

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN TIMISOARA  
FACULTATEA DE MECANICĂ

Ing. Titu'Virgil Florin Buzilă

# TEZĂ DE DOCTORAT

CONDUCĂTOR STIINȚIFIC,  
Prof. Dr. ing. Liviu Brîndeu.

Timișoara, 1999

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN TIMISOARA

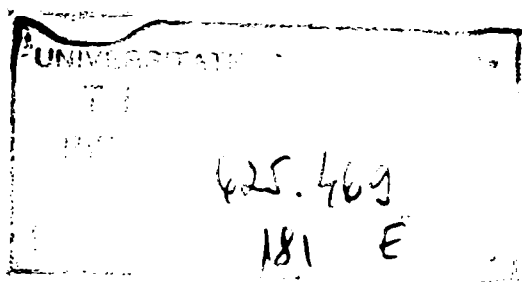
FACULTATEA DE MECANICĂ

Ing. Titu Virgil Florin Buzilă

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

CERCETĂRI PRIVIND NOI PROCEDEE DE  
REALIZARE A IZOLĂRII ANTIVIBRATORII LA  
FUNDAȚIILE MASIVE DE MAȘINI

TEZĂ DE DOCTORAT



CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC,  
Prof. Dr. ing. Liviu Brîndeu.

Timisoara, 1999

## CUPRINS

<b>Cap.1</b>	<b>Prefață</b>	<b>5</b>
<b>Cap.2</b>	<b>Izolarea activă antivibratorie a fundațiilor de mașini.</b>	<b>7</b>
2.1	Studiu izolării antivibratorii	7
2.2	Stări limită	7
2.3	Vibrațiile mașinilor	8
2.4	Izolarea antivibratorie a mașinilor	9
2.5	Complexul mașină – fundație	10
2.6	Fundația de mașină	10
2.7	Vibrații verticale. Relații din teoria vibrațiilor	13
2.8	Vibrații libere de translație în lungul unui ax orizontal	29
2.9	Vibrații libere de rotație în jurul unui ax orizontal	29
2.10	Vibrații libere de rotație în jurul unui ax vertical	30
2.11	Vibrații cuplate de translații și rotație	31
<b>Cap.3</b>	<b>Problematika fundării mașinilor mari din instalațiile termoenergetice</b>	<b>38</b>
3.1	Tipuri de mașini mari specifice.	38
3.2	Clasificări ale mașinilor mari din compunerea instalațiilor termoenergetice.	40
3.3	Probleme specifice fundării mașinilor mari.	42
3.4	Soluții tehnice aplicate la fundarea mașinilor mari.	43
3.5	Detalii aplicate la realizarea fundațiilor masive pentru mașini.	45
<b>Cap.4</b>	<b>Obiectul tezei de doctorat.</b>	<b>51</b>
<b>Cap.5</b>	<b>Dinamica sistemului mașină - fundație - suport , metode de calcul</b>	<b>53</b>
5.1	Model de calcul.	53
5.2.	Metoda coeficienților elastici dinamici ai solului	54
5.3	Metoda semispațiului elastic	64
5.4	Efectul umpluturilor laterale asupra comportării fundației	69
5.5	Presiune admisă pe teren	72
5.6	Utilizarea metodei elementului finit	73
<b>Cap.6.</b>	<b>Elemente de dinamica solurilor</b>	<b>75</b>
6.1	Generalități.	75
6.2	Clasificări ale solurilor.	75
6.3	Mărimi care caracterizează solurile.	77
6.4	Corelări între mărimi care caracterizează solurile.	79
6.5	Constante caracterizând deformațiile plastice ale solurilor.	81
6.6	Coeficienți elastici ai solurilor.	98
6.7	Valori experimentale	106

<b>Cap.7</b>	<b>Metoda de fundare directă pe / în perne elastice din balast compactat.</b>	<b>107</b>
7.1	Introducere.	107
7.2	Soluții tehnice aplicate.	107
7.3	Analiza dinamică a funcționării ventilatoarelor mari.	107
7.4	Considerente pentru realizarea acestui nou procedeu de fundare.	107
7.5	Tehnologie de execuție.	114
7.5	Proiectarea pemelor elastice din balast natural	119
7.6	Coeficienți elastici ai rezemării pe/în perne elastice din balast compactat	128
<b>Cap.8</b>	<b>Consolidări și modificări de fundații de mașini.</b>	<b>132</b>
8.1	Defecte ale blocurilor fundațiilor de mașini.	132
8.2	Procedee de remediere a defectelor blocurilor de fundații.	136
8.3	Modificarea blocurilor de fundație existente, pentru adaptarea lor la noi tipuri de mașini.	138
8.4	Remedierea unei fundații masive de mașină pentru un ventilator de gaze arse, grav avariata.	139
<b>Cap.9</b>	<b>Concluzii finale.</b>	<b>143</b>
<b>Cap.10</b>	<b>Bibliografie.</b>	<b>147</b>
<b>Cap.11</b>	<b>Anexe.</b>	<b>151</b>
	- Titus - program pentru calculul pulsațiilor proprii și amplitudinilor mișcării la fundațiile masive de mașini rezemate pe sol (pături elastice)	151
	- Pres – program pentru calculul presiunilor sub tălpile fundațiilor izolate	165

## Cap.1 Prefață

Pentru fundațiile masive de mașini mari, sunt cunoscute avantajele realizate în cazul fundării directe față de unele procedee de fundare indirectă cum sunt cele de fundare pe elemente elastice, pături sau straturi elastice izolante. Dintre avantajele amintim :

- creșterea siguranței în exploatare, prin eliminarea situațiilor de avariere a izolației antivibratorii, (exemplu, cazuri frecvente de rupere a unor casete cu arcuri sau de distrugere a izolației sau izolatorilor elastici).

- simplitatea tehnică a soluției de realizare a fundării mașinii.

- volumul de investiție mult mai redus.

- eliminarea totală a operațiilor și cheltuielilor de întreținere a izolării antivibratorii.

Lucrarea de față prezintă o posibilitate de realizare a dezideratului enunțat, *procedeu de fundare directă pe / în perne elastice din balast natural compactat*, executate înfrățit cu celelalte umpluturi din teren natural realizate în amplasament în urma lucrărilor de săpătură generală necesară realizării sistemului de fundare a întregului obiectiv. În pernele elastice realizate conform acestui procedeu de fundare, este posibil a fi înglobate fundații cu solicitări statice și / sau elemente ale gospodăriei tehnologice din zonă.

Pe lângă criteriile care trebuie avute în vedere la proiectarea și realizarea fundațiilor masive utilizând acest procedeu de fundare, în lucrare sunt prezentate rezultate și concluzii reieșite în urma aplicării și a urmăririi în timp a comportării a unor fundații masive pentru mașini mari realizate în acest procedeu de fundare.

În lucrare se folosește ca terminologie noțiunea de *izolare activă antivibratorie*, ca situația creată la izolarea sursei producătoare de vibrații. *Izolarea pasivă antivibratorie* se definește ca izolarea unui receptor împotriva vibrațiilor induse prin mediul înconjurător, suport al fundației masive. Menționăm că în literatură termenul de *izolație activă antivibratorie* se mai utilizează și cu sensul de denumire a unor tipuri de *dispozitive izolante antivibratorii* cu parametri de izolare variabili și comandă automată.

În lucrare sunt prezentate de asemenea și câteva criterii care trebuie avute în vedere la executarea consolidărilor unor fundații masive de mașini avariate în exploatare sau cazul unor fundații masive de mașini care se remodelează în urma înlocuirii mașinilor în cadrul unor rețehnologizări.

De-a lungul anilor de activitate, ca inginer proiectant in cadrul Institutului de Studii și Proiectări Energetice București Sector Timișoara, am beneficiat de sprijinul colegilor din Timișoara și din București, în fundamentarea și realizarea acestui procedeu propriu de fundare pentru mașinile mari. Le mulțumesc deosebit tuturor celor care m-au sprijinit și ajutat pentru aceasta precum și celor care m-au sprijinit în redactarea acestei lucrări.

Închin un gând pios și mulțumiri profesorilor mei, de la Universitatea Tehnică Cluj Facultatea de Construcții, care, cu competență mi-au îndrumat ferm formarea în meseria de inginer constructor.

Mulțumesc deosebit, Prof.Dr.Ing.Liviu Brîndeu, șeful catedrei de Mecanică, conducătorul științific al acestei teze de doctorat, care prin tact și competență profesională a făcut posibilă elaborarea și finalizarea acestei lucrări.

De asemenea, aduc mulțumirile mele distinșilor profesori, Acad.Gh.Buzdugan și Acad.Gh.Silaș, care prin sugestii obiective m-au ajutat în clarificarea unor probleme de mare finețe tehnică.

Nu în ultimul rând mulțumesc soției mele și familiei, care prin susținere, înțelegere și ajutor mi-au ușurat activitatea pe care am depus-o în acest domeniu.

Mulțumesc tuturor celor care în momente critice au avut un cuvânt înțelept de spus.

Titu Virgil Florin Buzilă

Timișoara, 1999

## 2. Izolarea antivibratorie a fundațiilor de mașini

Mașinile în general și unele instalații, constituie prin însăși natura lor surse de vibrații produse de forțe cu acțiune dinamică, șocuri izolate sau repetate, forțe inerțiale, etc.

**2.1 Studiul izolării antivibratorii**, realizează ansamblul de măsuri tehnice și constructive care va trebui asigurat în scopul reducerii nivelului de vibrații la limite acceptabile, sub pragul de nocivitate recomandat prin norme.

**2.1.1. Vibrația**, este o solicitare oscilantă, produsă ca urmare acțiunii asupra unui subiect a unor forțe neechilibrate cu caracter dinamic provenind din:

- acțiunea unor mase în mișcare după diferite legi.
- acțiunea unor șocuri izolate sau repetate.

Efectul vibrațiilor asupra mediului, omului, mașinii și performanțelor acestuia este deosebit de nociv. Criteriile de acceptabilitate ale nivelelor de vibrații (limitele de acceptabilitate) sunt stabilite în bază experimentală ca urmare efectelor acestora asupra funcționării mașinii, materialelor componente, omului, mediului înconjurător și vecinătăților.

**2.1.2 Tipuri de izolări antivibratorii** – funcție de problema care trebuie rezolvată, acestea sunt:

- izolări antivibratorii active – atunci când se efectuează izolarea antivibratorie a unei surse producătoare de vibrații.
- izolări antivibratorii pasive – atunci când se efectuează izolarea antivibratorie a unui receptor împotriva vibrațiilor produse de surse diverse și transmise acestuia prin intermediul mediului înconjurător sau suportului.

**2.2. Stări limită.** Proiectarea curentă definește drept stare limită apariția unor fenomene care fac imposibilă funcționarea, exploatarea sau care conduc la pierderea unor calități (performanțe) mergând până la distrugerea (posibilă) a obiectului în cauză. Funcție de natura solicitărilor sau stadiilor de exploatare, deosebim stări limită pentru:

**2.2.1. Solicitări statice.** Stări limită de rezistență (rupere, fluaj, oboseală), de stabilitate a poziției (răsturnare), de deformații (săgeată), de stabilitate (generală sau locală - flambaj, voalare), de fisurare (pierderea etanșeității în cazul recipientelor sub presiune). În cazul solicitărilor statice, atingerea unei stări limită este un fenomen ireversibil, scoțând din

exploatare obiectul, părți sau anumite funcțiuni ale acestuia.

**2.2.2. Solicitări dinamice.** Se definește drept stare limită de rezonanță, creșterea accentuată a amplitudinilor vibrațiilor în situația când frecvența și distribuția acțiunii dinamice perturbatoare coincid cu unul din modurile proprii de vibrație ale obiectului. Față de stările limită la solicitările statice, starea limită la rezonanță prezintă particularitatea de a putea fi depășită (traversată) în funcționarea normală a obiectului în vibrație. Frecvența proprie a obiectului se poate afla deci sub sau peste frecvența proprie a perturbatorului.

Definim deci două stări de acordare din punct de vedere al vibrațiilor:

- supraacordare – frecvența proprie a obiectului în vibrație se află peste frecvența perturbatoare a sursei de vibrații.

- subacordare - frecvența proprie a obiectului în vibrație se află sub frecvența perturbatoare a sursei de vibrații. În acest al doilea caz apare tranzitoriu starea limită la rezonanță la pornirea respectiv oprirea obiectului în vibrație (perturbatorului).

Evitarea stării de rezonanță se consideră realizată (condiție cerută de prevederile prescripțiilor tehnice) în situația existenței unui ecart minim de 20% între frecvența proprie (de ordinul 1) a obiectului în vibrație și frecvența obiectului în vibrație (perturbatorului).

**2.3. Vibrațiile mașinilor,** sunt produse de forțe dinamice perturbatoare acționând asupra acestora și generate de:

**2.3.1. Principiul de funcționare** - forțe dinamice produse de mișcare alternativă, circulară, șocuri (izolate sau repetate), sau combinații între acestea. În majoritatea cazurilor, aceste forțe dinamice pot fi reduse foarte mult prin măsuri constructive aplicate la realizarea obiectului, cum sunt micșorarea forțelor inerțiale generate de masele aflate în mișcare (prin utilizarea de materiale ușoare la fabricarea lor), echilibrări ale acestora, etc.

**2.3.2. Procesul tehnologic** - forțe inerțiale necesare procesului tehnologic generate prin funcționarea mașinii. Exemplificăm prin câteva mașini cum sunt, concasoare, ciururi vibrante, centrifuge, mese vibrante pentru compactare, etc. În aceste cazuri, prin modelarea dinamică și izolarea antivibratoare a fundației pe care este așezată mașina se poate reduce corespunzător nivelul de vibrații și solicitări dinamice transmis suportului sau mediului înconjurător până la limite acceptabile, admise pentru exploatare.

**2.3.3. Inexactități de execuție** - vibrațiile apărute din acest motiv se elimină în general prin suprimarea cauzelor care le produc și / sau prin echilibrări dinamice ale componentelor în mișcare, ale mașinii.

**2.3.4. Uzuri în exploatare** - fenomene caracterizate printr-o creștere în timp a nivelului de vibrații în exploatarea normală a unei mașini. Fenomenul este remediat prin



reparații și reechilibrări efectuate periodic. Situația creată prin ne efectuarea acestor reparații poate conduce la colapsul mașinii (și posibil și a fundației).

**2.3.5. Avarii în exploatare** - fenomene foarte grave care de regulă scot din exploatare mașina (posibil și fundația sau izolarea antivibratorie a acesteia. Exemplificăm prin ruperi de piese în mișcare (palete, axe, glisiere, etc.), efectul de scurt circuit (la turboagregate), lovituri de berbec (la pompe), etc. La proiectarea mașinii și implicit în proiectarea fundațiilor (deci implicit a izolării antivibratorii a acestora) se ține cont de apariția unor astfel de fenomene, urmărindu-se limitarea avariilor suferite de complexul mașină – fundație – izolație antivibratorie. Situațiile de avarie în exploatare sunt considerate de norme drept acțiuni excepționale. [STAS 7206/ 85 și STAS 10101/0 pct.2.1].

### 2.3.6. Clasificări ale mașinilor după acțiunea lor dinamică.

- după numărul de grade de libertate a solicitărilor dinamice, mașini având unu sau mai multe grade de libertate dinamică, deci una sau mai multe pulsații proprii.

- după frecvența perturbatorului (mașinii)

- *mașini lente*, având  $n < 400$  rot./min. ( 6.67 Hz.)

- *mașini cu turație mijlocie*, având  $n = 400$  la  $2000$  rot./min ( 6.67 la 33.33 Hz.)

- *mașini rapide*, având  $n > 2000$  rot./min. ( 33.33 Hz.)

- după categoria de dinamicitate, grad de dinamicitate

Tab.2.1

Categoria de dinamicitate	Grad de dinamicitate	Tensiune dinamică Rezistență admisă	Amplitudinea forțelor de inerție produse,[ N ]
I	mică	< 0.003	< 100
II	mijlocie	0.003 la 0.03	100 la 1000
III	mare	0.03 la 0.3	1000 la 10000
IV	foarte mare	> 0.3	> 10000

**2.4. Izolarea antivibratorie a mașinilor** - funcție de concepția lor de construcție, mărimea și rigiditatea lor, mărimea forțelor dinamice perturbatoare și a vibrațiilor produse, mașinile se pot izola antivibratoriu :

**2.4.1. direct** - la mașinile producătoare de forțe dinamice perturbatoare și vibrații mici dotate cu un batiu rigid capabil de a prelua solicitările și forțele dinamice produse în functionarea mașinii și a le transmite suportului, fie direct, fie prin intermediul unei izolări antivibratorii.

