	9	10
Exp. 1-1 (v)	4-8	1.08	-	-	-	0.06	-	-	0.038	-	-	-	-
	8-11	8.67	-	-	-	0.47	-	-	0.34	-	1.12	0.26	-
	11-14	8.67	-	1.62	-	7.45	4.19	1.50	0.55	1.29	5.26	3.87	1.62
	14-17	8.60	-	2.03	-	8.26	4.62	2.74	0.42	6.55	6.77	3.97	2.63
	17-20	8.80	-	4.33	-	8.39	4.62	3.11	0.35	7.20	6.07	5.80	1.50
	20-25	8.67	-	-	-	-	-	2.90	-	4.62	5.48	5.91	1.29
	25-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Exp. 1-2 (o)	4-8	8.60	-	0.30	-	15.85	-	0.16	0.04	-	-	0.03	0.08
	8-11	-	-	0.44	-	-	0.67	0.095	0.05	-	0.10	0.03	1.06
	11-14	-	-	1.76	-	7.18	3.31	1.91	0.22	1.76	0.38	0.20	0.80
	14-17	8.53	-	1.53	-	-	4.06	4.01	0.25	3.65	0.22	0.67	1.27
	17-20	6.97	-	1.06	-	-	5.96	3.88	0.15	5.96	2.92	0.74	1.01
	20-25	7.65	-	1.66	-	4.40	5.69	5.12	0.01	6.76	3.31	1.10	0.44
	25-35	5.28	-	-	-	1.55	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 6.2. Raspunsul in viteza la excitatii verticale si orizontale (fundatia F2)

	Domeniul de frecventa (Hz)	Valori ale vitezelor de oscilatie (mm/s)											
		Puncte de masurare											
		2	2'	1	1'	7	8	9	10	3	4	5	6
Exp. 2-1 (v)	4-8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06
	8-11	0.64	-	0.69	-	-	-	-	0.41	0.05	-	0.63	0.11
	11-14	2.36	-	3.11	2.90	0.75	-	0.30	0.10	1.23	0.60	1.05	0.22
	14-17	4.73	-	3.65	3.11	3.44	-	1.65	0.81	2.36	2.70	1.47	0.06
	17-20	4.19	-	3.97	4.19	4.73	-	2.04	0.16	2.79	2.10	1.20	0.02
	20-25	8.60	-	4.62	3.54	5.26	-	0.96	0.29	2.15	2.91	1.26	0.07
	25-35	8.76	-	3.22	2.04	5.69	-	0.51	0.13	1.07	2.31	0.36	-
Exp. 2-2 (o)	4-8	8.67	-	4.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8-11	-	-	0.03	-	1.28	0.38	-	-	-	-	-	0.09
	11-14	1.98	-	1.78	-	-	2.42	0.80	0.59	-	0.31	-	0.15
	14-17	10.29	-	0.70	-	7.78	2.22	1.53	0.68	0.81	1.91	-	0.10
	17-20	11.04	-	1.78	-	7.18	0.19	1.59	0.55	4.33	2.92	0.67	0.14
	20-25	8.73	-	2.57	-	8.53	2.48	0.91	0.57	2.16	3.88	0.63	0.28
	25-35	7.51	-	2.22	-	7.65	-	-	0.33	-	2.48	-	0.27

Tabel 6.3. Raspunsul in viteza la excitatii verticale si orizontale (fundatia F1)

	Domeniul de frecventa (Hz)	Valori ale vitezelor de oscilatie (mm/s)											
		Puncte de masurare											
		1	1'	2	2'	3	4	5	6	7	8	9	10
Exp. 1-1 (o)	4-8	-	-	-	-	0.067	-	-	0.015	-	-	-	-
	8-11	-	0.20	-	-	0.47	-	-	0.047	8.39	-	-	-
	11-14	-	1.62	-	4.73	6.09	0.34	-	0.084	-	0.60	-	0.20
	14-17	-	1.15	-	3.22	8.26	7.45	4.74	0.066	5.96	2.70	0.81	0.54
	17-20	-	1.62	-	1.29	8.39	6.63	4.74	0.061	4.87	2.10	1.74	0.40
	20-25	-	-	-	2.36	8.39	6.50	4.74	0.031	4.67	2.91	1.76	0.33
	25-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.31	-	-
Exp. 1-2 (v)	4-8	-	0.90	-	-	-	-	-	0.04	-	-	-	-
	8-11	-	8.38	-	0.86	-	1.29	-	0.46	-	-	0.15	0.05
	11-14	-	8.65	-	3.33	4.56	5.05	1.57	-	0.26	0.31	0.21	0.16
	14-17	-	-	-	4.46	7.68	4.94	5.01	-	0.26	1.91	2.10	0.29
	17-20	-	-	-	10.37	4.24	-	4.68	-	3.22	2.92	1.56	0.13
	20-25	-	-	-	10.10	4.51	4.35	6.50	0.14	5.69	3.88	3.42	0.14
	25-35	-	-	-	-	4.67	-	-	-	-	2.48	-	-

Tabel 6.4. Raspunsul in viteza la excitatii verticale si orizontale (fundatia F2)

	Domeniul de frecventa (Hz)	Valori ale vitezelor de oscilatie (mm/s)											
		Puncte de masurare											
		2	2'	1	1'	7	8	9	10	3	4	5	6
Exp. 2-1 (o)	4-8	-	-	1.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8-11	2.23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.41
	11-14	3.79	1.14	1.05	0.38	-	-	0.31	0.15	0.37	0.50	0.30	0.025
	14-17	6.09	1.40	2.03	1.84	0.06	0.67	2.35	1.40	3.52	1.27	0.12	0.03
	17-20	6.75	1.56	1.40	3.05	5.48	4.33	3.82	0.70	7.30	1.21	0.57	0.04
	20-25	7.04	1.27	1.78	2.92	-	-	2.03	1.78	18.64	2.42	0.48	0.07
	25-35	7.04	-	1.35	1.33	6.90	-	1.78	0.10	6.55	0.82	0.48	0.15
Exp. 2-2 (v)	4-8	-	-	-	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-
	8-11	-	0.80	-	-	-	-	0.02	0.06	-	-	-	0.14
	11-14	-	1.35	-	0.50	-	1.29	0.04	0.47	1.61	1.74	0.78	0.20
	14-17	-	6.28	-	5.26	-	2.35	0.021	0.87	3.44	2.82	1.08	0.18
	17-20	-	7.47	-	-	-	5.48	0.25	0.77	5.48	3.05	1.25	0.17
	20-25	-	6.70	-	-	-	4.94	0.06	0.49	5.69	3.05	1.47	0.17
	25-35	-	10.36	-	-	-	-	-	0.10	2.47	1.92	0.51	-

6.4. Prelucrarea rezultatelor experimentale

6.4.1. Frecventele proprii de oscilatie

Pentru determinarea frecventelor proprii de oscilatie ale fundatiilor sau ale punctelor de masura amplasate pe teren s-au calculat curbele de raspuns A (m/s) – f (Hz).

Raspunsul original la diferite frecvente de excitatie a fost impartit la patratul frecventei respective pentru a se obtine curba de raspuns in viteza corespunzatoare unei forte de excitatie constanta (vibromasina produce forte proportionale cu patratul frecventei).

In prelucrarea rezultatelor au fost trasate un numar de cca. 100 de curbe de raspuns in viteza pentru tipurile de experimentari intreprinse.