**2.4.2. prin fundații de mașini.** Fundația de mașină este un element de construcție care îndeplinește următoarele funcțiuni:

- asigură legătura rigidă între diferitele părți componente ale mașinii (în cazul mașinilor mari), suplinind funcțiunea de asigurare a rigidității de ansamblu asigurată de către batiul mașinii, în cazul când acesta lipsește.

- transmite la suport (considerat imobil) solicitările cu caracter static și dinamic produse de mașină în funcționare.

- realizează modelarea izolării antivibratorii, aducând (prin elemente proprii cum sunt masa, volumul, suprafețe de rezemare) parametrii vibrațiilor produse la limitele admise (acceptabile) pentru exploatarea (funcționarea) corectă a mașinii amplasate pe fundație.

**2.5. Complexul mașină – fundație.** Ancorarea mașinii de fundație se face în general cu dispozitive de o mare rigiditate care nu au calități izolante antivibratoriu. În această situație, obiectul producător de vibrații (mașina) va executa mișcarea vibratorie solidar (împreună) cu întreaga fundație sau cu anumite părți ale acesteia. Acest complex, mașină – fundație, se va numi fundație de mașină și va fi caracterizat prin :

**2.5.1 masa, [ m ]** – ca sumă a masei obiectului producând vibrații (mașina compusă din stator și piesele în mișcare) precum și a masei fundației, ambele vibrând solidar.

**2.5.2 forțe și momente perturbatoare, [ F, M ]** - forțe și momente dinamice perturbatoare (proiecții ale acestora după principalele axe de coordonate), produse de mașina în funcțiune pe fundație.

**2.5.3 turația, frecvența sau pulsația [ n, f,  $\omega$ , p ]** - turația, frecvența sau pulsația perturbatorului (mașinii) în funcțiune pe fundație (gama de  $\sim$ ), pulsația proprie a fundației de mașină (gama de  $\sim$ ). Pulsațiile proprii sunt notate cu **p** și  $\omega$ .

**2.5.4. izolarea antivibratorie** - având parametri modelați prin:

- *elemente ale fundației* - masa, suprafețele de rezemare, adâncime de încastrare în suport, soluția constructivă de realizare (tip de fundație de mașină).

- *soluțiile constructive de realizare a izolării antivibratorii* - tip de izolare antivibratorie aplicată.

- *caracteristici elastice și de amortizare* ale materialelor izolatoare sau tipului de izolatori aplicați.

**2.6. Fundația de mașină.** Are în principal următoarele roluri :

- să asigure toate cerințele de rezistență, rigiditate și stabilitate necesare funcționării și exploatării mașinii la parametri ceruți de utilizator și normele în vigoare.

- prin modelarea unor elemente proprii (masă, suprafețe de rezemare realizate, volume, caracteristici de rezistență și inerțiale, soluții constructive) împreună cu utilizarea la

rezemare / încastrare pe / în stratul suport a proprietăților izolatoare antivibratorii ale materialelor (sau dispozitivelor amortizoare de vibrații), să asigure transmiterea la suport a solicitărilor statice și dinamice precum și a unui nivel de vibrații în limite admise (acceptate).

Fundațiile de mașini se pot clasifica după mai multe criterii:

### **2.6.1. După forma constructivă sau rigiditatea proprie :**

- fundații masive (rigide, de tip bloc) - elemente de mare rigiditate, construite în forma de bloc sau cutie rigidă (cu goluri), din beton armat.

- fundații în cadre - considerate elastice și compuse din :

- *radier* , placă rigidă realizată din beton armat, în contact cu stratul suport, (rezemată / încastrată pe / în acesta.)

- *cadre de susținere* , realizate din beton armat sau metalice și având stâlpii încastrați în radier.

- *tablier* , platforma de susținere pe care se montează mașina (utilajul), realizată din beton armat , metalică sau în soluție mixtă (beton – metal). Constructiv, riglele cadrelor de susținere fac parte din tablierul fundației.

### **2.6.2. După modul de contact cu stratul suport.**

- fundații directe - rezemate sau încastrate direct pe / în suport (teren bun de fundare). Deosebim :

- *fundații masive, rigide* - rezemate sau încastrate pe / în suport.

- *plăci groase (dale)* - elemente având o rigiditate mare, rezemate sau încastrate pe / în suport.

- fundații pe elemente elastice - rezemate (așezate) pe stratul suport prin intermediul unor izolații antivibratorii. Deosebim:

- *fundații pe straturi elastice* - rezemate pe toată suprafața tălpii pe o pătură elastică realizată din material izolant antivibratoriu (plută, cauciuc, etc.).

- *fundații pe / în perne elastice* - rezemate sau încastrate în straturi alcătuite din materiale elastice.

- *fundații pe izolatori* - rezemate pe elemente elastice discrete (izolatori). Izolatorii pot fi realizați din materiale elastice (cauciuc, plută, materiale plastice, lemn, etc.) sau pot fi realizați ca dispozitive mecanice (cutii cu arcuri cuplate cu amortizori de vibrații)

- fundații indirecte - rezemate pe suportul constituit din terenul bun de fundare aflat la o cotă coborâtă, prin intermediul unor elemente liniare (gen stâlpi) din beton armat sau metal denumite *piloți*. La fundarea pe piloți, între cota tălpii fundației de mașină și cota terenului bun de fundare se găsește un strat de teren cu calități improprii fundării sau teren de umplutură.

După modul în care piloții predau solicitări terenului bun de fundare, aceștia sunt realizați ca :

- *piloți purtători pe vârf*, predând solicitări numai prin suprafața de contact între pilot și terenul bun de fundare aflată la vârful pilotului.

- *piloți flotați*, încastrați pe adâncime în terenul de fundare (în general un teren de fundare slab la mediocru, instabil la suprafață), predând solicitări la acesta prin frecări pe suprafețele laterale ale pilotului.

- *piloți încastrați în terenul bun de fundare*, predând solicitări pe toată înălțimea de încastrare prin suprafața laterală și de vârf pilotului.

### 2.6.3. Din punct de vedere dinamic - sistemele de fundare utilizate sunt definite

- sisteme având

- o masă în vibrație

- mai multe mase în vibrație

- din punct de vedere al gradelor de libertate dinamice, o masă în vibrație poate avea 6 grade de libertate dinamice ( realizate prin cele 3 deplasări în lungul axelor principale ale sistemului și cele 3 rotiri în jurul acestor axe).

Numărul de grade de libertate dinamică a obiectului în vibrație (fundația de mașină) va fi corespunzător cu numărul maselor în vibrație și posibilităților (direcțiilor) de mișcare realizate de fiecare masă în parte.

### 2.6.4. După cerințe ale mașinilor.

Anumite grupe (tipuri) de mașini recomandă utilizarea unor tipuri specifice de fundații de mașini funcție de tipul mișcării și mărimea forțelor dinamice neechilibrate. De exemplu :

- mașini cu mecanisme bielă – manivelă - (mașini cu abur, motoare cu explozie, compresoare, prese (de diverse tipuri) ), fundații masive realizate rezemat / încastrat pe / în stratul suport sau rezemate pe izolatori.

- mașini rotative de turatie mare - (turbogeneratoare, turbosuflante etc.), fundații elastice (în cadre), având cadrele de susținere și tablierul realizate din beton armat, metalice sau în soluție mixtă metal – beton.

- mașini rotative de turatie medie și joasă .- (ventilatoare, pompe centrifuge, compresoare, concasoare, mori de cărbune, ventilatoare, concasoare, pompe mari, etc.), fundații masive pe / în stratul suport sau pe izolatori sau straturi elastice.

- mașini care produc șocuri - (ciocane, prese etc.), fundații masive cu mai multe mase în vibrație, rezemate pe straturi elastice sau izolatori între masele în vibrație și direct sau prin straturi elastice sau izolatori pe / în stratul suport.

- mașini rotative cu dinamicitate mare - (mori de cărbune, ventilatoare, concasoare, pompe mari, etc.), fundații masive, directe sau pe elemente elastice.

- mașini unelte sau de atelier - fundații masive tip placă (dală), rezemate pe stratul suport direct sau prin intermediul unor elemente (straturi) elastice.

**2.7. Vibrații verticale. Relații generale din teoria vibrațiilor.**

Să considerăm un sistem oscilant liniar, cu un singur grad de libertate dinamic, efectuând mișcări de translație pe verticală și caracterizat prin :

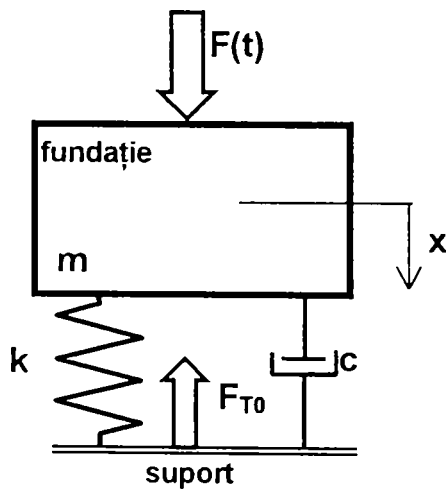


Fig. 2.1

- masă - în total  $m = \frac{G}{g}$
- masă in mișcare  $m_0$
- forță perturbatoare  $F(t)$
- de amplitudine constantă  $F_0$
- inertțială  $F_0 = m r \omega^2$
- vibrație armonică cu pulsația  $\omega$
- suspensia, sistem arc amortizor,
- rigiditate arc  $k$
- coeficient de amortizare  $c$
- constantă elastică a rezemării  $K$
- deplasare statică  $x_0 = \frac{mg}{k}$
- deplasare  $x = \frac{F(t)}{k}$

Ecuția diferențială a mișcării este :

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \tag{2.1}$$

Se prezintă cazuri de rezolvare a acesteia pentru câteva situații :

**2.7.1. Vibrații libere fără amortizare**

Ecuția diferențială a mișcării va fi (în condițiile inițiale,  $c = 0$  ;  $F(t) = 0$ )

$$m\ddot{x} + kx = 0 \tag{2.2}$$

se face notația  $p^2 = \frac{k}{m}$  (2.3)

ecuația se rescrie ca  $\ddot{x} + p^2 x = 0$  (2.4)

având soluția de forma :  $x = A \cos pt + B \sin pt$  (2.5)

pentru faza inițială a mișcării vom avea :

$$t = 0 ; x = x_0 = \frac{mg}{k} \text{ (deplasarea statică inițială a sistemului)} \quad \dot{x} = v_0 \text{ (viteza)}$$

constantele vor deveni :  $A = x_0 ; B = \frac{v_0}{p}$  (2.6)

iar ecuația se poate scrie  $x = x_0 \cos pt + \frac{v_0}{p} \sin pt$  (2.7)

Relația (2.7) se poate scrie și sub forma unei ecuații a unei oscilații armonice :

$$x = A_x \sin(pt + \theta) \quad (2.8)$$

unde vom avea : - amplitudinea mișcării  $A_x = \sqrt{x_0^2 + \left(\frac{v_0}{p}\right)^2}$  [m.]

- faza (diferența de timp între

excitație și răspuns)  $\operatorname{tg} \theta = \frac{x_0 p}{v_0}$  [rad.] (2.9)

În studiul vibrațiilor libere, fără amortizare, elementul esențial este pulsația proprie a sistemului,  $p$ . Înlocuind în relația (2.3) valoarea  $m = \frac{G}{g}$ , vom avea :

$$p = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{kg}{G}} = \sqrt{\frac{g}{x_0}} \quad [\text{rad / sec}] \quad (2.10)$$

Se deduce că pulsația proprie a sistemului depinde numai de greutatea (masa) lui,  $x_0$  fiind deplasarea statică, sub greutatea proprie.

Perioada și frecvența proprie se vor calcula :

$$T = \frac{2\pi}{p} \quad [\text{sec.}] ; \quad f = \frac{1}{T} = \frac{p}{2\pi} \quad [\text{Hz.}] \quad (2.11)$$

### 2.7.2. Vibrații libere, amortizate

Ecuația diferențială a mișcării (2.1) va deveni pentru condiția  $F(t) = 0$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (2.12)$$

se introduc notațiile :  $p^2 = \frac{k}{m}$  ;  $2n = \frac{c}{m}$  (2.13)

Ecuția diferențială a mișcării (2.12) se scrie ca :

$$\ddot{x} + 2n\dot{x} + p^2x = 0 \quad (2.14)$$

Soluția generală a acestei ecuații este de forma :

$$x = e^{-nt}(A \cos p_1 t + B \sin p_1 t) = e^{-nt} A_x \sin(p_1 t + \theta) \quad (2.15)$$

în care  $p_1$  este *pseudopulsatia* sistemului

$$p_1 = \sqrt{p^2 - n^2} \quad [\text{rad / sec}] \quad (2.16)$$

Cu aceleași condiții inițiale ,

$$t = 0 ; x = x_0 = \frac{mg}{k} \text{ (deplasarea statică inițială a sistemului) ; } \dot{x} = v_0 \text{ (viteza)}$$

$$\text{constantele vor lua valorile : } A = x_0 ; B = \frac{\dot{x}_0 + nx_0}{p_1} \quad (2.17)$$

valoarea amplitudinii și faza vor fi :

$$A_x = \sqrt{x_0^2 + \left(\frac{v_0^2 + nx_0}{p_1}\right)^2} \quad [\text{m.}] ; \quad \text{tg}\theta = \frac{p_1}{\dot{x}_0 + nx_0} \quad [\text{rad}] \quad (2.18)$$

Ecuția (2.14) se mai poate rezolva scriind ecuația caracteristică :

$$r^2 + 2nr + p^2 = 0 \quad (2.19)$$

$$\text{aceasta are soluțiile : } r_{1,2} = -n \pm \sqrt{n^2 - p^2} = -n \pm ip_1 \quad (2.20)$$

$$\text{pseudopulsatia sistemului va fi } p_1 = \sqrt{p^2 - n^2} \quad [\text{rad / sec}] \quad (2.21)$$

Se observă că funcție de diferitele valori pe care le ia coeficientul de amortizare, soluțiile pe care le acceptă sistemul sunt diferite. Putem defini două situații :

$$\text{- Amortizarea critică. În situația egalității (la rezonanță) avem : } n^2 = p^2 \quad (2.22)$$

$$\text{egalând relațiile de la (2.13), vom avea : } \frac{k}{m} = \frac{c^2}{4m^2} ; c = 2\sqrt{km} \quad (2.23)$$

Se definește, deci,

- amortizare critică  $c_c$  , valoarea coeficientului de amortizare pentru care mișcarea își pierde caracterul vibrator. Acest *coeficient de amortizare* critică va avea valoarea :

$$c_c = 2\sqrt{km} \quad (2.24)$$

Pentru alte valori ale coeficientului de amortizare  $c$ , vom avea față de coeficientul de

$$\text{amortizare } c_c, \text{ un raport de amortizare } \zeta = \frac{c}{c_c} = \frac{n}{p} = \frac{c}{2\sqrt{km}} \quad (2.25)$$

- amortizarea subcritică Valorile raportului de amortizare  $\zeta$  sunt subunitare.

Pulsația  $n$  va fi mai mică decât pulsația  $p$ , rădăcinile ecuației mișcării (2.19) vor fi complexe. Pseudopulsația sistemului  $p_1$  va fi întotdeauna mai mică decât pulsația mișcării

$$ne amortizate \quad p \quad p_1 = \sqrt{p^2 - n^2} \quad ; \quad \zeta = \frac{n}{p} \quad ; \quad n = \zeta p \quad ; \quad p_1 = p\sqrt{1 - \zeta^2} \quad (2.26)$$

Înregistrarea și măsurarea a două amplitudini succesive ale vibrogramei mișcării amortizate și efectuând raportul acestora, sunt destul de mici, putând considera o valoare de maxim **0.20** pentru cazurile curente la fundațiile de mașini.

Acceptând această valoare, pseudopulsația sistemului va fi :

$$p_1 = p\sqrt{1 - 0.20^2} = 0.98 p \quad (2.27)$$

Putem trage concluzia că practic pulsațiile proprii ale sistemului cu mișcare amortizată nu sunt modificate semnificativ față de vibrațiile sistemului fără amortizare. În schimb, în determinarea amplitudinilor mișcării, este necesar a se ține cont de amortizări.

La rezonanță,  $n = p$ ;  $n = p_1$ , valoarea unghiului de fază (diferența de timp între excitație și răspuns) va fi :

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{2\zeta\eta}{1 - \eta^2} \quad (2.28)$$

Graficul diagramei fazelor și variației fazei  $\theta$  este redat în fig. 2.2 și fig 2.3

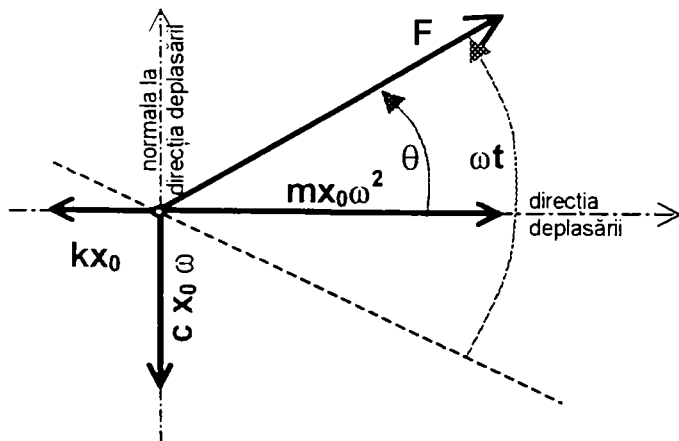


Fig. 2.2 Diagrama fazelor

Forțele, (vectorii) care acționează asupra corpului în mișcare sunt :

$mx_0\omega^2$  - forță de inerție (defazată cu  $\pi$  în urma accelerației, deci în fază cu deplasarea)

$kx_0$  - forța elastică a arcului.

$cx_0\omega^2$  - forța de rezistență (defazată cu  $\pi/2$  în urma deplasării)

$F$  - forța perturbatoare (cu defazajul unghiular  $\theta$  înaintea deplasării)

Cele 4 forțe (vectori) de mai sus, se echilibrează în fiecare moment. Vom avea pentru câteva cazuri particulare :

- la pulsații proprii foarte mici ( $\omega$ ), forțele de frecare vâscoasă ( $cx_0\omega^2$ ) și de inerție ( $mx_0\omega^2$ ) sunt neglijabile. Forța perturbatoare ( $F$ ) se echilibrează cu forța elastică ( $kx_0$ ) deci unghiul  $\theta$  trebuie să fie foarte mic.



- la rezonanță, ( $\theta = \pi/2$ ), forța de inerție ( $m\dot{x}_0\omega^2$ ) echilibrează forța elastică ( $kx_0$ ), iar forța perturbatoare ( $F$ ) se echilibrează cu cea de frecare vâscoasă ( $c\dot{x}_0\omega^2$ ).

- la pulsații proprii foarte mari, ( $\omega$ ), unghiul de fază ( $\theta$ ) tinde către  $\pi$ . Forța perturbatoare ( $F$ ) echilibrează forța de inerție ( $m\dot{x}_0\omega^2$ ) pe când deplasarea, forțele elastice ( $kx_0$ ) și de frecare vâscoasă ( $c\dot{x}_0\omega^2$ ) scad foarte mult.

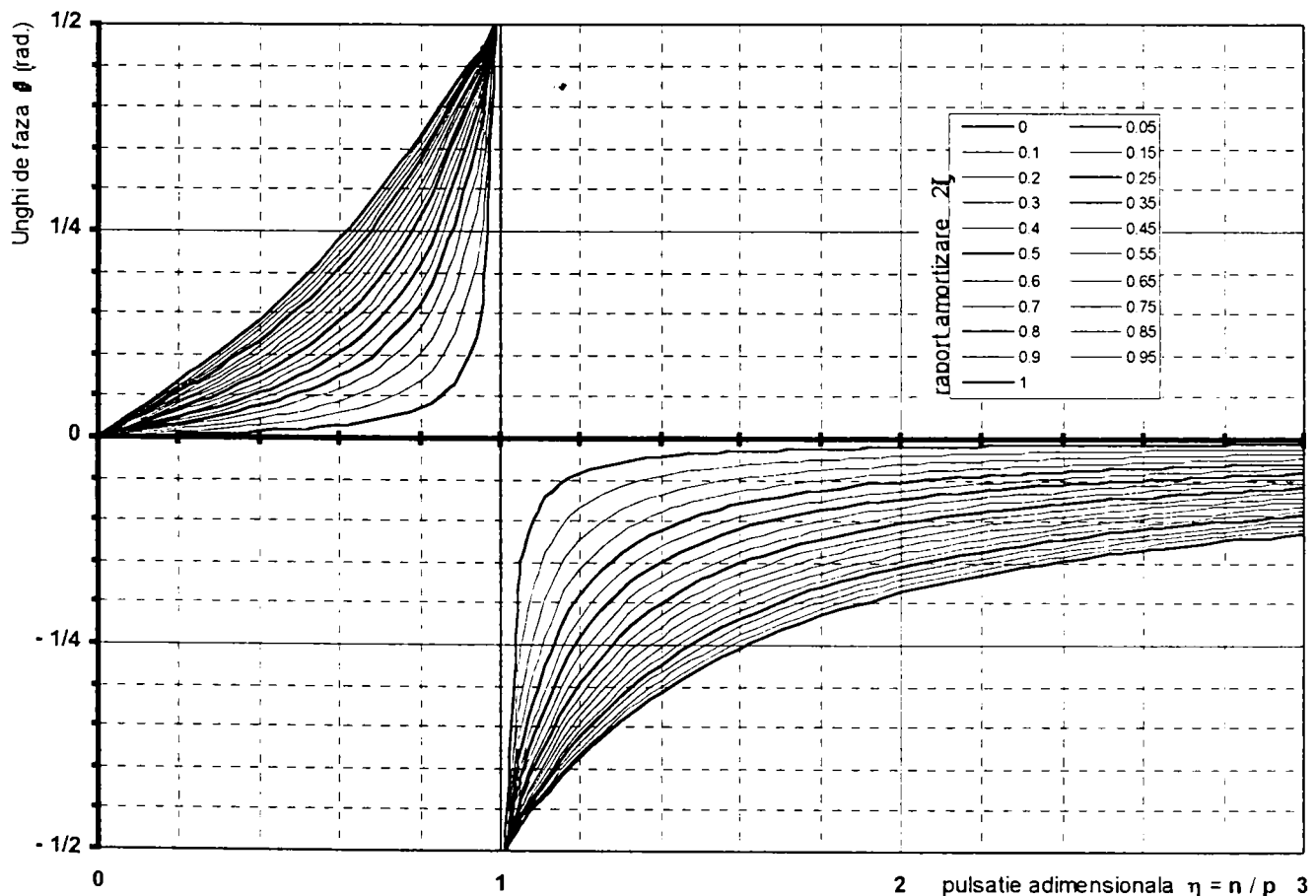


Fig. 2.3 Unghi de fază  $\theta$  (rad.)

Ca și elemente care permit caracterizarea acestei proprietăți fizice, amortizarea, determinate prin studiul vibrațiilor, evidențiem :

-amortizarea critică

$$c_c = 2\sqrt{km} = 2mp = 4\pi mf$$

- coeficient de amortizare efectiv,

$$c = \zeta c_c$$

- raportul de amortizare, pentru cazuri de amortizare subcritică

$$\zeta = \frac{c}{c_c} = \frac{n}{p}$$

625-469/181E

- decrementul logaritmic al amortizării

$$\delta = \ln \frac{x_1}{x_2} = \frac{2\pi c}{\sqrt{4km - c^2}} \quad (2.29)$$

unde  $x_1$  și  $x_2$  sunt amplitudini succesive (măsurate) ale vibrației.

Pentru amortizări mici ( $\zeta \leq 0.1$ ), vom avea

$$\delta = \frac{\pi c}{\sqrt{km}} = \frac{\pi c}{m p} = 2\pi \zeta \quad (2.30)$$

- capacitate de amortizare, reprezentată prin pierderea relativă de energie pe ciclu

$$\psi = \frac{\Delta W}{W} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.31)$$

- factorul de pierderi,

$$2\zeta = \frac{\delta}{\pi} \quad (2.32)$$

- factorul de frecare uscată

$$\gamma = \frac{\delta}{\pi} \quad (2.33)$$

### 2.7.3. Vibrații forțate amortizate, produse de o forță perturbatoare armonică de amplitudine constantă.

Ecuția diferențială a mișcării va fi pentru  $F(t) = F_0$ :

$$m \ddot{x} + c \dot{x} + kx = F_0 \sin \omega t \quad (2.34)$$

soluția ecuației va fi compusă din soluția ecuației omogene, o mișcare armonică cu pseudopulsația vibrației libere amortizate  $p_1$  plus soluția particulară a ecuației complete, care este o mișcare armonică de pulsație

$$x = e^{-nt} (A \cos p_1 t + B \sin p_1 t) + X_0 \sin(\omega t - \theta) \quad (2.35)$$

constantele  $A$  și  $B$  sunt determinate la paragraful anterior (2.7.2) din condițiile inițiale ale problemei. Pulsația  $p_1$  tinde spre valoarea  $0$  într-un timp foarte scurt datorită amortizării sistemului, rămânând, deci, numai soluția staționară a ecuației

$$x = X_0 \sin(\omega t - \theta) \quad (2.36)$$

Amplitudinea mișcării se poate scrie:

$$X_0 = \frac{F_0}{k} \frac{1}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + (2\zeta\eta)^2}} = \frac{F_0}{k} A_1 \quad (2.37)$$

în care pentru valoarea raportului pulsațiilor proprii perturbator / fundație se introduce

$$\text{coeficientul } \eta, \text{ denumit și } \textit{pulsație adimensională}, \quad \eta = \frac{n}{p} \quad (2.38)$$

Valoarea amplificatorului dinamic  $A_1$ , se calculează cu formula

$$A_1 = \frac{1}{\sqrt{(1-\eta^2)^2 + (2\zeta\eta)^2}} \quad (2.39)$$

La rezonanță,  $p = n$ , valoarea  $\eta = 1$  iar valoarea  $A_1 = \frac{1}{2\zeta}$  (2.40)

Amplitudinea va fi  $X_0 = \frac{F_0}{2\zeta k}$  [m.] (2.41)

Iar faza  $\text{tg}\theta = \frac{2\zeta\eta}{1-\eta^2}$  (2.42)

În cazul vibrațiilor forțate fără amortizare, vom avea  $2\zeta = 0$  ;  $\eta = \frac{\omega}{p}$

$$X_0 = \frac{F_0}{k} \cdot \frac{1}{1-\eta^2} = \frac{F_0}{k - \frac{k\omega^2}{p^2}} = \frac{F_0}{k - m\omega^2} \quad [\text{m.}] \quad (2.43)$$

Reprezentarea grafică a variației factorului de amplificare dinamică  $A_1$  pentru variația rapoartelor de amortizare  $\zeta$  și a pulsațiilor proprii  $\eta = \frac{\omega}{p}$  este redată în fig. 2.4.

Se poate observa că matematic valorile maxime pentru  $A_1$  nu sunt realizate pentru valoarea  $\eta = 1$  (pe verticală) ci sunt ușor deplasate spre stânga.

Pentru câteva cazuri, valori medii realizate pentru coeficientul de amortizare  $\zeta$  și factorul de amplificare  $A_1$  sunt arătate în tab. 2.2.

Tab.2.2

Materiale, construcții sau teren de fundare	$\zeta$	$A_1$
metal (oțel, fontă, cupru, alamă)	0.0008 - 0.026	19 - 350
plută naturală	0.003	165
Lemn	0.008 - 0.010	52 - 64
Cauciuc natural sau sintetic	0.01 - 0.15	10 - 50
structuri din beton armat (grinzi, cadre)	0.030 - 0.046	11 - 17
fundații elastice (turbine) din beton armat	0.064	7.8
Fundații masive din beton armat	0.05	10
Terenuri de fundație	0.10	5

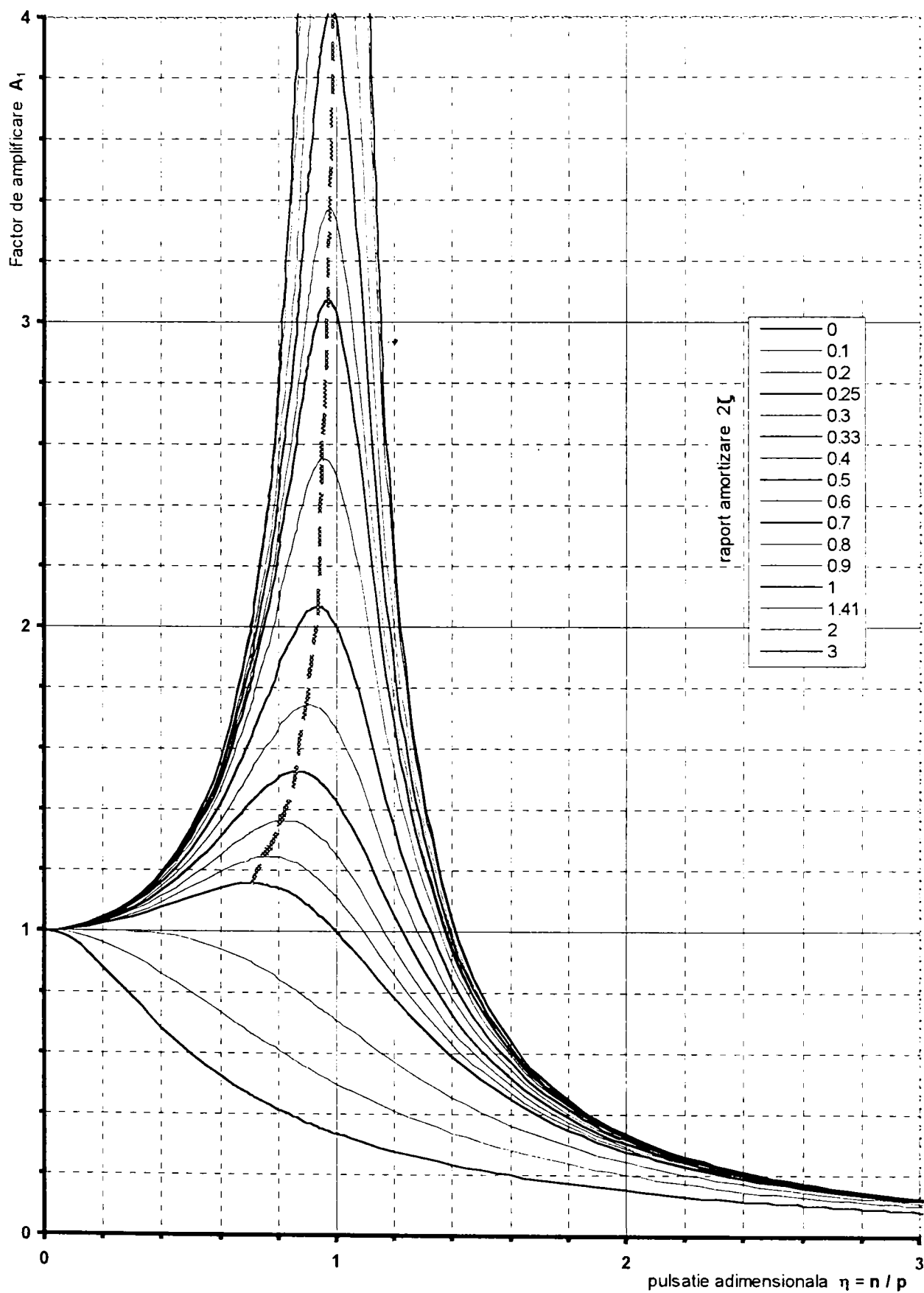


Fig. 2.4 Factor de amplificare  $A_1$

### 2.7.4 Vibrațiile forțate amortizate produse de o forță perturbatoare inerțială.

Se consideră situația unui rotor echilibrat în mișcare, producând forța perturbatoare centrifugă rotitoare

$$F(t) = C \sin \omega t = m_0 r_0 \omega^2 \sin \omega t \quad (2.44)$$

Ecuția diferențială a mișcării (2.1) se va scrie

$$m \ddot{x} + c \dot{x} + kx = m_0 r_0 \omega^2 \sin \omega t \quad (2.45)$$

soluția va fi similară cu cea a ecuației (2.15), fiind de forma :

$$x = e^{-nt} (A \cos p_1 t + B \sin p_1 t) + X_0 \sin(\omega t - \theta) \quad (2.46)$$