6.4.2. Caracteristicile mediului de fundare C_z , C_x

Din curbele de raspuns in viteza rezulta frecventele proprii de oscilatie ale fundatiilor F_1 si F_2 corespunzatoare directiilor de actionare (v, o). De asemenea, din aceste curbe se poate calcula factorul de amortizare. Cunoscand masa si frecventa proprie a sistemului oscilant cu un singur grad de libertate, rigiditatea constantei elastice rezulta din relatia:

$$k_z(x) = C_z(x)A_c = m\omega_r^2 v \quad (0) \quad (6.1)$$

relatie valabila atat pentru oscilatiile verticale cat si pentru oscilatiile orizontale.

Din alura curbei de raspuns in viteza, factorul de amortizare se poate determina cu relatia:

$$\xi = \frac{\Delta \omega}{2\omega_r}, \quad (6.2)$$

in care:

$\Delta\omega$ este latimea de banda pentru amplitudinea la rezonanta

ω_r este pulsatia de rezonanta.

6.4.3. Atenuarea vibratiilor cu distanta de la sursa

In graficele din figurile 6.5. si 6.6. sunt prezentate curbele de atenuare geometrica a vibratiilor produse de actiunea verticala, respectiv orizontala, a fundatiei F_1 .

In graficele din figurile 6.7. si 6.8 sunt prezentate curbele de atenuare corespunzatoare incercarii fundatiei F_2 .

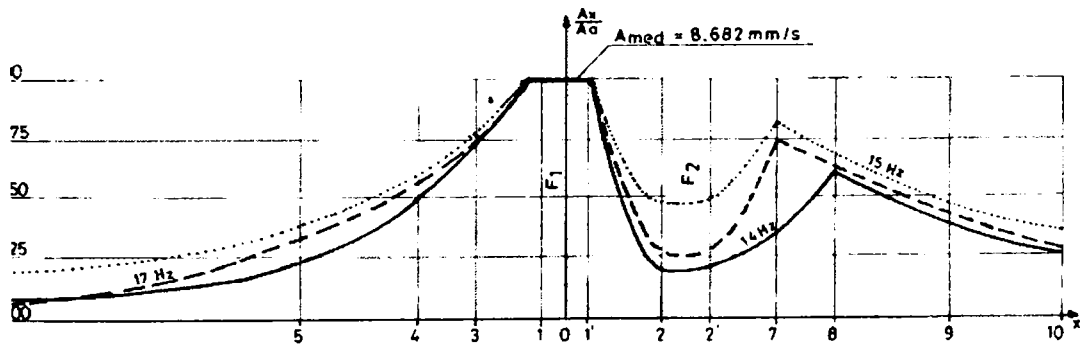


Fig. 6.5. Grafic 1- 1/v. Atenuarea vibratiilor verticale din excitatia verticala, functie de frecventa

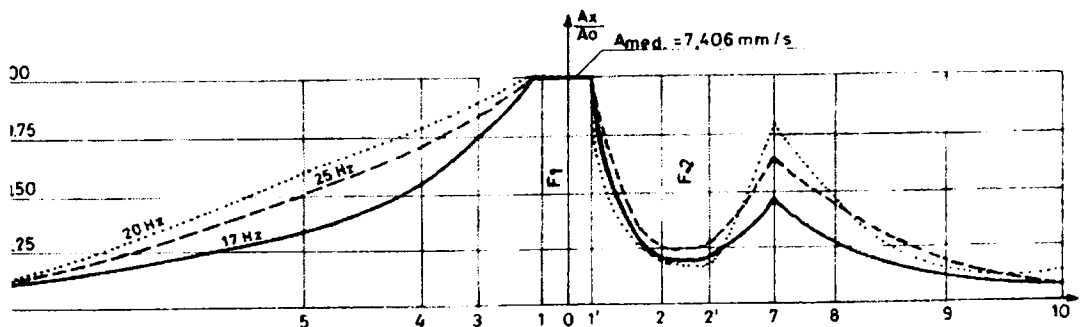


Fig. 6.6. Grafic 1- 2/0. Atenuarea vibratiilor orizontale din excitatia orizontala, functie de frecventa

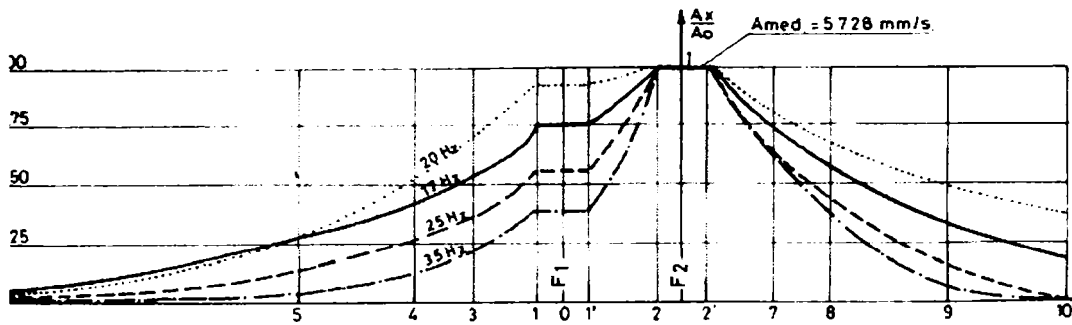


Fig. 6.7. Grafic 2- 1/v. Atenuarea vibratiilor verticale din excitatia verticala, functie de frecventa

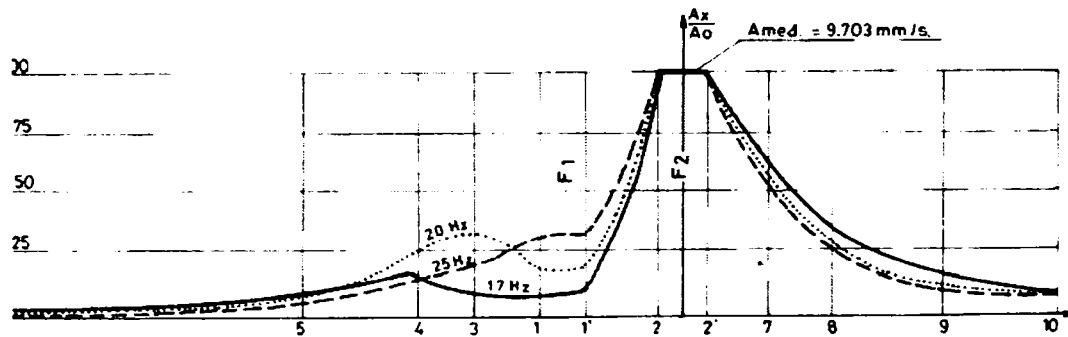


Fig. 6.8. Grafic 2- 2/0. Atenuarea vibratiilor orizontale din excitatia orizontala, functie de frecventa

În dreptul sursei, amplitudinea maximă s-a considerat unitară, iar răspunsurile la diverse distanțe de sursă s-au raportat la viteza vibrațiilor corespunzătoare sursei perturbatoare.

Pentru a evidenția efectul mărimii frecvenței vibrațiilor asupra atenuării geometrice, curbele de atenuare s-au trasat pe domenii de frecvență (Fig. 6.8., 6.9. și 6.10.).

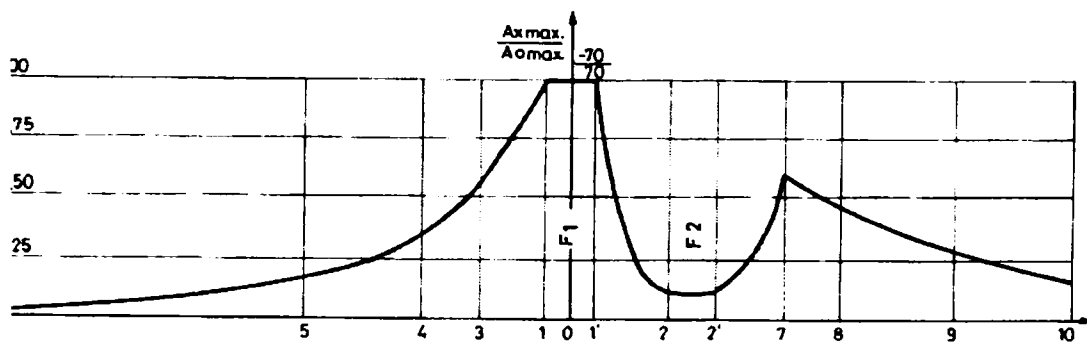


Fig. 6.9. Grafic 1- 1/v max. Atenuarea vibratiilor verticale din excitatia verticala, din banda 9-15 Hz

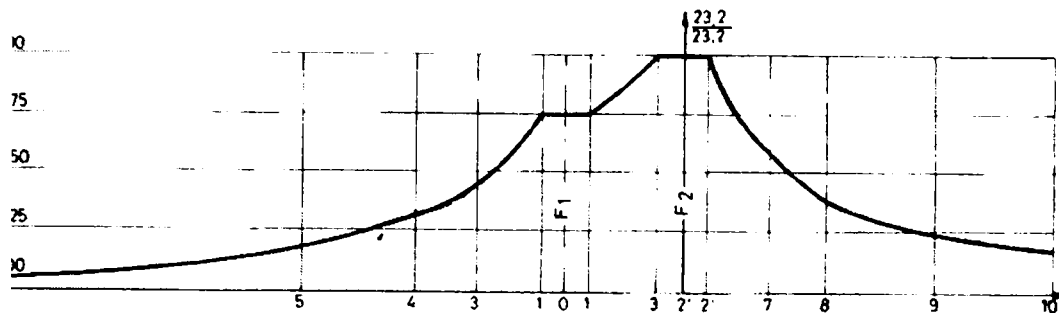


Fig. 6.10. Grafic 2- $1/v$ max. Atenuarea vibratiilor verticale din excitatia verticala, din banda 8,9-16 Hz

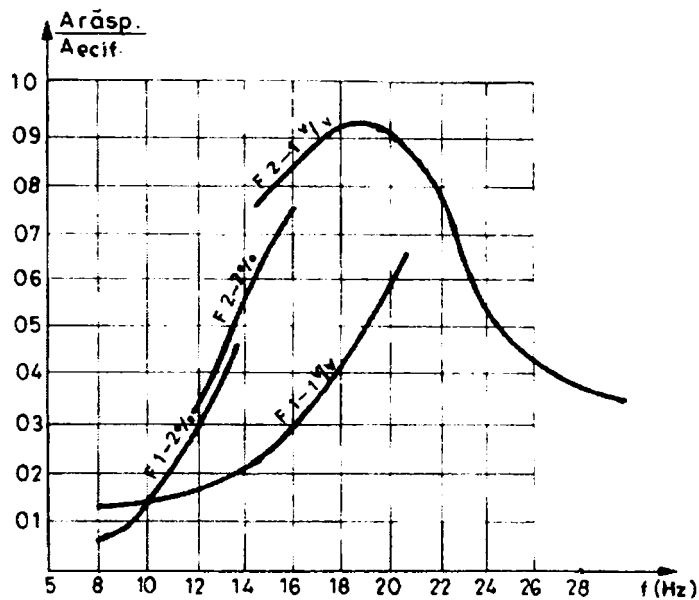


Fig. 6.11. Efectul stratului izolator functie de frecventa

6.4.4. Efectul stratului izolator asupra amplitudinilor vibratiilor fundatiilor

In tabelele 6.5. si 6.6. s-au prezentat valorile raspunsurilor maxime, minime si medii pentru fundatiile F_1 si F_2 supuse actiunilor dinamice verticale si orizontale.

Pentru evaluarea efectului stratului amortizor s-au prezentat rapoartele valorilor maxime/valori maxime, minime si medii, precum si rapoartele valorilor minime/valori maxime, minime si medii ale vitezelor si amplitudinilor oscilatiilor masurate – pentru determinarea domeniului maxim de influenta a stratului izolator asupra raspunsului dinamic.

In figura 6.11. se prezinta efectul stratului izolator asupra atenuarii vibratiilor orizontale si verticale in functie de frecventa oscilatiilor (valorile din tabelele 6.7. ÷ 6.10.).

Din graficele respective pentru fundatia F_2 se remarca o atenuare mai pronuntata a vibratiilor orizontale, comparativ cu vibratiile verticale, stratul izolator conducand la amplitudini mari pentru fundatie, dar cu transmisibilitate mica la teren.

Tabel 6.5. Raspunsul dinamic al fundatiilor experimentale F_1, F_2

Nr. crt.	Experiment (nr. incercari)		Viteze reale inregistrate (mm/s)	Domeniul de frecventa (Hz)	Observatii
1.	Actiune verticala F_{1-1} (1v, 11v)	Maxim minim media (5 val.)	8.80 8.60 8.682	17-20 14-17 8-25	Min. 1.08 mm/s, 8 Hz, media din 5 valori
2.	Actiune orizontala F_{1-2} (25 o)	Maxim minim Media	8.60 5.28 7.406	8-11 25-35 8-35	media din 5 valori
3.	F_{2-1} (37 v)	Maxim minim media	8.76 2.36 5.728	25-35 11-14 14-35	Min. 1.08 mm/s, 11 Hz, media din 5 valori
4.	F_{2-2} (61 o)	Maxim minim Media	11.98 7.51 9.703	11-14 25-35 8-35	media din 6 valori

Tabelul 6.6. Efectul stratului izolator asupra amplitudinilor vibratiilor fundatiilor

Oscilatii verticale A (F_{2-1})	maxim	0.995	minim	0.268
	maxim		maxim	
A (F_{1-1})	minim	1.019	minim	0.274
	maxim		maxim	
	media	0.660	media	0.272
	media		minim	
	media		-	
Oscilatii orizontale A (F_{2-2})	maxim	1.393	minim	0.873
	maxim		maxim	
A (F_{1-2})	minim	2.269	minim	1.422
	maxim		maxim	
	media	1.617	minim	1.014
	media		media	
	media		minim	
	1.310	-	-	

Tabel 6.7. Efectul stratului izolator experiment F_{1-1} - actiune verticala - raspuns vertical

Frecventa (Hz)	A F1	A F2	A F2/A F1
	1	2	
0-8	-	-	-
8-11	-	-	-
11-14	8.67	1.62	0.186
14-17	8.60	2.03	0.236
17-20	8.80	4.33	0.492
20-25	-	-	-
25-35	-	-	-
Maxim	8.19	1.62	0.197

Tabel 6.8. Efectul stratului izolator experiment F₁₋₂ – actiune orizontala – raspuns orizontal

Frecventa (Hz)	A F1	A F2	A F2/A F1
	35	36	
0-8	-	-	-
8-11	8.38	0.86	0.10
11-14	8.65	3.33	0.38
14-17	-	-	-
17-20	-	-	-
20-25	-	-	-
25-35	-	-	-
maxim	1.62	4.06	-

Tabel 6.9. Efectul stratului izolator experiment F₂₋₁ – actiune verticala – raspuns vertical

Frecventa (Hz)	A F2	A F1	A F1/A F2
	37	38	
0-8	-	-	-
8-11	0.64	0.69	-
11-14	2.36	3.11	-
14-17	4.73	3.65	0.771
17-20	4.19	3.97	0.947
20-25	8.60	4.62	0.537
25-35	8.76	3.22	0.371
maxim	8.60	3.6	0.418

Tabel 6.10. Efectul stratului izolator experiment F₂₋₂ – actiune orizontala – raspuns orizontal

Frecventa (Hz)	A F2	A F1	A F1/A F2
	71	72	
0-8	-	-	-
8-11	-	-	-
11-14	1.35	0.50	0.370
14-17	6.28	5.26	0.837
17-20	7.47	10.95	-
20-25	6.70	11.37	-
25-35	-	-	-
maxim	6.09	2.03	0.333

6.5. Concluzii si recomandari pentru proiectare

Cercetarile teoretice si experimentale efectuate au permis sa se traga unele concluzii, care se prezinta in continuare si care sunt utile atat pentru cercetarile de viitor cat si pentru conceptia si proiectarea fundatiilor de utilaje si masini producatoare de vibratii.