înlocuind forța perturbatoare cu valoarea  $F(t) = m_0 r_0 \omega^2 \sin \omega t$

$$(2.47)$$

Formula pentru calculul amplitudinilor mișcării va fi

$$X_0 = \frac{m_0 r_0 \omega^2}{k} \frac{1}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + (2\zeta\eta)^2}} = \frac{m_0 r_0 \omega^2}{k} A_1 \quad (2.48)$$

cunoscând că  $p^2 = \frac{k}{m}$ , vom avea  $k = mp^2$ . Înlocuim în relația de mai sus,

$$X_0 = \frac{m_0 r_0 \omega^2}{k} A_1 = \frac{m_0 r_0}{m} \left( \frac{\omega^2}{p^2} A_1 \right) = \frac{m_0 r_0}{m} (\eta^2 A_1) \quad (2.49)$$

iar factorul de amplificare dinamică va fi :

$$A_2 = \frac{\omega^2}{p^2} A_1 = \eta^2 A_1 = \frac{\eta^2}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + (2\zeta\eta)^2}} \quad (2.50)$$

Amplitudinea va fi deci ,

$$X_0 = \frac{m r_0}{m} A_2 \quad [m.] \quad (2.51)$$

Grafic, variația factorului de amplificare  $A_2$ , este redată în graficul din fig. 2.5

### 2.7.5 Transmisibilitate.

Sistemul din fig.2.1 transmite la suport prin intermediul suspensiei elastice (de tip arc – amortizor) forța elastică  $F_{T0}$ . Pentru cazurile analizate, forța elastică  $F_{T0}$  va avea valorile

**a) excitație prin forță armonică de amplitudine constantă**  $F(t) = F_0 \sin \omega t$ .

Ecuția diferențială a mișcării este :

$$m \ddot{x} + c \dot{x} + kx = F_0 \sin \omega t \quad (2.29)$$

Valoarea deplasării realizate de sistem este :

$$x = X_0 \sin(\omega t - \theta) = \frac{F_0}{k} A_1 \sin(\omega t - \theta) \quad (2.52)$$

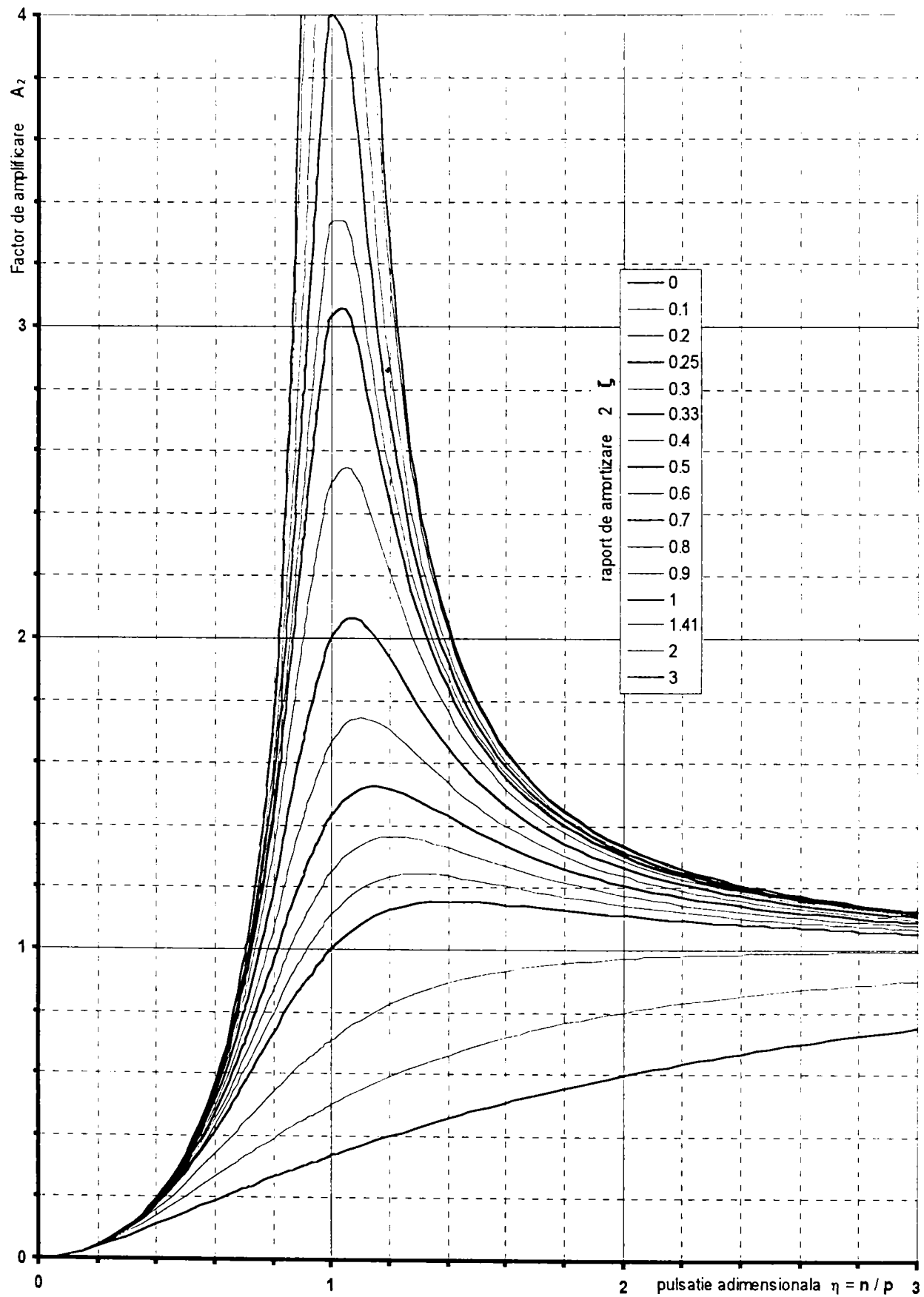


Fig. 2.5 Factor de amplificare  $A_2$

Forțele transmise suportului vor fi :

$$\text{- prin deplasări (prin arc) } \quad \mathbf{F}_1 = \mathbf{kx} = \mathbf{F}_0 \mathbf{A}_1 \sin(\omega t - \theta) \quad (2.53)$$

$$\text{- prin frecări (prin amortizor) corespunzătoare vitezei } \quad \mathbf{v}_0 = \dot{\mathbf{x}}$$

$$\mathbf{F}_2 = \mathbf{c}\dot{\mathbf{x}} = \frac{\mathbf{c}}{\mathbf{k}} \omega \mathbf{F}_0 \mathbf{A}_1 \cos(\omega t - \theta) \quad (2.54)$$

Raportul amplitudinilor forțelor transmise de legătura elastică arc-amortizor va fi :

$$\left| \frac{\mathbf{F}_2}{\mathbf{F}_1} \right| = \frac{\mathbf{c}\omega}{\mathbf{k}} = 2\zeta\eta \quad (2.55)$$

Cele două forțe sunt defazate cu unghiul  $\theta = \frac{\pi}{2}$  .[rad.]

Mărimea forței rezultante  $\mathbf{F}_{T0}$  acționând asupra suportului va fi :

$$\mathbf{F}_{T0} = \sqrt{\mathbf{F}_0 \mathbf{A}_1^2 + \frac{\mathbf{c}^2}{\mathbf{k}^2} \omega^2 \mathbf{F}_0^2 \mathbf{A}_1^2} = \mathbf{F}_0 \mathbf{A}_1 \sqrt{\left(1 + \frac{\mathbf{c}^2 \omega^2}{\mathbf{k}^2}\right)} = \mathbf{F}_0 \mathbf{A}_1 \sqrt{1 + (2\zeta\eta)^2} \quad (2.56)$$

Se definește drept *transmisibilitate*, raportul între forța transmisă suportului,  $\mathbf{F}_{T0}$  și forța dinamică acționând asupra fundației  $\mathbf{F}_0$ .

$$\mathbf{T} = \frac{\mathbf{F}_{T0}}{\mathbf{F}_0} = \mathbf{A}_1 \sqrt{1 + (2\zeta\eta)^2} = \sqrt{\frac{1 + (2\zeta\eta)^2}{(1 - \eta^2)^2 + (2\zeta\eta)^2}} \quad (2.57)$$

Grafic, variația transmisibilității este redată în fig. 2.6

**b) vibrații excitate prin deplasarea armonică a suportului (bazei)** Se consideră (în cazul izolațiilor pasive), o deplasare armonică a suportului, în baza legii :

$$\mathbf{u} = \mathbf{U} \sin \omega t \quad (2.58)$$

Când nu avem amortizare, transmiterea vibrației se va face numai prin arc ( $\zeta = 0$ )

$$\text{Deplasarea fundației este: } \quad \mathbf{X}_0 = \mathbf{U} \cdot \mathbf{A}_1 = \mathbf{U} \frac{1}{1 - \eta^2} \quad (2.59)$$

Când avem amortizare, vom avea situația expusă la punctul a), expresia deplasării va fi :

$$\mathbf{X}_0 = \mathbf{U} \cdot \mathbf{A}_1 \sqrt{1 + (2\zeta\eta)^2} \quad (2.60)$$

Transmisibilitatea realizată este :

$$\mathbf{T} = \frac{\mathbf{U} \cdot \mathbf{A}_1 \sqrt{1 + (2\zeta\eta)^2}}{\mathbf{U}} = \sqrt{\frac{1 + (2\zeta\eta)^2}{(1 - \eta^2)^2 + (2\zeta\eta)^2}} \quad (2.61)$$

Cazul este similar cu cel a unei forțe armonice de amplitudine constantă, valoarea transmisibilității fiind deci :

$$T = \sqrt{\frac{1 + (2\zeta\eta)^2}{(1 - \eta^2)^2 + (2\zeta\eta)^2}} \quad (2.62)$$

Grafic, variația transmisibilității este redată în fig. 2.6

**c) excitație prin forță inerțială armonică**  $F(t) = m_0 r_0 \omega^2 \sin \omega t$ .

Ecuția diferențială a mișcării este :

$$m \ddot{x} + c \dot{x} + kx = m_0 r_0 \omega^2 \sin \omega t \quad (2.63)$$

Forțele transmise suportului de suspensia elastică vor fi :

$$\text{- prin deplasări (prin arc)} \quad F_1 = kx = m_0 r_0 \omega^2 A_2 \sin(\omega t - \theta) \quad (2.64)$$

- prin frecări (corespunzătoare vitezei  $v_0 = \dot{x}$ , prin amortizor)

$$F_2 = c\dot{x} = \frac{c}{k} \omega m_0 r_0 \omega^2 A_2 \cos(\omega t - \theta) \quad (2.65)$$

Cele două forțe sunt defazate cu unghiul  $\theta = \frac{\pi}{2}$ . Mărimea forței rezultante va fi :

$$\begin{aligned} F_{T0} &= \sqrt{(m_0 r_0 \omega^2)^2 A_2^2 + \frac{c^2}{k^2} \omega^2 (m_0 r_0 \omega^2)^2 A_2^2} = \\ F_{T0} &= (m_0 r_0 \omega^2) A_2 \sqrt{\left(1 + \frac{c^2 \omega^2}{k^2}\right)} = (m_0 r_0 \omega^2) \eta^2 A_1 \sqrt{1 + (2\zeta\eta)^2} \end{aligned} \quad (2.66)$$

Transmisibilitatea forței va fi :

$$T = \frac{F_{T0}}{F_0} = \eta^2 A_1 \sqrt{1 + (2\zeta\eta)^2} = \eta^2 \cdot \sqrt{\frac{1 + (2\zeta\eta)^2}{(1 - \eta^2)^2 + (2\zeta\eta)^2}} \quad (2.67)$$

Se observă că față de forța armonică de amplitudine constantă, valoarea transmisibilității  $T$  este majorată cu valoarea pătratului pulsației adimensionale,  $\eta^2$ .

Grafic, variația transmisibilității pentru excitația cu forța armonică este redată în fig. 2.7.



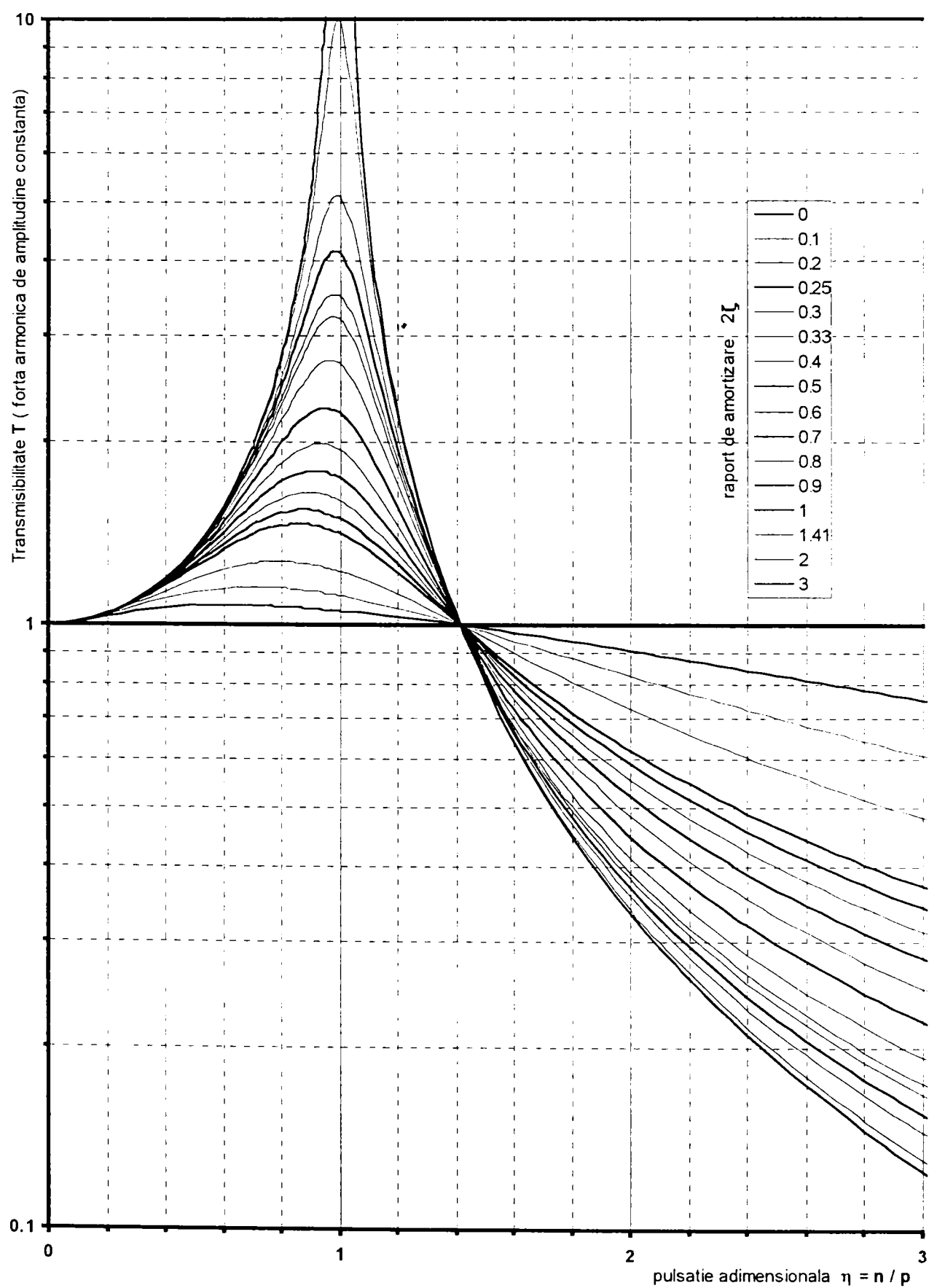
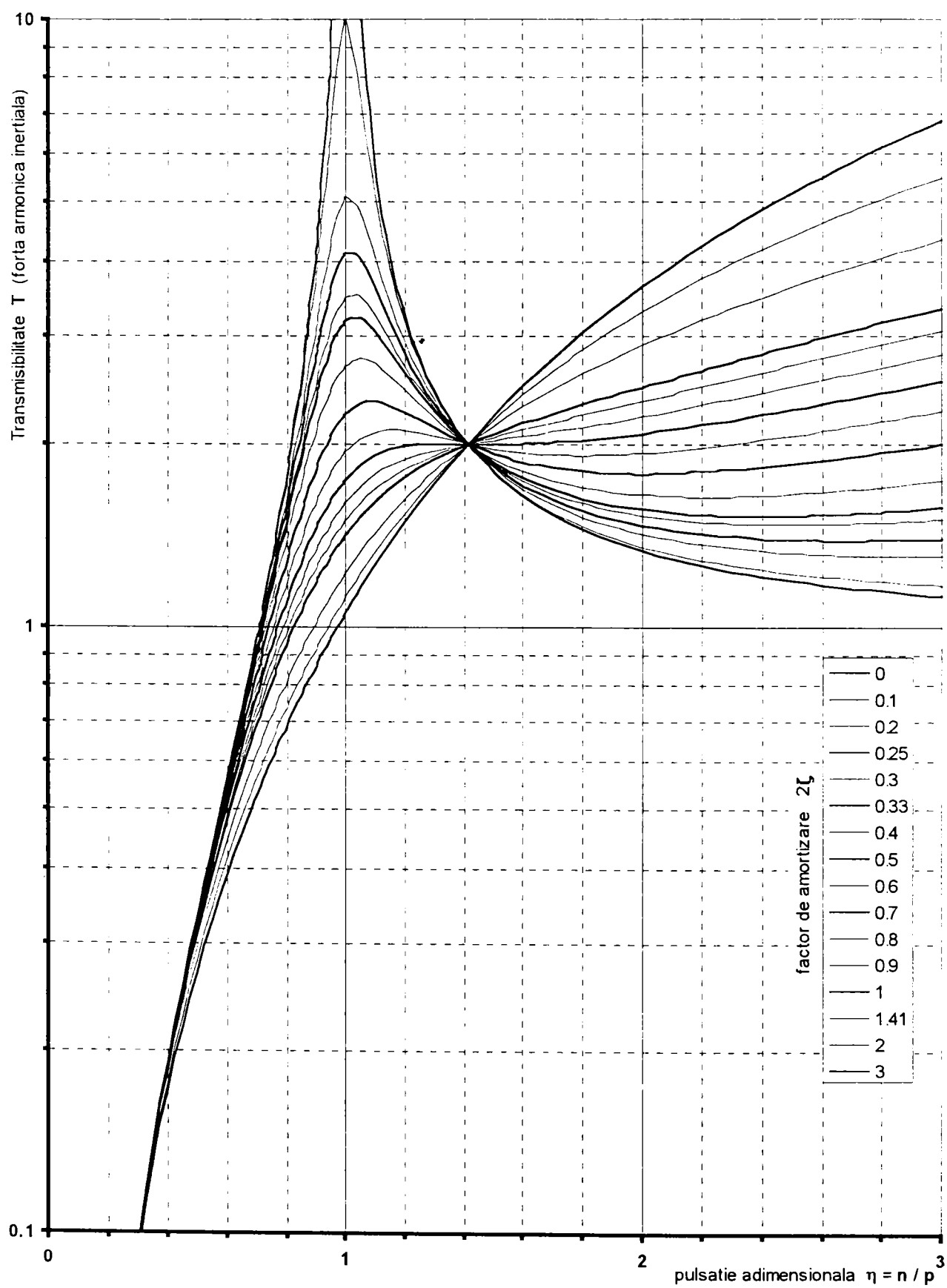