1. Izolarea fundatiilor cu perne elastice

Izolarea fundatiilor cu perne elastice este studiata insuficient, literatura de specialitate facand putine referiri in aceasta problema.

Studiile parametrice efectuate pe un model la care mediul de fundare este alcatuit din straturi cu elasticitate diferita, releva faptul ca pentru straturi elastice relativ groase se obtine o atenuare sensibila a fortelor transmise terenului de fundare.

2. Evaluarea coeficientilor de contractie elastica ai terenului

Evaluarea corecta a coeficientilor de contractie elastica ai terenului prezinta importanta deosebita pentru proiectare. Sunt necesare cercetari in situ adecvate pentru fiecare caz in parte, avand in vedere faptul ca literatura de specialitate indica limite largi pentru valorile acestor coeficienti.

Evaluarea prin calcul a coeficientilor elastici constituie o cale directa si cu rezultate bune daca modulii dinamici Young si de forfecare ai terenului sunt corect determinati in laboratoare dotate corespunzator.

Aceasta tehnica prezinta avantajul determinarii coeficientilor elastici direct pentru marimea si forma suprafetei fundatiei in cauza.

3. Cercetari teoretice si experimentale privind incastrarea in teren a fundatiilor de utilaje si masini vibrante

Cercetarile teoretice si experimentale privind efectele incastrarii in teren a fundatiilor de utilaje producatoare de vibratii reliefeaza o crestere a frecventei proprii a sistemului precum si a factorului de amortizare odata cu cresterea gradului de incastrare.

Este important sa se aprecieze corect, in functie de datele problemei si de scopul urmarit, cand este necesara o anumita amortizare a sistemului.

Daca cerintele de protejare a utilajului sau masinii la vibratii primeaza asupra transmisibilitatii vibratiilor la distanta, sistemul va trebui sa prezinte o amortizare relativ mare, nerestrictiva nici pentru cazurile fundatiilor cu acordare joasa. In cazurile in care primeaza protejarea mediului inconjurator, sistemul va trebui sa prezinte o amortizare slaba in scopul reducerii transmisibilitatii vibratiilor.

4. Recomandari pentru proiectare

- Pentru izolarea antivibratorie a fundatiilor de utilaje cu dinamicitate mare, se recomanda prevederea sub fundatie a unui strat izolator din pietris monogranular.
- Stratul izolator va avea o grosime de 10-50 cm in functie de marimea suprafetei de contact a fundatiei si de gradul de izolare impus.
- Raportul dintre diametrul granulelor si grosimea stratului va fi cuprinsa intre 1/6 si 1/8, astfel incat sa se obtina cat mai putine puncte de contact intre granule pentru realizarea unor presiuni de contact maxime.
- In cazul terenurilor slabe, cu rezistenta admisibila mai mica de 200 kN/m^2 , intre stratul de pietris si terenul de fundare se va prevedea un strat de egalizare de 5-8 cm grosime din beton simplu marca B100.
- Pentru realizarea stratului izolator se recomanda folosirea refuzului de ciur, sortat astfel incat diametrul granulelor sa corespunda grosimii stratului izolator proiectat.
- Stratul izolator alcatuit din pietris monogranular are ca efecte principale:
 - ◊ Cresterea pulsatiilor proprii ale sistemului masina – fundatie cu 5-20%, mai accentuata pentru oscilatiile verticale;
 - ◊ Reducerea amplitudinilor vibratiilor sistemului cu 10-30 %,mai accentuata pentru vibratiile verticale;
 - ◊ Reducerea amortizarii vibratiilor ansamblului fundatie – masina cu 5-60 %,mai accentuata pentru vibratiile orizontale;
 - ◊ Reducerea transmisibilitatii vibratiilor la terenul de fundare cu 30-50 %, mai accentuata pentru vibratiile orizontale.
- Pentru fundatii de importanta deosebita, solutia de izolare antivibratoare cu strat din pietris monogranular se va stabili pe baza unor incercari preliminare in vederea determinarii grosimii optime a stratului izolator.

7. CONCLUZII FINALE SI CONTRIBUTII PERSONALE ALE AUTORULUI

7.1. Concluzii finale

Lucrarea de doctorat se inscrie in cadrul preocuparilor existente de mai multi ani in colectivul de Geotehnica si Fundatii din Departamentul de Inginerie Geotehnica de la Universitatea Politehnica din Timisoara privind aplicarea tehnicii vibrarii la rezolvarea unor probleme de geotehnica si fundatii ca urmare a dezvoltarii continue a dinamicii pamanturilor in general, respectiv a studiilor si cercetarilor privind comportarea pamanturilor la actiunea unor incarcari dinamice sub forma de vibratii.

Totodata, autorul a fost si este preocupat de crearea si perfectionarea unor echipamente si tehnologii de executie a lucrarilor de fundatii cat si de ameliorarea raspunsului dinamic al fundatiilor producatoare de vibratii prin studii teoretice si cercetari experimentale in vederea atenuarii factorilor de poluare sonora si vibratoare.

Avand in vedere considerentele mentionate, studiile teoretice si cercetarile experimentale efectuate asupra fundatiilor producatoare de vibratii au fost corelate cu analiza unor aspecte legate de comportarea pamanturilor la actiuni dinamice sub forma de vibratii.

In acelasi timp, se sesizeaza faptul ca cercetarile experimentale se bazeaza pe elemente fundamentale legate de necesitatea utilizarii coeficientilor elastici care stau la baza metodei de calcul in proiectarea fundatiilor producatoare de vibratii.

Teza se finalizeaza cu cercetari experimentale care au drept scop determinarea efectelor unui strat izolator realizat din material granular dispus intre fundatia de beton a utilajului si terenul de fundare, asupra raspunsului dinamic al sistemului masina-fundatie-teren de fundare, transmisibilitatii si atenuarii geometrice a vibratiilor armonice intretinute cu impact asupra recomandarilor pentru proiectarea elementelor structurale – fundatie.

7.2. Contributii personale ale autorului

Cercetarile intreprinse in cadrul tezei de doctorat au condus la urmatoarele contributii personale si totodata originale.

I. Sinteza documentara, care detaliaza experineta in domeniu functie de care au fost jalonate aspectele luate in studiu si valorificate in finalul tezei prin contributii personale.

II. Contributii la studiul comportarii pamanturilor la actiuni dinamice sub forma de vibratii

II.1. Influenta vibratiilor asupra rezistentei la forfecare

Un prim aspect analizat in detaliu, atat prin prisma prelucrarii datelor oferite de literatura de specialitate consultata, cat si prin cea a

cercetarilor si studiilor proprii, il constituie influenta vibratiilor asupra rezistentei la forfecare a pamanturilor. Concluzia generala rezultata este ca, atat in cazul pamanturilor necoezive, cat si a celor coezive sau slab coezive, actiune incarcarii dinamice sub forma de vibratii provoaca reducerea rezistentei la forfecare a acestora, comparativ cu cea obtinuta in conditii statice.