Fig. 2.6 Transmisibilitate T

(pentru forță amonică de amplitudine constantă și pentru deplasare amonică a suportului (bazei))

Fig. 2.7 Transmisibilitate  $T$  (forță armonică inerțială)

Studiul reprezentărilor grafice din fig.2.6 și 2.7, ne relevă legătura directă existentă între tipul forțelor neechilibrate dinamice care acționează asupra unei fundații de mașină și transmisibilitatea vibrațiilor. Astfel pentru a putea realiza o izolare antivibratorie, trebuie ca transmisibilitatea să fie  $T < 1.00$ .

Pentru cele două tipuri de forțe dinamice analizate, va trebui :

a) forță armonică de amplitudine constantă, realizarea unei subacordări evidente a fundației față de perturbator ( $\eta = n / p > 1.41$ ), valoarea transmisibilității  $T$  scăzând cu cât ecartul de frecvențe este mai mare.

b) forță armonică inertială, realizarea unei supraacordări evidente a fundației față de perturbator, ( $\eta = n / p < 0.71$ )

c) In toate cazurile, este necesară efectuarea unei atente analize asupra mărimii și modului de producere a forțelor perturbatoare produse pentru a putea alege și aplica cea mai eficientă soluție de izolare antivibratorie.

### 2.7.6 Grad de izolare.

Se definește gradul de izolare

$$I_s = (1 - T) \cdot 100\% \quad (2.68)$$

Este evident, eficiența izolării antivibratorii se realizează pentru valorile cele mai mari ale acestuia.

### 2.7.7 Baza teoretică a izolării antivibratorii.

Să considerăm vibrația forțată verticală fără amortizare a unei fundații. Realizând evitarea rezonanței,  $p \neq \omega$ , deplasarea se va calcula cu formula :

$$X_0 = \frac{F_0}{k - m\omega^2} \quad (2.69)$$

Reprezentările grafice ale variației deplasării  $X_0$  funcție de constanta elastică a rezemării  $k$  și a masei fundației  $m$  sunt cele cuprinse în fig.2.8 și fig. 2.9 redate mai jos .

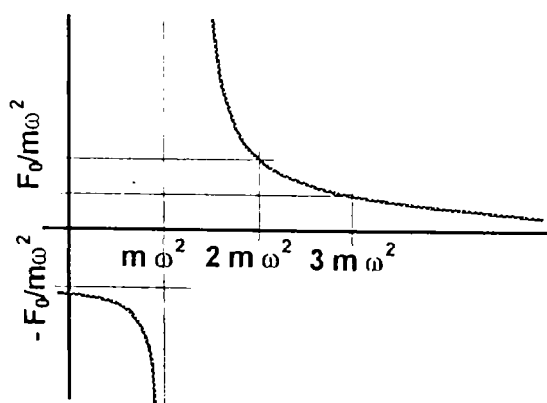


Fig 2.8 Variația amplitudinii cu masa  $m$

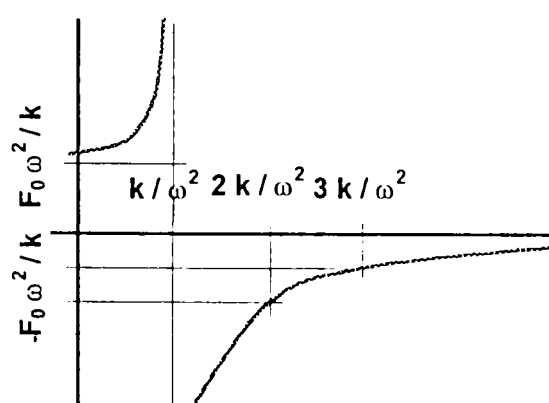


Fig. 2.9 Variația amplitudinii cu rigiditatea  $k$

Analiza acestor curbe de variație impune câteva concluzii :

**a) mărirea rigidității elastice a rezemării – k.**

Realizarea unei legături rigide între fundație și suport poate fi o soluție pentru evitarea vibrațiilor. Acest lucru se poate realiza numai la mașinile mici și numai în cazul unui suport foarte rigid. Realizarea unei prinderi foarte rigide între mașina propriuzisă și blocul fundației justifică considerarea unui singur element în vibrație în complexul *mașină – fundație* introdus anterior. Elementele de foarte mare rigiditate care fac legătura între mașina propriuzisă (batiul acesteia sau a elementelor componente ale acesteia) nu pot fi considerate în nici un caz drept element izolant antivibratoriu.

**b) mărirea masei sistemului - m.**

Peste anumite valori rezonabile, acest lucru nu mai este posibil. Aceasta atât datorită unor cauze tehnice (spații limitate pentru executarea fundației, etc.) cât și din cauze economice.

**c) calitatea izolării antivibratorii.**

Aceasta este constituită prin amplitudinea deplasării fundației și implicit prin mărirea forțelor dinamice neechilibrate transmise suportului. În acest scop, fundației îi revin următoarele

- să asigure o anumită stare de eforturi transmise suportului la rezemarea (sau încăstrarea) pe / în acesta, stare de eforturi mai mică decât valorile admise.
- prin modelarea masei, suprafeței de rezemare sau utilizând încăstrarea în suport, utilizarea la interfața fundație – suport a unor materiale sau dispozitive mecanice antivibratorii, prin izolante considerarea corectă a influenței mediului asupra fundației, să reducă în limite acceptabile efectul vibrațiilor atât asupra fundației cât și efectul vibrațiilor asupra mediului.

În cazul rezemării pe straturi elastice se mai impun următoarele concluzii generale :

**d)** o pătură elastică groasă atenuază sensibil forțele dinamice transmise suportului (solului) pe când una subțire le transmite aproape neschimbate.

**e)** comportarea <sup>stru</sup> pături elastice este cu atât mai bună cu cât presiunea statică realizată din complexul mașină – fundație pe aceasta este mai ridicată. Pentru presiuni scăzute, pătură elastică va lucra ca un rigid. În concluzie, presiunile pe păturile elastice trebuie să fie cât mai ridicate iar în situația când acest lucru nu se poate realiza, păturile elastice se vor înlocui cu izolatori elastici.

## 2.8 Vibrații libere orizontale (de translație).

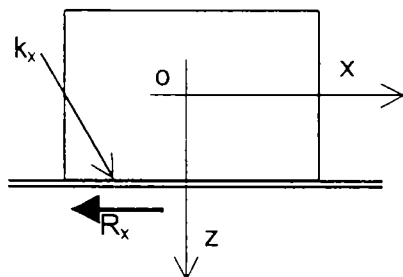


Fig. 2.10 Translație orizontală

Ecuția diferențială a mișcării va fi :

$$\ddot{m}x + kx = 0 \quad (2.70)$$

constanta elastica a rezemării va fi :

$$k = k_x \quad (2.71)$$

notând pulsația proprie a vibrației orizontale :

$$p_x^2 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.72)$$

vom avea soluția de forma :

$$x = A \sin p_x t + B \cos p_x t \quad (2.73)$$

La fundațiile de mașini nu se produc vibrații de translație orizontală izolat, acestea fiind întotdeauna însoțite de mișcări de rotație. Forțele perturbatoare nu acționează pe același suport cu axele principale (care trec prin centrul masic) ale obiectului în mișcare.

Forța care se opune mișcării, *reacțiunea elastică de lunecare*, produsă pe talpa fundației va avea expresia :

$$R_x = k x \quad (2.74)$$

## 2.9 Vibrații libere de rotație în jurul unui ax orizontal.

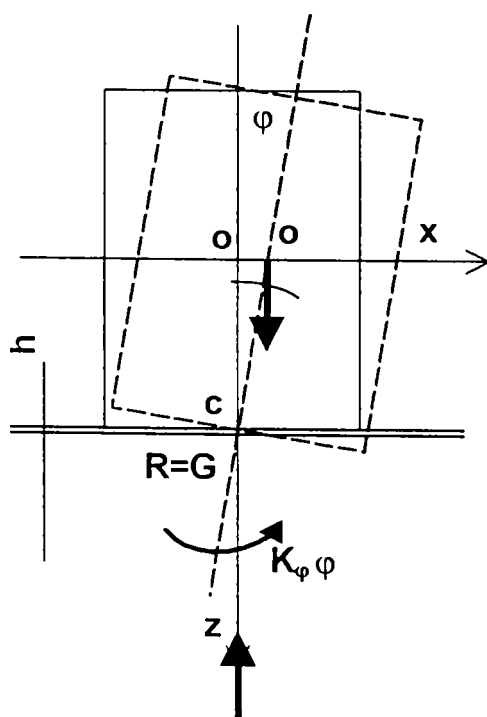


Fig. 2.11 Rotații în jurul unui ax orizontal

Forțele perturbatoare orizontale ale mașinii și fundației nu sunt dirijate după același suport. Forțele perturbatoare acționează la nivelul axei de rotație a mașinii iar forțele elastice acționează în planul axelor elastice. Se produc astfel cupluri generatoare de vibrații în jurul axei orizontale  $o - y$ , producând deplasări elastice în jurul axei  $o - x$ .

Astfel, în urma rotirii cu unghiul  $\varphi$  se produc :

- un cuplu,  $G h \varphi$ , din acțiunea greutății  $G$  și a reacțiunii  $R$ .
- un cuplu al reacțiunii elastice a terenului, cu valoarea  $K_\varphi \varphi$ .

Notând cu  $J_c$  momentul de inerție masic față de axa  $y$  trecând prin centrul elastic  $C$ , ecuația diferențială a mișcării va fi :

$$J_c \ddot{\varphi} = \sum M_y = G \cdot h \cdot \varphi - K_\varphi \cdot \varphi = (G \cdot h - K_\varphi) \quad (2.75)$$

sau  $J_c \ddot{\varphi} - (G \cdot h - K_\varphi) \cdot \varphi = 0 \quad (2.76)$

Cu notațiile utilizate până acum ecuația mișcării se poate rescrie :

$$\ddot{\varphi} + \frac{K_\varphi - G \cdot h}{J_c} \cdot \varphi = 0 \quad (2.77)$$

Notând pulsația proprie cu :

$$p_\varphi^2 = \frac{K_\varphi - G \cdot h}{J_c} \quad (2.78)$$

Ecuația se poate rescrie ca :

$$\ddot{\varphi} + p_\varphi^2 \cdot \varphi = 0 \quad (2.79)$$

având soluții de forma :

$$\varphi = A \cos p_\varphi t + B \sin p_\varphi t \quad (2.80)$$

Constanta elastică a rezemării va exprima :

$$K_\varphi = C_\varphi I \quad (2.81)$$

în care :

$C_\varphi$  - coeficientul elastic pentru compresie neuniformă a terenului la rotații în jurul unei axe orizontale

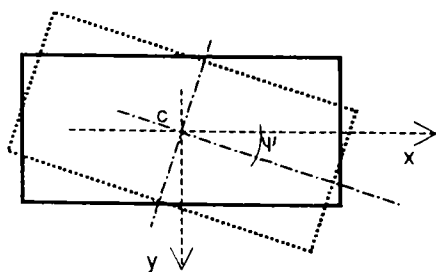
$I$  - momentul de inerție al tălpii fundației față de axa în cauză.

Formula utilizată curent pentru determinarea pulsațiilor proprii la rotația în jurul unei axe orizontale se poate rescrie ca :

$$p_\varphi^2 = \frac{C_\varphi \cdot I - G \cdot h}{J_c} \quad (2.82)$$

În care  $J_c$  este momentul de inerție *masic* față de axa  $o - y$  care trece prin centrul elastic al suprafeței de rezemare (punctul  $C$ ).

## 2.10 Rotații în jurul unui ax vertical.



Notând cu :

$J_z$  - momentul de inerție masic

$\psi$  - unghiul de rotație

ecuația diferențială a mișcării va fi :

$$J_z \ddot{\psi} + K_\psi \cdot \psi = 0 \quad (2.83)$$

Expresia pulsației proprii va fi :

Fig.2.12 Rotații în jurul unui ax vertical

$$p_{\psi} = \frac{K_{\psi}}{J_z} \quad (2.84)$$

Constanta elastică la răsucire va fi

$$K_{\psi} = I_z C_{\psi} \quad (2.85)$$

în care  $I_z$  este momentul de inerție polar al suprafeței de reazem.

Vom avea :

$$p_{\psi} = \frac{C_{\psi} \cdot I_z}{J_z} \quad (2.86)$$

### 2.11 Vibrații cuplate de translație și rotație.

Cazul cel mai întâlnit la fundațiile de mașini este cel în care fundația execută vibrații

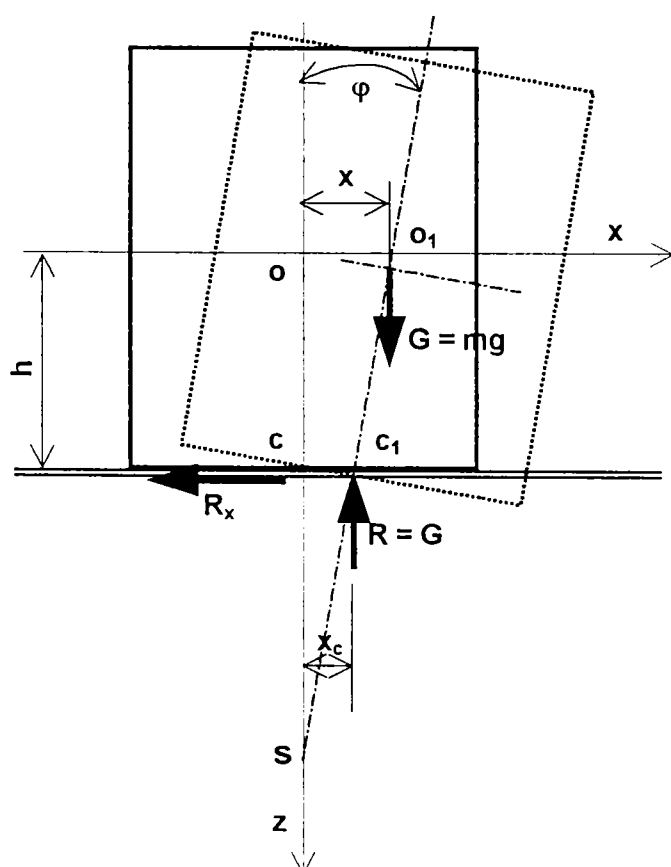


Fig. 2.13 Rototranslație în planul  $x - o - z$

într-un singur plan. Considerând axa longitudinală axa  $o - y$ , cea transversală axa  $o - x$  (axa în care se dezvoltă forțele dinamice perturbatoare) iar axa verticală  $o - z$ , fundația va executa :

- o translație verticală, în lungul axei verticale  $o - z$ .
- o translație orizontală, în lungul axei orizontale  $o - x$ .
- o rotație în jurul axei orizontale  $o - y$ .
- o rotație în jurul axei verticale  $o - z$ .