Reducerea cantitativa a rezistentei la forfecare dinamica si modul in care are loc aceasta reducere, depind de:

- natura si starea structurala a pamantului;
- parametrii solicitarii dinamice sub forma de vibratii.

Atat la pamanturile necoezive cat si la cele coezive, reducerea marimii rezistentei la forfecare dinamica, fata de cea statica, este functie de urmatorii parametri ai vibratiilor: amplitudinea vibratiilor (A), frecventa vibratiilor (f) si acceleratia vibratiilor ($\eta = a / g$).

III. Modelarea matematica a sistemului utilaj – fundatie – teren de fundare

III.1. *Partea matematica* originala din teza, bazata pe studii teoretice, o constituie elementele de modelare matematica a interactiunii sistemelor de masina – fundatie si terenul de fundare, care au stat la baza cercetarilor experimentale.

III.2. Se fundamenteaza *elemente de proiectare a fundatiilor de masini* si utilaje cu actiune vibranta care sa conduca la diminuarea efectelor generate de unele socuri si vibratii prin adoptarea unor solutii de diminuare la sursa, diminuarea raspunsului dinamica, cat si aspecte legate de izolarea contra vibratiilor.

III.3. *Limitarea efectelor vibratiilor* implica in primul rand stabilirea unor frecvente, respectiv pulsatii proprii pentru sistem, astfel incat sa se evite rezonanta in timpul functionarii si sa diminueze efectele acestuia in timpul pornirilor si opririlor, in cazul utilajelor si masinilor care functioneaza deasupra rezonantei.

III.4. Sistemele constructive, materialele utilizate, valorile presiunilor pe teren conduc de asemenea la variabilitatea raspunsului dinamic al sistemului utilaj (masina) – fundatie – suport de rezemare. In cazul fundatiilor amplasate pe teren apar probleme importante pentru determinarea constantelor elastice (de rigiditate) ale terenului tinand cont de proprietatile dinamice si geologice ale acestora.

III.5. Un loc important il ocupa problema fundatiilor de masini si utilaje incastrate in tere, al caror raspuns este in unele cazuri influentat in mod semnificativ de efectul incastrarii.

Cercetarile privind efectele incastrarii fundatiilor in teren sunt de mare utilitate in practica, intrucat adesea pot conduce la o proiectare mai economica (in mod frecvent fundatiile de utilaje incastrate in teren) si se poate folosi efectul de interactiune ca mijloc de izolare si deci de atenuare a vibratiilor si consecintelor acestora.

IV. Modele de calcul pentru determinarea coeficientilor elastici ai terenurilor si a constantelor elastice ale fundatiilor

Terenul de fundare reprezinta un sistem elastic, avand accesibila numai suprafata, restul fiind considerat infinit. Din punctul de vedere al deformatiilor unor modele de calcul pentru determinarea coeficientilor elastici ai terenurilor si a constantelor elastice a fundatiilor, s-a urmarit deplasarea suprafetei terenului

sub actiunea unei presiuni, ajungandu-se astfel la relatia dintre eforturi unitare, respectiv presiuni si deformatii specifice (analog legii lui Hooke).

In cadrul vibratiilor, ne intereseaza numai deformatiile elastice, reversibile. Ca urmare, s-a luat in considerare numai tasarea elastica. Coeficientii elastici ai terenului de fundare C_z , C_x , C_{\square} si C_{\square} , utilizati in studiul dinamic al fundatiilor producatoare de vibratii, asa cum este prezentat in capitolul 5, se pot determina atat experimental, cat si prin calcul.

Pentru determinarea prin calcul a coeficientilor elastici in proiectarea fundatiilor se aplica analize numerice – parametrice, utilizand programele de calcul CØF11 si CØF12 implementate la centrele de calcul care dispun in prezent de optiuni pentru variante optime ale sistemelor de fundare.

V. Cercetarile experimentale efectuate au pus in evidenta urmatoarele aspecte principale:

V.1. Efectul stratului izolator asupra caracteristicilor elastice C_z , C_x

- a. coeficientul contractiei elastice verticale C_z , corespunzator fundatiei cu strat izolator prezinta o crestere cu 25-35 % fata de coeficientul C_z , corespunzator fundatiei martor, rezemata pe teren (argila grasa contractila – $E_d=180-400 \text{ daN/cm}^2$);
- b. coeficientul contractiei elastice orizontale C_x , corespunzator fundatiei cu strat izolator, prezinta o crestere cu 5-10% fata de coeficientul C_x , corespunzator fundatiei mortar;
- c. se constata o imprastiere mare a rezultatelor obtinute din incercarile efectuate datorita faptului ca la determinarea acestor coeficienti s-au utilizat in calcul valori diferite pentru excitatie (fie forte de actionare directa a fundatiei respective, fie raspunsul dinamic al excitatiei fundatiei vecine);
- d. comparand valorile coeficientilor elastici C_x si C_z determinati prin folosirea vitezelor undelor de propagare (metoda refractiei, metoda down-hole, ultrasunete), cu valorile coeficientilor C_x si C_z determinati din incercarile efectuate pe fundatia martor, rezemata pe teren, se constata ca primele valori fata de ultimele sunt in raportul 1,87 pentru C_z si 1,48 pentru C_x .
- e. comparand valorile obtinute folosind diverse relatii prezentate in literatura de specialitate (Schleicher, Savinov, Barkan etc.) cu rezultatele experimentale, se constata supraevaluari atat pentru coeficientii C_x cat si pentru coeficientii C_z .

V.2. Efectul stratului izolator asupra factorului de amortizare al sistemului masina- fundatie

- a. In cazul vibratiilor verticale corespunzatoare fundatiei cu strat izolator, provocate de actiunea directa a utilajului, procentul din amortizarea critica este cu 3-6 % mai mic decat cel corespunzator vibratiei fortate a fundatiei mortar, rezemata direct pe teren;
- b. In cazul acelorasi vibratii verticale, provocate insa de raspunsul actiunii asupra fundatiei vecine, martor, procentul din amortizarea critica este de 3-4 ori mai mic decat pentru vibratiile verticale ale fundatiei mortar, provocate de raspunsul actiunii asupra fundatiei vecine cu strat izolator;
- c. In cazul vibratiilor orizontale ale fundatiei cu strat izolator, provocate fie de actiunea directa a utilajului, fie de vibratiile raspuns ale actiunii pe fundatia vecina, martor, procentul din amortizarea critica reprezinta 40-43 % din amortizarea corespunzatoare vibratiilor fundatiei martor provocate de utilaj si respectiv de vibratiile raspuns al actiunii de fundatia vecina, cu strat izolator;

- d. Stratul izolator are ca efecte principale reducerea amortizarii sistemului cu 5-10 % pentru vibratiile verticale si 30-60 % pentru vibratiile orizontale precum si a transmisibilitatii vibratiilor la terenul de fundare.

V.3. Efectul stratului izolator asupra transmisibilitatii vibratiilor

- a. Amplitudinea vibratiilor punctelor aflate pe suprafata terenului la distante variind intre 6-37 m fata de sursa perturbatoare, este cu 30-50 % mai mica in cazul actiunii aplicate pe fundatia cu strat izolator fata de amplitudinile de raspuns in acelasi punct de masurare, in cazul actiunii aplicate pe fundatia martor, rezemata direct pe teren;
- b. Pentru fundatia cu strat izolator, amortizarea geometrica a vibratiilor orizontale este superioara amortizarii vibratiilor verticale, spre deosebire de fundatia rezemata pe teren la care atenuarea vibratiilor verticale este mai pronuntata in comparatie cu vibratiile orizontale;
- c. In cazul experimentului efectuat, amplitudinile vibratiilor fundatiei rezemate pe tere, ca raspuns la actiunea fundatiei cu strat izolator, precum si amplitudinile vibratiilor fundatiei cu strat izolator ca raspuns la actiunea fundatiei rezemata pe tere, sunt in raportul $1/2 - 2/3$.

V.4. Efectul stratului izolator asupra amplitudinilor vibratiilor si frecventelor proprii ale sistemului masina - fundatie

- a. In cazul excitatie verticale provocate fie de utilaj, fie de vibratiile fundatiei vecine, valoarea medie a amplitudinilor oscilatiilor fundatiei cu strat izolator reprezinta 60-80 % din aceeasi valoare inregistrata pentru fundatia martor, rezemata pe teren;
- b. In cazul excitatie provocate fie de utilaj, fie de vibratiile fundatiei vecine, valoarea medie a amplitudinilor oscilatiilor la rezonanta a fundatiei cu strat izolator reprezinta 70-75 % din aceeasi valoare inregistrata pentru fundatia martor;
- c. In cazul excitatie orizontale provocata de vibromasina, valoarea medie a amplitudinilor oscilatiilor in toata gama frecventelor de excitatie reprezinta 130 % din aceeasi valoare inregistrata la fundatia martor;
- d. Atat pulsatiile proprii verticale, cat si pulsatiile proprii orizontale ale fundatiei cu strat izolator cresc fata de pulsatiile fundatiei martor cu 10-20 % si respectiv 5-11 %.
- e. Stratul izolator are ca efecte principale o reducere a amplitudinilor vibratiilor verticale si orizontale la rezonanta in medie cu 30 % si respectiv 20 % si o crestere a pulsatiilor proprii in medie cu 15 % si respectiv 8 %.

7.3. Directii de cercetare in viitor

7.3.1. Comportarea pamanturilor la actiunea sollicitarilor dinamice

Este una dintre problemele importante care preocupa pe multi specialisti din domeniul fundatiilor. In acelasi timp trebuie subliniat faptul ca odata cu realizările obtinute pana in prezent au reiesit unele neconcordante intre rezultatele masurate si cele calculate, ca si in modul de interpretare a acestora de diferiti autori.

Necesitatea cercetarilor in aceasta directie este determinata de mai multi factori si anume:

- Actiunea dinamica poate avea efecte negative asupra terenului de fundare si asupra constructiilor, impotriva carora trebuie sa se duca o lupta cu mijloace stiintifice;
- Actiunea dinamica, stapanita si dirijata in mod convenabil, poate usura in mare masura activitatea legata de realizarea constructiilor;
- In conditii de solicitare dinamica, caracteristicile fizico-mecanice ale pamanturilor se modifica, conducand la scaderea capacitatii lui de a prelua incarcările diverse ale constructiei.

7.3.2. Cercetarile efectuate

Cercetarile efectuate permit sa se desprinda unele *concluzii utile* si pentru aspectele de cercetare si proiectare in domeniul fundatiilor de utilaje si masini.

1. Se mentioneaza *efectul dual al amortizarii*, acela de diminuare a amplitudinii si de amplificare a transmisibilitatii la acordare joasa, aspecte foarte importante pentru proiectarea fundatiilor de utilaje si masini.

2. *Izolarea fundatiilor cu perne elastice* si raspunsul dinamic al acestora este mai putin studiat. Curbele obtinute pentru valori ale raportului $N = 0,5; 1; 1,5$, arata ca pentru straturi elastice relativ groase, raspunsul sistemului se atenuaza. Pentru a realiza valori ale factorului N corespunzatoare se poate actiona, fie asupra stratului elastic prin grosime si modulul de elasticitate, fie asupra terenului care poate fi tratat prin procedee mecanice sau fizico-chimice pentru a obtine caracteristici dorite.

3. *Cunoasterea coeficientilor elastici* si evaluarea lor cat mai realist este de mare utilitate in proiectarea optima a fundatiilor de utilaje. Acestia pot fi determinati experimental, cu placa rigida, fiind necesare corectii prin trecerea de la placa de incercare la fundatia reala. Incercarile dinamice sunt relativ dificil de realizat, iar prin utilizarea valorilor statice sunt necesare corectii ale caracteristicilor elastice ale terenului pentru a lua in considerare efectele dinamice.

4. *Evaluarea prin calcul a coeficientilor elastici* ai terenului constituie o cale directa si cu rezultate bune, daca s-au determinat in prealabil in laborator modulul de elasticitate E_t sau modulul de forfecare G_t si coeficientul lui Poisson ν_t , corespunzatoare actiunilor dinamice. Aceasta cale prezinta avantajul ca nu mai sunt necesare corectii datorita marimii si formeii suprafetei de rezemare, iar incercarile necesare pentru determinarea caracteristicilor elasto – dinamice ale terenului sunt mai putin costisitoare si mai sigure prin realizarea mai multor determinari si alegerea valorilor finale pe baza legilor statisticii.

5. *Cercetarile teoretice si experimentale* privind efectele incastrarii fundatiilor in teren sunt de mare utilitate practica, intrucat adesea pot conduce la o proiectare mai economica (in mod frecvent fundatiile de utilaje sunt incastrate in teren) si se poate folosi efectul de interactiune ca mijloc de izolare si deci de atenuare a vibratiilor si consecintelor acestora.

6. Daca *cerintele de protejare a utilajului la vibratii* primeaza asupra transmisibilitatii vibratiilor la distanta, sistemul va trebui sa prezinte o amortizare relativ mare, nerestrictiva nici pentru cazurile fundatiilor cu acordare joasa. In cazurile in care primeaza protejarea mediului inconjurator, sistemul va trebui sa prezinte o amortizare slaba in scopul reducerii transmisibilitatii vibratiilor.

BIBLIOGRAFIE

1. Andrei, S. – Geotehnica. Fizica pământurilor, București, 1974.
2. Alexandrescu, I., Păunescu, M. – Comportarea pământurilor la acțiunea unui regim de vibrații. A X-a Conferință Națională de Geotehnică și Fundații, București, septembrie, 2004.
3. Alexandrescu, I. – Tehnologii folosite pentru îmbunătățirea terenurilor slabe de fundare folosind mașini cu acțiunea vibrantă. Referat II doctorat, iulie, 2002.
4. Alexandrescu, I. – Sisteme de mașini cu acțiunea vibrantă utilizate pentru mecanizarea lucrărilor de execuție a fundațiilor. Referat I doctorat, septembrie 2001.
5. Alexandrescu, I. – Tehnologii de ștanțare a gropilor de fundații realizate cu utilaje vibratoare. Referat III doctorat, februarie 2004.
6. Andrei, S. – Apa în pământuri nesaturate. Editura Tehnică București, 1977.
7. Buzdugan, Gh. – Teoria vibrațiilor. Editura Tehnică București, 1978.
8. Buzdugan, Gh. – Izolarea antivibratorie a mașinilor. Editura Academiei, București, 1980.
9. Buzdugan, Gh., Fetcu, L., Rareș, M. – Vibrațiile sistemelor mecanice. Editura Academiei, București, 1975.
10. Buzdugan, Gh., Fetcu, L., Rareș, M. – Vibrații mecanice. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979.
11. Buzdugan, Gh., Mihăilescu, E., Rareș, M. – Măsurarea vibrațiilor. Editura Academiei, București, 1979.
12. Bratosin, D., Vasile, I. – Vibration in nonlinear viscoelastic soils. Proceedings of the First Symposium Dynamics of Machine Foundations, Bucharest, 1985.
13. Bratosin, D., Vasile, I. – Legea constitutivă, σ , ϵ , $\dot{\epsilon}$ pentru pământuri solicitate în regim dinamic. Simpozion ICEFIZ, Progrese în fizică, Iași, 1985.
14. Barkann, D.D. – Foundation engineering and drilling by the vibration method. Proceedings IV International Conference on soil mechanics, 1957, London.
15. Buzdugan, Gh. – Dinamica fundațiilor de mașini. Editura Academiei RSR, București, 1968.
16. Crăifăleanu, I. – Modele neliniare cu un grad de libertate în ingineria seismică. Editura Matrix Rom., București, 2005.
17. Dima, Gh. – Studiu asupra modificării caracteristicilor fizico - mecanice ale maselor de pământ asupra acțiunii vibrațiilor. Teză de doctorat, I.C. București, 1965.
18. Davier, T.G. – Machine foundations, cyclic loading of soils from theory to design. Blackie and Son Ltd. Glasgow, 1990.
19. Datirm U.D., Ingreji, N.K. – Effect of different parameters of soils under cyclic loading. Thirteenth International Conference of Soil Mechanics and Foundations Engineering, New Delhi.