Sistemul, prezentat schematic

în fig. 2.13 execută mișcări în planul

$z-o-x$ , având 4 grade de libertate dinamică. Sistemul de ecuații diferențiale ale mișcării va fi :

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{z} &= \sum Z \\ m\ddot{x} &= \sum X \\ J\ddot{\phi} &= \sum M_y \\ J\ddot{\psi} &= \sum M_z \end{aligned} \right\} \quad (2.87)$$

În sistemul de ecuații s-au notat prin :

$X, Z$  - deplasări

$J$  - momente de inerție masice față de centrul masic

$\varphi, \psi$  - deplasări unghiulare

$I$  - momente de inerție ale suprafeței de rezemare pe suport (sol)

Deplasările care se produc sunt :

Pe direcția axei  $\mathbf{o} - \mathbf{x}$ , o deplasare elastică  $\mathbf{x}$  compusă din :

- translația orizontală a sistemului,  $\mathbf{c}\mathbf{c}_1 = \mathbf{x}_c$

- componenta din rotația în jurul punctului  $\mathbf{c}_1$ ,  $\mathbf{x}_r = \mathbf{h} \varphi$

În total, deci,  $\mathbf{x} = \mathbf{o}\mathbf{o}_1 = \mathbf{x}_c + \mathbf{x}_r = \mathbf{x}_c + \mathbf{h} \varphi$

Pe direcția axei  $\mathbf{o} - \mathbf{z}$ , o deplasare elastică de translație verticală  $\mathbf{z}$

Forțele care acționează asupra fundației în mișcare (vibrație) vor fi :

Verticale, - Greutatea ansamblului,  $\mathbf{G} = m\mathbf{g}$

- Reacțiunea elastică a suportului (terenului) în stare de repaus,  $\mathbf{R}_z = m\mathbf{g}$

- Reacțiunea elastică a terenului pentru deplasarea verticală  $\mathbf{z}$  măsurată față de poziția de repaus,  $\mathbf{K}_z = -\mathbf{C}_z\mathbf{S}$

Orizontale, - Reacțiunea elastică a terenului pe suprafața de rezemare,

$$\mathbf{R}_x = -\mathbf{K}_x\mathbf{x}_c = -\mathbf{K}_x(\mathbf{x} - \mathbf{h} \varphi) = \mathbf{C}_x\mathbf{S}(\mathbf{x} - \mathbf{h} \varphi)$$

cuplurile care acționează asupra ansamblului vor fi :

Fată de axa verticală  $\mathbf{o} - \mathbf{z}$  (în planul  $\mathbf{x}-\mathbf{o}-\mathbf{y}$ ), producând rotiri,

$$-\mathbf{K}_\psi \psi = \mathbf{C}_\psi I_z \psi$$

Fată de axa orizontală  $\mathbf{o} - \mathbf{y}$  (în planul  $\mathbf{z}-\mathbf{o}-\mathbf{x}$ ),

format din greutatea  $\mathbf{G}$  și reacțiunea statică  $\mathbf{R} = \mathbf{G}$ ,

$$\mathbf{M}_1 = \mathbf{G}(\mathbf{o}\mathbf{o}_1 - \mathbf{c}\mathbf{c}_1) = m\mathbf{g}\mathbf{h} \varphi$$

- format din reacțiunea elastică  $\mathbf{R}_x$  față de axa  $\mathbf{o} - \mathbf{y}$ ,

$$\mathbf{M}_2 = \mathbf{R}_x \mathbf{h} = \mathbf{C}_x \mathbf{S}(\mathbf{x} - \mathbf{h} \varphi) \mathbf{h}$$

- datorat rotației ansamblului cu unghiul  $\varphi$

$$\mathbf{M}_3 = -\mathbf{K}_\varphi \varphi = -\mathbf{C}_\varphi I_\varphi$$

Cele 4 ecuații diferențiale ale mișcării se rescriu :

$$m\ddot{\mathbf{z}} = m\mathbf{g} - m\mathbf{g} - \mathbf{C}_z\mathbf{S}\mathbf{z}$$

$$m\ddot{\mathbf{x}} = -\mathbf{C}_x\mathbf{S}(\mathbf{x} - \mathbf{h}\varphi)$$

$$J\ddot{\varphi} = m\mathbf{g}\mathbf{h}\varphi + \mathbf{C}_x\mathbf{S}(\mathbf{x} - \mathbf{h}\varphi)\mathbf{h} - \mathbf{C}_\varphi I_\varphi$$

$$J\ddot{\psi} = -\mathbf{K}_\psi \psi$$

(2.88)



După simplificări sistemul devine :

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{z} + C_z S z &= 0 \\ m\ddot{x} + C_x S x + C_x S h \varphi &= 0 \\ J\ddot{\varphi} - C_x S x h + (C_\varphi I - mgh + C_x S h^2) \varphi &= 0 \\ J\ddot{\psi} + C_\psi I_z \psi &= 0 \end{aligned} \right\} (2.89)$$

prima și ultima ecuație sunt independente, soluțiile lor fiind tratate în paragrafele anterioare. Ecuația a doua și a treia sunt cuplate.

Fundația va avea deci următoarele mișcări :

1) *vibrații de translație verticală*, având pulsația dată de relația (2.3).

$$p_z = \sqrt{\frac{K_z}{m}} \quad (2.90)$$

2) *vibrații de rotație față de axa verticală*, având pulsația proprie dată de relația

$$p_\psi = \sqrt{\frac{K_\psi}{J_z}} \quad (2.91)$$

3) *vibrații de translație și de rotație în planul  $x - o - z$* , pentru care avem cele două ecuații cuplate :

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} + C_x S x + C_x S h \varphi &= 0 \\ J\ddot{\varphi} - C_x S x h + (C_\varphi I - mgh + C_x S h^2) \varphi &= 0 \end{aligned} \right\} (2.92)$$

Soluțiile sistemului de ecuații cuplate este de forma :

$$\left. \begin{aligned} x &= C \sin (pt + \alpha) \\ \varphi &= B \sin (pt + \alpha) \end{aligned} \right\} (2.93)$$

Constantele **B** și **C** se determină din condițiile inițiale ale mișcării. Înlocuind în ecuațiile sistemului (2.92), vom avea :

$$\left. \begin{aligned} (C_x S - mp^2)C - C_x S h B &= 0 \\ -C_x S h C + (C_\varphi I - mgh + C_x S h^2 - Jp^2) B &= 0 \end{aligned} \right\} (2.94)$$

Pentru ca **B** și **C** să aibe valori diferite de zero, deci să existe mișcare vibratoare, determinantul sistemului trebuie să fie nul.

$$\Delta(p^2) = \begin{vmatrix} (C_x S - mp^2) & -C_x S h \\ -C_x S h & (C_\varphi I - mgh + C_x S h^2 - Jp^2) \end{vmatrix} \quad (2.95)$$

Se dezvoltă determinantul și se ajunge la ecuația pulsațiilor proprii :

$$\Delta(p^2) = -C_x S^2 h^2 + (C_\varphi I - mgh + C_x S h^2 - J p^2)(C_x S - m p^2) = 0 \quad (2.96)$$

Prin dezvoltare, se obține o ecuație bipatrată în  $p^2$ ,

$$p^4 - \left[ \frac{C_\varphi J - mgh}{J} + \frac{C_x S}{m} \cdot \frac{(mh^2 + J)}{J} \right] p^2 + \left( \frac{C_\varphi I - mgh}{J} \cdot \frac{C_x S}{m} \right) = 0 \quad (2.97)$$

Se fac o serie de transformări, se scrie momentul de inerție masic față de centrul elastic,

$$J_c = J + m h^2 \quad ; \quad J / J_c = \gamma \quad ; \quad 0 \leq \gamma \leq 1 \quad (2.98)$$

Se împarte cu termenul  $m J$  și ecuația devine :

$$p^4 - \left[ \frac{C_\varphi I - mgh}{J_c} + \frac{C_x S}{m} \right] \cdot \frac{p^2}{\gamma} + \left( \frac{C_\varphi I - mgh}{\gamma J_c} \cdot \frac{C_x S}{m} \right) = 0 \quad (2.99)$$

Ținând cont de notațiile anterioare,

$$p_x^2 = \frac{K_x}{m} = \frac{C_x S}{m} \quad \text{și} \quad p_\varphi^2 = \frac{K_\varphi - Gh}{J_c} = \frac{C_\varphi I - mgh}{J_c}$$

ecuația se transformă în :

$$p^4 - \frac{(p_\varphi^2 + p_x^2)}{\gamma} \cdot p^2 + \frac{(p_\varphi^2 \cdot p_x^2)}{\gamma} = 0 \quad (2.100)$$

ecuație bipatrată, având rădăcinile :

$$p_{1,2}^2 = \frac{1}{2\gamma} \cdot \left[ (p_\varphi^2 + p_x^2) \pm \sqrt{(p_\varphi^2 + p_x^2)^2 - 4\gamma p_\varphi^2 p_x^2} \right] \quad (2.101)$$

În concluzie, la mișcarea cu două grade de libertate dinamică, fundația de mașină va avea două pulsații proprii,  $p_1$  și  $p_2$ . Pulsațiile proprii vor avea valorile limită :

1) - În cazul când nu există lunecări pe direcția  $o - x$ , (rezistență la lunecare  $C_x S$  infinită), valoarea limită va fi  $p_\varphi$ .

2) - În cazul când nu există rotații valoarea limită va fi  $p_x$ .

Soluțiile (pulsațiile proprii)  $p_1$  și  $p_2$  vor fi în afara domeniului definit de pulsațiile proprii  $p_\varphi$  și  $p_x$  (ale mișcării de rotație pură sau translație pură) definite anterior, fiind mai mici sau mai mari decât valorile acestora.

Se poate calcula raportul amplitudinilor celor două vibrații. Din prima ecuație a sistemului (2.94), vom avea :

$$\frac{C}{B} = \frac{C_x S h}{C_x S - m p^2} = \frac{\frac{C_x S h}{m}}{\frac{C_x S}{m} - p^2} = \frac{p_x^2 h}{p_x^2 - p^2} \quad (2.102)$$

Putem avea două cazuri ale mișcării de rototranslație :

- 1) Fundația vibrează cu pulsația proprie minimă sub pulsația proprie a mișcării de translație pură,  $p_2 < p_x$

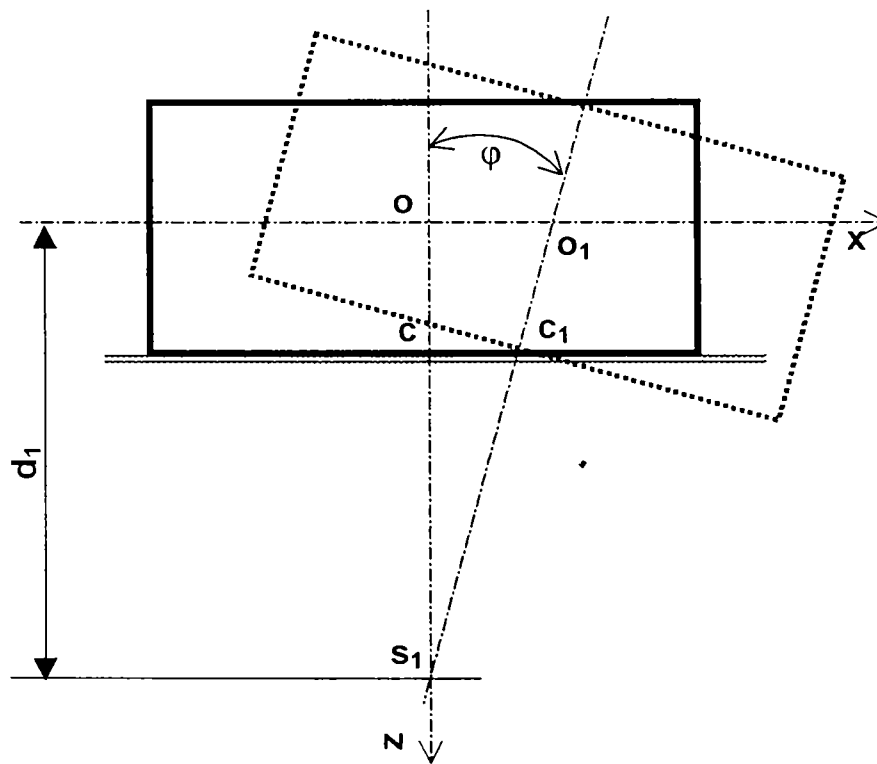


Fig. 2.14 Oscilație pentru  $p_2 < p_x$

translație pură,  $p_2 < p_x$

Din relația (2.102) rezultă numitorul pozitiv, raportul  $C/B$  este la fel pozitiv.

Amplitudinile rotației ( $B$ ) și translației ( $C$ ) vor fi de același semn iar mișcarea va fi cea din fig. 2.14.

- 2) Fundația vibrează cu pulsația proprie maximă peste pulsația proprie a mișcării de translație pură,  $p_1 > p_x$ .

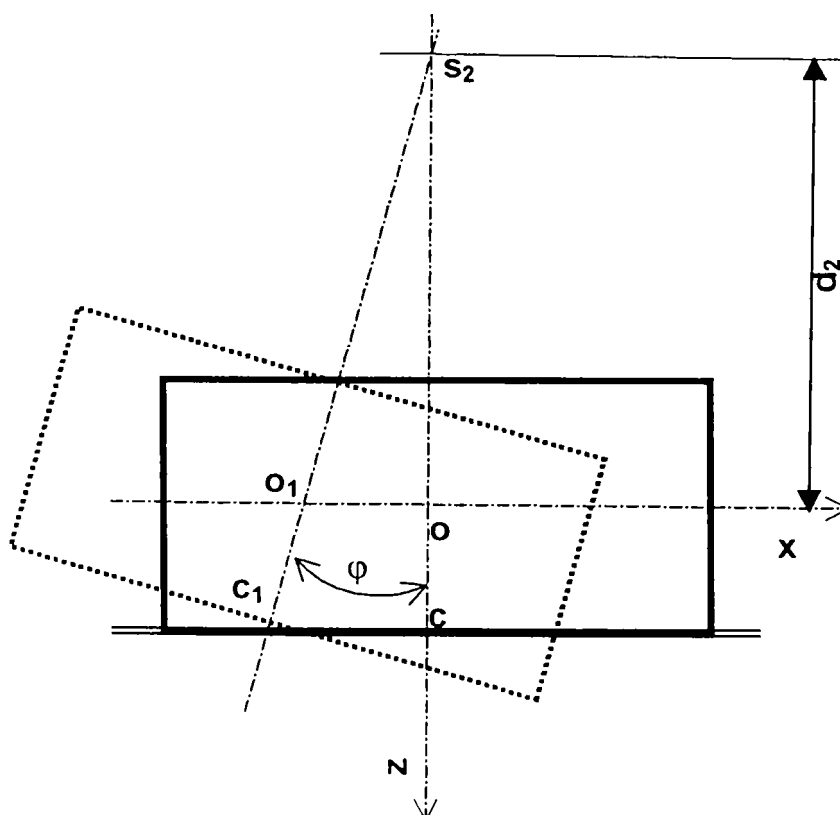


Fig.2.15 Oscilație pentru  $p_1 > p_x$

translație pură,  $p_1 > p_x$ .