20. Goran, V. – Mecanizarea lucrărilor de construcții. Revista Construcții, 1990.
21. Gruia, A., Haida, V. – Geotehnică și Fundații, I.P. Traian Vuia, Timișoara, 1990.
22. Gafițeanu, M., Focșa, V. – Vibrații și zgomote. Editura Junimea, Iași, 1980.
23. Herghelegiu, I. – Contribuții pentru determinarea caracteristicilor mecanice ale pământurilor prin metode in-situ. Teză de doctorat, 1985.
24. Haida, V., Butuman, V., Keller, E. – Unele aspecte privind rezistența la forfecare dinamică a pământurilor. Sesiune științifică Cluj-Napoca, octombrie 1978.
25. Haida, V. – Contribuții la studiul comportării pământurilor solificate dinamic și folosirea tehnicii vibrării în geotehnică - vibroforajele. Teză de doctorat, Timișoara, 1979.
26. Haida, V. – Geologie, Geotehnică și Fundații. Elemente de geologie și geotehnică. I.P. Traian Vuia, Timișoara, 1981.
27. Haida, V. – Geologie, Geotehnică și Fundații. Mecanica pământurilor. I.P. Traian Vuia, Timișoara, 1982.
28. Haida, V., Pantea, P. – Geologie, Geotehnică și Fundații. Fundații și procedee de fundare. I.P. Traian Vuia, Timișoara, 1981.
29. Haida, V., Marin, M. – Geotehnică. Universitatea Tehnică Timișoara, 1994.
30. Haida, V., Marin, M., Mirea, M. – Mecanica pământurilor. Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2004.
31. Ishihara, K., Verdugo, R., Accacio, A.A. – Characterization of cyclic behavior of sand and post - seismic stability analysis. Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Bangkok, Thailand, vol. 2, 1991.
32. Jurcă, A., Mircea, I., Roșu, I. – Transmiterea vibrațiilor prin teren, provocate de mici explozii. Aniversare INCERC - Filiala Timișoara, 50 ani de activitate, octombrie 2005.
33. Jurcă, A., Mircea, I., Roșu, I. – Efectul vibrațiilor produse de instalația de îmbunătățire a terenului de fundare. A X-a Conferință Națională de Geotehnică și Fundații, București, 2004.
34. Manoliu, I. – Fundații și procedee de fundare. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
35. Mihăilescu, S., Bratu, P., Goran, V. – Mașini de construcții. Editura Tehnică, București, 1985.
36. Manoliu, I., Marcu, A. – EUROCODE 7. Calculul fundațiilor și ingineria geotehnică. Exemple de calcul. 1998.
37. Marin, M., Păunescu, M., Vâță, I. – Procedeu și dispozitiv pentru îmbunătățirea terenurilor slabe de fundare. Brevet de invenție nr. 81796, 1983.
38. Marin, M., Păunescu, M. – Model combinat de calcul pentru terenul de fundare. A V-a Conferință Națională de Geotehnică și Fundații, Cluj-Napoca, 1985.
39. Marin, M. – Influența condițiilor locale de teren asupra răspunsului seismic al construcțiilor. A X-a Conferință Națională de Geotehnică și Fundații, București, 2004.
40. Neagu, R., Bogdan, N. – Tehnologia lucrărilor de construcții. Editura Tehnică, București, 1974.
41. Păunescu, M., Izdrăilă, V., Haida, V. – Folosirea vibrațiilor pentru executarea unor noi lucrări de fundații. Revista Hidrotehnică, vol. 9, 1974.

42. Păunescu, M., Haida, V. – Forages géotechnique et puit hydrogéologique exécutées au moyen des mécanismes vibrateurs. IX Convegno di Geotecnica, Genova, 1968.
43. Păunescu, M., Haida, V., Stoian, C. – Drenuri orizontale executate prin vibroforare. Revista Hidrotehnica, 1975.
44. Păunescu, M., Vasilescu, N. – Foraje orizontale executate prin vibrație. Revista Hidrotehnica, nr. 8, 1971.
45. Păunescu, M. – Tehnica vibrării în realizarea fundațiilor. Editura Facla, Timișoara, 1978.
46. Păunescu, M., Ștefăniță, M. – Folosirea vibroînțepării și a piloților de balast pentru compactarea în adâncime a unor terenuri de fundare. Revista Șantierul în Construcții, nr. 8, 1975.
47. Păunescu, M. – Îmbunătățirea terenurilor slabe în vederea fundării directe, Editura Tehnica, București, 1980.
48. Păunescu, M. – Tehnica vibrării în lucrările de fundații. Editura Facla, Timișoara, 1979.
49. Păunescu, M., Marin, M. -- Soluții noi de consolidare a terenurilor slabe folosind ploturi ștanțate prin vibropresare. Revista Construcții, nr. 9, 1982.
50. Păunescu, M., Marin, M. – Construcții realizate pe teren îmbunătățit cu vibromaiul. A V-a Conferință Națională de Geotehnică și Fundații, Cluj-Napoca, 1985.
51. Păunescu, M., Haida, V., Gruia, A. ș.a. – Studies and test in-situ on structures performed on soil improved by vibration. A VII-a Conferință Europeană de Mecanica Pământurilor și Fundații, Helsinki, 1983.
52. Păunescu, M., Vâță, I., Marin, M. – Ridicarea gradului de mecanizare a lucrărilor de la infrastructura construcțiilor folosind tehnica vibrării. Revista Mecanizarea Construcțiilor, nr. 2, 1983.
53. Păunescu, M., Marin, M. – Soluții moderne pentru fundații directe. Editura Facla, Timișoara, 1986.
54. Păunescu, M., Marin, M., Scordaliu, I. – Fundații executate prin ștanțarea gropilor de fundare o soluție modernă de fundare a construcțiilor. Revista Construcții, nr. 6, 1985.
55. Păunescu, M., Marin, M., Scordaliu, I. – Mecanizarea lucrărilor de îmbunătățire a terenurilor de fundare. Editura Tehnică, București, 1990.
56. Păunescu, M. – Folosirea vibrațiilor la executarea unor lucrări de fundații. Editura Tehnică, București, 1966.
57. Păunescu, M. – Foundations Made by Vibratory Equipment. Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, 1977.
58. Păunescu, M. – Înfingerea piloților și palplanselor prin vibrație. Date experimentale asupra forțelor de frecare. Revista Hidrotehnica, nr. 5, 1962.
59. Păunescu, M., Schein, T., Butuman, V. – On foundations of buildings on piles made by vibration. Proceedings of the European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Viena, 1976.

60. Păunescu, M., Ștefănică, M., Marin, M. – Soluții și tehnologii moderne de industrializare a fundațiilor pentru stâlpi cu solicitări complexe. Editura Marineasa, Timișoara, 2005.
61. Richard, F.E., Voods, R.D., Hall, J.R. – Vibration of soils and foundations. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1970.
62. Răduinea, N. – Determinarea parametrilor dinamici pentru încercări triaxiale ciclice pe probe de pământuri necoezive.
63. Răileanu, P., Mușat, V. – Geotehnică și Fundații. Editura Venus, Iași, 2001.
64. Scordaliu, I., Murărașu, O., Laszlo, E. – Metodologie experimentală de determinare a caracteristicilor dinamice ale terenurilor de fundare. Aniversare INCERC - Filiala Timișoara 50 de ani de activitate, octombrie, 2005.
65. Ștefănică, M., Dobrescu, C. – Considerații privind modul de comportare a terenului de fundare în zone cu solicitări seismice. A X-a Conferință Națională de Geotehnică și Fundații, București, 2004.
66. Ștefănică, M., Călărașu, E. – Evaluarea parametrilor dinamici în foraje de adâncime. A X-a Conferință Națională de Geotehnică și Fundații, București, 2004.
67. Silaș, Gh., Păunescu, M., Groșanu, I. – Vibropercutor pentru înfigerea elementelor în pământ. Buletinul Științific și Tehnic IPT, vol. 9, 1965.
68. Silaș, Gh., Păunescu, M., Groșanu, I. – Executarea forajelor geotehnice prin metoda vibrării. Revista Hidrotehnica, nr. 8, 1967.
69. Silaș, Gh. – Mecanică. Vibrații mecanice. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1968.
70. Ștefănică, M. – Construcții executate pe terenuri slabe îmbunătățite prin metoda vibroîntepării. A III-a Conferință Națională de Geotehnică și Fundații, Timișoara, 1975.
71. Ștefănică, M. – Contribuții asupra metodelor de industrializare a fundațiilor stâlpilor de energie electrică. Teză de doctorat, IPT, 1980.
72. Tomlinson, I. – Proiectarea și executarea fundațiilor. Editura Tehnică, București, 1973.
73. Vaicum, A. – Fundații pentru construcții energetice de distribuție și transport. Editura Academiei, 1975.
74. *** - EUROCODE 7 – Partea I. Proiectarea geotehnică. Reguli generale, Editura Bridgeman Ltd., 1998.
75. *** - EUROCODE 7 – Proiectarea geotehnică. Partea I. Reguli generale, februarie 2004.
76. *** - EUROCODE 8 – Proiectarea structurilor pentru rezistență la cutremur. Partea 5. Fundații, lucrări de susținere și aspecte geotehnice.
77. *** - CR-01b – Cod de proiectare. Bazele cercetării terenului de fundare și ale stabilirii datelor geotehnice. MLPAT, 1998.
78. *** - CR7 - 0001e1 – Cod de proiectare. Fundarea directă. Bazele proiectării geotehnice în cazul fundării directe, MLPAT, 2000.
79. *** - C241-92 – Metodologie de determinare a caracteristicilor dinamice ale terenului de fundare la solicitărilor seismice. Buletinul Construcțiilor Vol. 9/1993.
80. *** - STAS 3300/2-85– Teren de fundare. Calculul terenului de fundare, 1985.

81. *** - GP014-97 – Ghid de proiectare. Calculul terenului de fundare la acțiuni seismice în cazul fundării directe. Buletinul Construcțiilor vol. 12, 1998.
82. *** - GT 035/2002 – Ghid privind modul de întocmire și verificare a documentațiilor geotehnice pentru construcții. Buletinul Construcțiilor vol. 13, 2002.
83. *** - NP 074/2002 – Normativ privind principiile, exigențele și metodele cercetării geotehnice a terenului de fundare. Buletinul Construcțiilor vol. 13, 2002.
84. *** - NE 012-99 – Cod de practică pentru executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat, Buletinul Construcțiilor vol. 8 ,1 999.
85. *** - C29-85 – Normativ privind îmbunătățirea terenurilor de fundare slabe prin procedee mecanice.
86. *** - C178-76 – Instrucțiuni tehnice pentru executarea drenurilor prin vibroforare, Buletinul Construcțiilor vol. 11, 2002.
87. *** - GE 029-97 – Ghid practic privind tehnologia de execuție a piloților pentru fundații, MLPAT, 1997.
88. *** - Instrucțiuni tehnice pentru proiectarea, executarea și recepționarea lucrărilor de îmbunătățire a terenurilor slabe de fundare prin metoda împănării cu materiale locale de aport pe cale dinamică, MLPTL, 1993.
89. *** - Instrucțiuni tehnice pentru proiectarea, executarea și recepționarea lucrărilor de realizare a piloților scurți turnați pe loc executați prin vibropresare, MLPTL, 1993.
90. *** - Normativ de proiectare a structurilor de fundare directă, NP 112- 04, Buletinul Construcțiilor nr.14/2005

Titluri recent publicate în colecția „TEZE DE DOCTORAT” seria 5: Inginerie Civilă

1. **Ștefan Dună** – *Contribuții la studiul dimensionării și funcționării optimizate a rețelelor de gaze naturale combustibile*, ISBN (10) 973-625-357-0, (13) 978-973-625-357-7, (2006);
2. **Diana Octavia Cormoș** – *Reabilitarea cursurilor de apă din zonele defavorizate*, ISBN (10) 973-625-358-9, (13) 978-973-625-358-4, (2006);
3. **Radu Bertici** – *Vertisolurile din Banat și efectul variației de volum asupra unor elemente constructive din amenajările funciare*, ISBN 978-973-625-418-5, (2007);
4. **Claudia Flaminia Mocanu** – *Contribuții la modelarea ecohidrologică a unor sisteme acvatice*, ISBN 978-973-625-419-2, (2007);
5. **Ioan Silviu Doboși** – *Contribuții privind corelarea raportului optim între gradul de confort și consumul energetic al instalațiilor de încălzire și climatizare pentru clădiri cu funcționalități multiple*, ISBN 978-973-625-448-2, (2007);
6. **Mihai Benga** – *Contribuții privind funcționarea optimizată a sistemelor de prevenire și combatere a incendiilor la clădiri multifuncționale*, ISBN 978-973-625-466-6, (2007);
7. **Ștefania Balica** – *Contribuții la optimizarea schemelor de amenajare, utilizând soluții non-structurale, dezvoltarea și aplicarea indiciilor de vulnerabilitate la inundații pentru diverse scări spațiale*, ISBN 978-973-625-474-1, (2007);
8. **Mihaela Elisabeta Madar** – *Cercetări privind renaturarea corpurilor de apă puternic modificate*, ISBN 978-973-625-469-7, (2007);
9. **Dorel Mihai** – *Contribuții la studiul structurilor din lemn*, ISBN 978-973-625-562-5, (2007);
10. **Alina Irina Gîrbaciu** – *Studiul și modelarea proceselor de difuzare a apei subterane prin metode subterestre directe (in situ)*, ISBN 978-973-625-558-8, (2007).



EDITURA POLITEHNICA