Din aceeași relație (2.102) rezultă numitorul negativ, deci amplitudinile  $B$  și  $C$  vor fi de semne contrarii. Mișcarea va fi de forma din Fig. 2.15 .

Din studiul cinematic al mișcării plan paralele se știe că mișcările de translație și de rotație sunt echivalente cu rotațiile în jurul polilor  $S_1$  și  $S_2$ , dacă :

- amplitudinea mișcării de translație  $\mathbf{o}-\mathbf{o}_1 = \mathbf{C}$
- amplitudinea mișcării de rotație, unghiul ( $\varphi$ ),  $\mathbf{o}, \mathbf{s}, \mathbf{o}_1 = \mathbf{B}$

Raportul  $\mathbf{C} / \mathbf{B}$  va reprezenta distanța de la centrul instantaneu al mișcării (polul  $S_1$  sau polul  $S_2$ ) la centrul masic  $\mathbf{O}$ . Vom avea deci :

$$d_1 = \frac{p_x^2 h}{p_x^2 - p_2^2} \quad ; \quad d_2 = \frac{p_x^2 h}{p_x^2 - p_1^2} \quad (2.103)$$

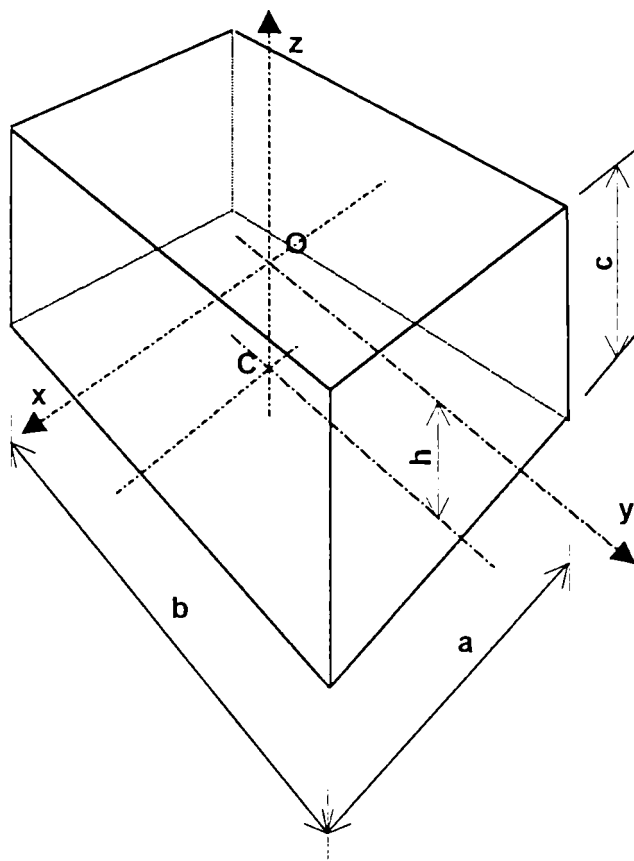


Fig.2.16 Model matematic de calcul.

Alegând ca model matematic de calcul un paralelipiped având laturile (vezi și fig.2.16) :

- pe direcția axei  $\mathbf{o} - \mathbf{x}$  (transversală), lungimea  $\mathbf{a}$
- pe direcția axei  $\mathbf{o} - \mathbf{y}$  (longitudinală), lungimea  $\mathbf{b}$
- pe direcția axei  $\mathbf{o} - \mathbf{z}$  (înălțime), lungimea  $\mathbf{c}$
- distanța între centrul elastic ( $\mathbf{C}$ ) și centrul masic ( $\mathbf{O}$ ),  $\mathbf{h} = \mathbf{c} / 2$ ,

Momentele de inerție masice față de axele principale care trec

prin centrul masic ( $\mathbf{O}$ ) se vor calcula cu formula 
$$\mathbf{J} = \frac{\mathbf{m}}{12} \left( \mathbf{a}^2 + \mathbf{c}^2 \right) \quad (2.104)$$

Față de centrul elastic, ( $\mathbf{C}$ ), momentul de inerție masic va fi :

$$\mathbf{J}_c = \mathbf{J} + \mathbf{m} \mathbf{h}^2 = \mathbf{J} + \mathbf{m} \frac{\mathbf{c}^2}{4} = \mathbf{m} \cdot \left( \frac{\mathbf{a}^2 + \mathbf{c}^2}{12} + \frac{\mathbf{c}^2}{4} \right) \quad (2.105)$$

Valoarea coeficientului  $\gamma$ , calculat cu relația (2.88) va fi :

$$\gamma = \frac{J}{J_c} = \frac{a^2 + c^2}{a^2 + 4c^2} = \frac{1 + \frac{a^2}{c^2}}{1 + 4\frac{c^2}{a^2}} \quad (2.106)$$

Variația coeficientului  $\gamma$  este reprezentată grafic în fig. 2.17

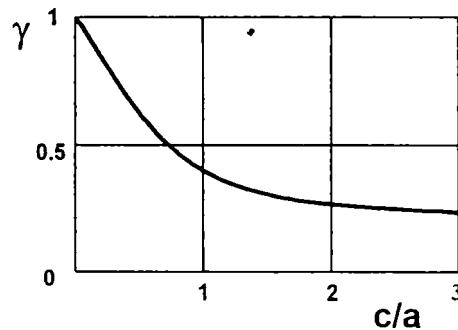


Fig. 2.17 Factor de cuplaj  $\gamma$

Se remarcă că valoarea  $\gamma$  scade pe măsură ce raportul  $c/a$  crește, deci fundația este mai înaltă.

Din ecuația bipătrată (2.89) care are soluțiile date de relația (2.91), se poate scrie :

$$p_1^2 + p_2^2 = \frac{p_\varphi^2 + p_x^2}{\gamma} \quad ; \quad p_1^2 \cdot p_2^2 = \frac{p_\varphi^2 \cdot p_x^2}{\gamma} \quad (2.107)$$

Coeficientul  $\gamma$  poate fi numit și coeficient de cuplaj al sistemului cu două grade de libertate. Se observă că la scăderea valorii coeficientului de cuplaj  $\gamma$ , valorile pulsațiilor  $p_1$ , și  $p_2$  se aproprie de valorile pulsațiilor  $p_\varphi$  și  $p_x$ , și invers .

### 3. Problematika fundării mașinilor mari din compunerea instalațiilor termoenergetice

Procesele tehnologice specifice - producerea de energie electrică și termică (abur de medie și joasă presiune, apă caldă), impun vehicularea și prepararea (la cerințe de compoziție, temperatură și presiune) a unor importante cantități de combustibili, aer și apă tehnologică. În acest scop, instalațiile termoenergetice sunt dotate cu o largă gamă de mașini (utilaje) specifice fiecărei faze a procesului tehnologic.

#### 3.1 Tipuri de mașini mari specifice. Sunt utilizate :

##### 3.1.1 Generatoare de energie electrică. Mașini rotative puse în mișcare prin :

a) *turbine cu abur*, acționate de forța aburului supra încălzit de naltă presiune. Utilaj complex, denumit și *turbogenerator*, acesta funcționează cu o turație de  $n = 3000$  rpm. și frecvența de  $f = 50$  Hz.

b) *motoare turbină* (de foarte mare putere și turație), funcționând cu combustibil lichid (kerosen) sau gazos (butan sau gaz metan). Utilaj complex, acesta este denumit uzual și *turbină pe gaze*, funcționează la o turație a motorului peste cca 4000 rpm. generatorul fiind acționat de motor printr-o cuplă specială. Frecvența curentului livrat este cea acceptată de sistemul național,  $f = 50$  Hz.

**3.1.2 Excitatrice.** Echipament anexă turbogeneratoarelor asigurând polarizarea statorului generatorului de curent și funcționând la o turație  $n = 3000$  rpm.

**3.1.3 Turbopompe, pompe de înaltă presiune.** Echipamente anexă turbogeneratorului și cazanului, asigurând depresiunea necesară funcționării condensatorului turbinei sau presiunea necesară introducerii apei preîncălzite în cazan. Turația la care funcționează este  $n = 1500 - 3000$  rpm.

##### 3.1.4 Compresoare, asigurând :

- presiunea necesară gazelor combustibile la utilizarea de turbine pe gaze.
- aerul instrumental necesar acționărilor unor echipamente din stațiile electrice sau camerele de comandă. Turațiile la care funcționează sunt  $n = 500 - 1500$  rpm.

**3.1.5 Grupuri Diesel.** Producătoare independente de energie electrică de putere mică necesară serviciilor proprii în situații de avarie sau la pornirea instalației. Turațiile de funcționare sunt între  $n = 1500 - 3000$  rpm.

**3.1.6 Pompe,** asigurând vehicularea și presiunea necesară pentru lichidele din instalație. Pompele utilizate sunt centrifuge, cu una sau mai multe trepte, cu turația  $n = 300 - 1500$  rpm. Avem :

- *pompe cu ax orizontal*, vehiculând apă tehnologică ( rece sau caldă), amplasate funcție de mărimea lor, fie pe planșee (radiere de cuve) fie pe fundații independente.

- *pompe cu ax vertical*, vehiculând mari cantități de apă tehnologică (rece sau caldă), amplasate de regulă pe planșeele bazinelor și având turații  $n = 600 - 1500$  rpm.

- *pompe speciale*, pentru lichide vâscoase (cu roți dințate), pentru combustibil, pompe Bagger (pentru amestecuri de apă cu cenușe), și având turații  $n = 600 - 1100$  rpm.

**3.1.7 Concasoare,** asigurând granulara combustibilului solid în faza de depozitare. Funcționează pe principiul ciocnirilor, având ciocanele articulate pe axul rotorului concasorului. Turațiile de funcționare sunt  $n = 450 - 650$  rpm. fiind acționate de motoare electrice cu turații  $n = 900 - 1150$  rpm. Transmisia mișcării de rotație se face prin curele. Se amplasează pe planșee din beton armat (în stația de concasare) sau pe fundații speciale, independente, elastice (platforme insularizate).

**3.1.8 Mori de cărbune,** asigurând măcinarea cărbunelui la finețea necesară amestecării acestuia cu aerul cald necesar arderii. Funcție de calitatea cărbunelui, se folosesc următoarele tipuri de mori :

a) cu bile, mori cu tambur orizontal folosite la cărbunele cu putere foarte mare calorică, (antracit), având turația  $n = 15 - 60$  rpm.

b) mori cu ax vertical, pentru cărbune cu putere calorică mare ( huiă) având o turație de  $n = 15 - 60$  rpm. Cărbunele este măcinat prin strivire (de role sau bile de mare diametru) iar fracțiunea ajunsă la finețea de măcinare necesară este suflată în cazan, pentru ardere, prin amestecare cu aer cald.

c) mori cu ax orizontal, utilizate pentru măcinarea combustibililor inferiori, (cărbune - lignit sau șisturi bituminoase). Funcționează la turații  $n = 600 - 1100$  rpm. Pe fundații masive izolate antivibratoriu. Sunt în exploatare două sisteme :

- *mori ventilator*, cărbunele este spart prin impactul cu paletel rotorului ventilator al morii. Acest rotor antrenează și aerul cald (de amestec) necesar arderii.

- *mori ventilator cu ciocane*, înaintea rotorului ventilator al morii se interpune un concasor cu ciocane fixe pe axul morii.

### 3.1.9 Ventilatoare, asigurând vehicularea gazelor. Se utilizează :

- *ventilatoare de aer rece la instalații de climatizare*, amplasate pe planșeele din beton armat sau pe radierele cuvelor stațiilor de climatizare. Funcționează cu turații până la 1500 rpm., având amplasată izolație antivibratorie între batiul utilajului și suport.
- *ventilatoare de aer*. Aerul rece necesar arderii este injectat în instalația de preîncălzire (Ljungstromm) prin ventilatoare având palele rotorului cu unghi de atac variabil, pentru o mai bună reglare a presiunii și debitului aerului vehiculat. Turațiile acestora sunt  $n = 600 - 1100$  rpm. fiind amplasate pe fundații masive direct în / pe terenul bun de fundare sau pe izolații antivibratorii.
- *ventilatoare de gaze recirculate*, realizând transportul gazelor fierbinți către instalația de preîncălzire a aerului necesar arderii (Ljungstromm). Turațiile acestora sunt  $n = 600 - 1100$  rpm., sunt amplasate pe fundații independente realizate direct în / pe terenul bun de fundare sau izolate antivibratoriu . Palele rotorului au unghi de atac variabil pentru reglarea presiunii și debitului de gaze vehiculate.
- *ventilatoare de gaze arse*, asigurând viteza și presiunea necesară realizării tirajului pentru evacuarea gazelor arse prin coșul de fum al instalației. Au turația de  $n = 600 - 1100$  rpm. fiind amplasate pe fundații masive, fie direct pe / în terenul bun de fundare fie pe fundații masive izolate antivibratoriu. Rotoarele au palele cu unghi de atac variabil pentru realizarea reglării debitului și presiunii necesare fluxului de gaze arse.

**3.1.10 Motoare de acționare (cu reductoare de turație)**, utilizate pentru punerea în mișcare a benzilor transportoare de cărbune din instalație. Au o turație de cca.  $n = 1000$  rpm. Reductoarele reduc turația la valoarea de cca. 50 - 150 rpm. necesară rotirii tamburilor de antrenare a benzilor transportoare. Amplasarea se face atât pe fundații independente cât și pe planșeele structurilor în cadre (din beton armat sau metalice) ale turnurilor din gospodăria de cărbune sau clădiri tehnologice.

**3.1.11 Utilaje de atelier.** Întreaga gamă de utilaje necesară atelierelor de întreținere (strunguri, freze, raboteze, polizoare etc.). Sunt amplasate de obicei pe pardoseala suport a atelierelor, fie direct, fie rezemate pe izolatori. Facem o mențiune specială asupra *mașinii de echilibrat rotoare mori și ventilatoare*, amplasate pe o fundație masivă și având în exploatare turație variabilă.  $n = 60 - 300$  rpm.

**3.1.12 Utilaje de laborator**, având executate *izolații pasive* antivibratorii la instalațiile de cântărire de precizie și *izolații active* (pe izolatori) la centrifuga separatoare.

## 3.2 Clasificări ale mașinilor mari din compunerea instalațiilor energetice.

Tipurile de mașini mari enumerate se clasifică după :



**3.2.1 Funcționare**, mașini cu funcționare periodică, având o mișcare de :

- *rotație uniformă*, turbogeneratoarele și turbinele pe gaze, ventilatoarele, pompele, morile de cărbune, concasoarele.

- *rotație uniformă simultană cu o mișcare de translație*, grupurile Diesel, compresoarele.

**3.2.2 Turație**, punând în evidență :

- *mașini rapide*,  $n > 2000 \text{ rpm}$ . turbogeneratoarele, turbinele pe gaze, excitatrici grupuri Diesel, unele pompe de presiune și turbopompe

- *mașini cu turație mijlocie*,  $n = 400 - 2000 \text{ rpm}$ . ventilatoarele, concasoarele, morile de cărbune cu aș orizontal (ventilator sau ventilator cu ciocane), motoare de acționare, pompe, compresoare. Plaja de turații este în general între 400 și 1500 rpm.

- *mașini lente*,  $n < 400 \text{ rpm}$ . mori de cărbune cu ax vertical sau cu bile, unele mașini de atelier, mașina de echilibrat rotoare mori și ventilatoare, pompe de combustibil și pentru lichide vâscoase (cu roți dințate), compresoare

**3.2.3 Grad de dinamicitate**, datorită faptului că toate aceste mașini mari au importante mase în mișcare de rotație, acestea se încadrează în următoarele grade de dinamicitate :

- *grad II - (dinamicitate mijlocie)* - compresoare, grupuri Diesel, pompe, motoare de acționare (cu reductoare de turație).

- *grad III - (dinamicitate mare)* - excitatrici, turbopompe și pompe de presiune, unele ventilatoare și utilaje de atelier.

- *grad IV - (dinamicitate foarte mare)* - turbogeneratoare, turbine pe gaze, ventilatoare, mori de cărbune cu ax orizontal (ventilator și ventilator cu ciocane), mașina de echilibrat rotoare.

**3.2.4. Sensibilitate dinamică**, funcție de limitele admise pentru vibrațiile produse, mașinile se încadrează în următoarele clase de sensibilitate dinamică :

- *clasa III, (puțin sensibil)*, mașini de atelier, centrifugă separatoare.

- *clasa IV, (foarte puțin sensibil)*, unele mașini de atelier, grupuri Diesel, turbogeneratoarele și turbinele pe gaze, excitatrici, turbopompe și pompe de presiune, motoare de acționare, compresoare.

- *clasa V, (insensibil)*, ventilatoare, mori de cărbune, pompe, concasoare.

În general, toate aceste mașini mari sunt caracterizate prin importante mase în mișcare, valori importante ale forțelor inerțiale, forțe dinamice ne echilibrate mari produse atât în exploatarea curentă cât și (mai ales) în cazurile de avarie utilaj.

**3.3 Probleme specifice fundării mașinilor mari.** Caracteristic instalațiilor termoenergetice este numărul mare de construcții tehnologice și echipamente amplasat pe un spațiu redus. Toate aceste obiective predau terenului prin fundații solicitări importante având caractere statice sau dinamice. Realizarea fundațiilor se face avându-se în vedere :

**3.3.1 Condiții de amplasament.** Amplasamentul se caracterizează printr-o mare densitate de fundații cu solicitări statice importante și o gospodărie tehnologică subterană coborând la mare adâncime. Acest situație creează multiple suprapuneri ale suprafețelor fundațiilor cu solicitări statice cu suprafețele fundațiilor de mașini, impunând soluții speciale de fundare pentru acestea din urmă.

**3.3.2 Teren bun de fundare.** Amplasamentele instalațiilor termoenergetice se caracterizează în general prin terenuri de fundare slabe până la dificile. Stratul bun de fundare se găsește în general la cote coborâte (-4.00 m. la -8.00 m.), fapt care pune probleme tehnic dificil de rezolvat atât pentru fundațiile de mașini cât și pentru fundațiile având solicitări statice. O altă problemă o constituie nivelul ridicat și agresivitatea naturală (față de betoane, metal și materialele izolatoare antivibratoriu) a apelor subterane din amplasament, care pentru fundațiile de mașini (în special) constituie un factor agravant (apa fiind un mediu ideal pentru transmiterea vibrațiilor). Pentru amplasamentele instalațiilor termoenergetice, datele de fundare, caracteristicile statice și dinamice ale terenului bun de fundare, probleme legate de agresivitatea apelor subterane, soluțiile de realizare a fundațiilor (solicitate static și dinamic) sunt analizate și cuprinse prin " Studiul Geotehnic " întocmit de specialistul geotehnician.

**3.3.3 Soluții de fundare aplicate.** Soluțiile de fundare aplicate asigură rezolvarea tuturor aspectelor legate de amplasament, cota de fundare, dinamicitate și nivel de vibrații acceptat, probleme legate de transmisibilitate, probleme legate de rezistența și dinamica terenului de fundare. Soluțiile de fundare aplicate la fundarea mașinilor mari sunt :

- *fundații directe*, pe l în terenul bun de fundare.
- *fundații pe elemente elastice*, izolatori cu sau fără amortizori, pături elastice.
- *fundații directe în pături elastice*
- *fundații indirecte* (piloți)

Din punct de vedere al rigidității, fundațiile de mașini sunt realizate ca :

- *fundații masive* din beton armat monolit (uneori parțial prefabricat)
- *fundații elastice* (în cadre), în soluție din beton armat , metal sau mixt.

**3.3.4 Probleme de transmisibilitate vibrații.** Izolarea antivibratorie a mașinii se proiectează funcție de nivelul maxim de vibrații acceptat în funcționare. Acesta trebuie să fie destul de redus, avându-se în vedere posibilitatea de a se produce rezonanțe supărătoare

(pe frecvențe superioare) induse în elemente ale altor echipamente învecinate (fără solicitări dinamice). Eliminarea acestor rezonanțe, apărute incidental, este foarte dificil de realizat. Procedeele de izolare antivibratorie aplicate sunt *procedee de izolare activă antivibratorie*, urmărindu-se reducerea (amortizarea) vibrațiilor transmise prin elementul suport (terenul de fundație, elemente de construcții, mediul înconjurător) către alte structuri, sau echipamente fără solicitări dinamice.

**3.4 Soluții tehnice aplicate la fundarea mașinilor mari.** Fundațiile mașinilor mari din compunerea instalațiilor termoenergetice sunt realizate în soluții tehnice adaptate specificului fiecărei mașini, amplasarea în contextul instalației și specificațiile studiului geotehnic în amplasament. Soluțiile realizate sunt :

**3.4.1. După forma constructivă,**

a) *fundații elastice*, executate din beton armat ,

- în cadre, pentru turboagregate, excitatrici, unele turbopompe și pompe de presiune, grupuri Diesel.

- platforme pe stâlpi, pentru concasoare de cărbune, amplasate în interiorul clădirii în cadre multietajate a stației de concasoare (în varianta insularizată).

b) *fundații masive*, executate din beton armat monolit,

- tip dală groasă, pentru turbine pe gaze

- rigide, de tip bloc, pentru pompe, ventilatoare, mori de cărbune, compresoare grupuri Diesel, mașini de echilibrat rotoare.

**3.4.2. După modul de contact cu stratul suport (terenul bun de fundare)**

a) *fundații indirecte* în situația unui teren slab de fundare, când terenul bun de fundare se găsește la cote coborâte de nivel sau în situația unor umpluturi de înălțime mare. Soluțiile de fundare indirectă se recomandă prin " Studiul Geotehnic" întocmit pentru amplasament, aplicându-se aceeași soluție de fundare pentru toate fundațiile existente indiferent de solicitări. Remarcăm executarea de fundații :

- fundații pe piloți, procedeu utilizat pentru terenuri de fundare slabe, terenuri contractile (în special loess), umpluturi masive

- fundații pe ploturi ștantate, procedeu recomandat pentru terenuri slabe de fundare, a căror calități de rezistență sau stabilitate au fost îmbunătățite în urma unor lucrări speciale de consolidare ( prin coloane de balast cu sau fără ciment executate prin vibrare, prin compactări suplimentare, tec). Plotul, este un element de rezistență liniar, realizat din beton armat (monolit sau prefabricat) de mare rigiditate. Introducerea în teren a plotului se face prin batere sau vibrare (în cazul ploturilor prefabricate) sau executat într-un gol realizat

(în teren) cu ajutorul unei matrițe metalice (de forma plotului) introdusă în teren prin batere sau vibrație. Procedeele au un dublu efect, realizând :

- o compactare suplimentară a terenului de fundare, prin reducerea volumului de goluri interioare (caverne, pori) existente în teren.

- de realizare a suportului pentru elementele de rezistență a construcției sau a fundației de mașină.

Procedeele au fost brevetate ca invenție la OSIM, Brevet nr. **RO 90269** de un colectiv din care face parte și întocmitorul prezentei teze.

Piloții sau ploturile ștanțate constituie suportul fundației de mașină, legătura cu aceasta făcându-se

- încăstrat, capul pilotului sau plotului fiind încăstrat în talpa fundației masive sau radierul fundației elastice.

- rezemat, pe elemente elastice amplasate pe un radier (cu placă sau numai din grinzi) realizat pe capul piloților sau ploturilor.

**b) fundații directe**, în / pe terenul bun de fundare, fundațiile fiind executate :

- încăstrate, turnate din beton armat în gropi săpate în acesta, fețele laterale fiind în contact direct (nemijlocit) cu terenul natural ne tulburat.

- rezemate pe terenul bun de fundare, la o cotă de fundare obținută în urma executării (de obicei mecanic) a unei săpături generale. După turnarea fundației, aceasta este îngropată în teren de umplutură până la cota finală, umpluturile fiind compactate îngrijit.

**c) fundații pe elemente elastice**, realizate pe straturi (pături) elastice sau pe izolatori,

- în interiorul unor cuve de protecție, libere lateral, spațiile între cuvă și fundație având atât rol de protecție a izolației antivibratorii împotriva apelor subterane cât și rol de spațiu necesar vizitării și întreținerii izolației antivibratoare.

- cu umpluturi laterale de teren natural sau materiale granulare (balast natural). Pachetul izolant antivibratoriu este izolat hidrofug împotriva acțiunii apelor subterane provenite din umiditatea naturală a terenului.

**d) fundații în perne (straturi) elastice**, fundații încăstrate în perne elastice din materiale granulare. Executarea pernelor elastice se face prin compactare îngrijită, utilizându-se două soluții :

- cu perna elastică având fețele laterale delimitate printr-o incintă de restul umpluturilor din zonă

- cu perna elastică având fețele laterale executate înfrățit (în comun, în același timp) cu restul umpluturilor executate în zonă. În perna elastică pot fi înglobate și alte

fundații având solicitări statice necesare pe amplasament. Procedul de fundare a fost brevetat ca invenție la OSIM, Brevet nr. **RO 97466** de către întocmitorul prezentei teze.

### 3.5 Detalii aplicate la realizarea fundațiilor masive pentru mașini mari.

Realizarea fundațiilor masive pentru mașinile mari s-a făcut utilizându-se detaliile de execuție prezentate mai jos :

**3.5.1 Fundații directe.** Procedul este aplicat cu predilecție, fiind practic cel mai eficient economic și tehnic, atât pentru execuție cât mai ales pentru întreținere în exploatare.

**a) în terenul bun de fundare (ne tulburat).**

Fundația masivă este executată direct în groapa de săpătură, asigurându-se un contact intim între suprafețele laterale ale blocului și teren.

Detaliul este prezentat în fig. 3.1 , în care :

1 - fundație masivă de mașină

2 - teren bun de fundare

**b) pe terenul bun de fundare.** Fundația masivă se execută pe terenul bun de fundare, la o cotă obținută în urma execuției unei săpături generale. după execuție, aceasta este îngropată în umpluturi executate din teren sănătos, îngrijit compactate. Detaliul este prezentat în fig. 3.2 , în care :

1 - fundație masivă de mașină.

2 - teren bun de fundare.

3 - umplutură laterală ,compactată îngrijit

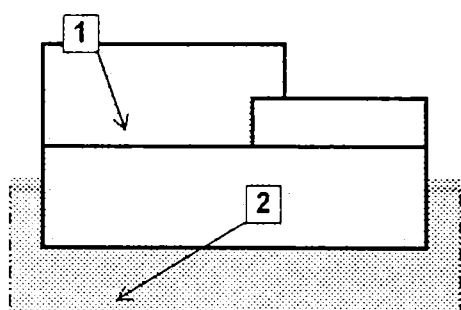


Fig. 3.1 fundare directă  
incastrată în teren.

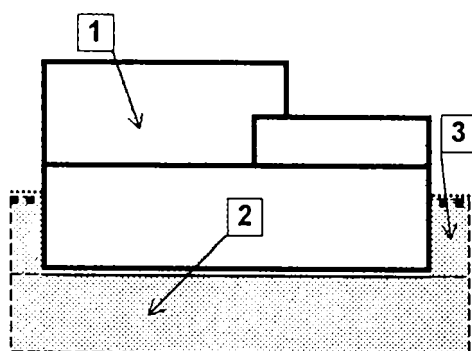


Fig. 3.2 fundare directă cu  
umpluturi laterale compactate.

**3.5.2 Fundații indirecte.** Procedeele aplicate sunt :

**a) fundarea pe piloti,** procedul este uzual realizat și pentru celelalte fundații (cu solicitări statice) din amplasament. Procedul este detaliat în fig. 3.3, în care :

1 - fundație masivă de mașină.

2 - teren bun de fundare.

3 - pilot din beton armat prefabricat, introdus în teren prin batere sau vibrație.

4 - teren de umplutură sau teren slab, impropriu fundării..

b) fundarea pe ploturi șantate,

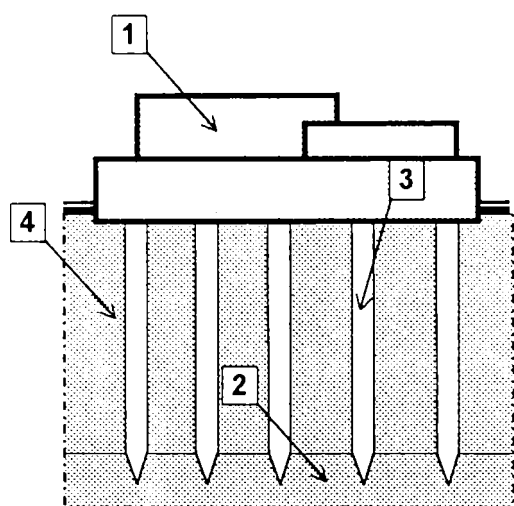


Fig. 3.3 fundație masivă pe piloți din beton armat

procedeu tehnic realizat pentru toate fundațiile din amplasament., prin înlocuirea piloților din beton armat cu ploturi turnate monolit în gropi șantate. Detaliul de fundare este similar cu cel prezentat în fig. 3.3 , înlocuind piloții din beton armat cu ploturi șantate care sunt similare piloților flotanți

**3.5.3. Fundații masive pe / în elemente elastice.** Fundarea se face pe un suport (element de construcție, planșee (metalic sau din beton armat), bloc din beton simplu (înglobând și alte fundații cu solicitări statice

din zonă), sau într-o cuvă de protecție (asigurând protecția împotriva apelor subterane și spațiile necesare vizitării și eventualei înlocuiri a izolației). Între suprafața plană (orizontală) a suportului și talpa fundației masive, se amplasează izolația antivibratorie (izolatori sau straturi elastice). Soluțiile realizate sunt :

**a) fundații masive cu suprafețele laterale libere.** Se execută :

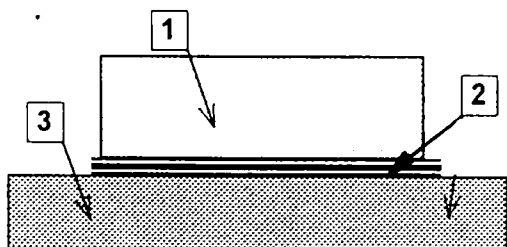


Fig. 3.4 Fundație pe strat elastic

**a 1 fundații masive pe straturi elastice** - procedeul se aplică la realizarea unor fundații pentru echipamente mici (de ex. pompe), amplasate pe planșee (sau pe radierele cuvelor). În fig. 3.4 avem:

1. Fundație masivă.
2. Strat (pătură) elastică.
3. Suport (planșeu din beton armat, radier din beton armat, pardoseală)

**a 2 fundații masive pe izolatori** - procedeul se aplică la realizarea unor fundații pentru mașini mari, producătoare de vibrații importante. Izolatorii montați sunt fie casete cu arcuri (cu sau fără amortizoare) fie izolatori speciali din materiale elastice. În fig. 3.5 este prezentat detaliul de principiu de realizare, în care avem :

1. Fundație masivă.
2. Izolator elastic.
3. Suport (cuvă) de protecție.

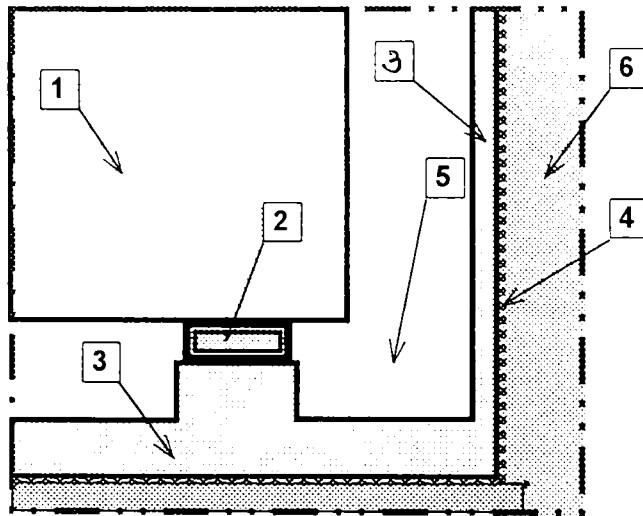


Fig. 3.5 Fundație pe izolatori elastici în cuvă de protecție

4. Hidroizolație împotriva apelor subterane (de acumulare).
5. Spațiu de protecție (vizitare)
6. Umpluturi laterale

Procedul, prezentat în figura 3.5, este utilizat pentru realizarea fundațiilor masive pentru mori ventilator, fundate sub cazan (peste fundațiile cazanului), în subsolul sălii cazane, pentru fundarea unor grupuri Diesel rapide, etc.

Un alt mod de amplasare a fundației de mașină a izolației antivibratorii unor mașini mari, amplasate în special pe planșee tehnologice este cel din fig. 3.6, de suspendare pe casete de arcuri. Se prezintă detaliul de principiu de izolarea antivibratorie a fundației masive suspendate a unui grup Diesel, amplasată pe planșeul cotei 0.00 m. din sala turbogeneratorului (sala mașini).

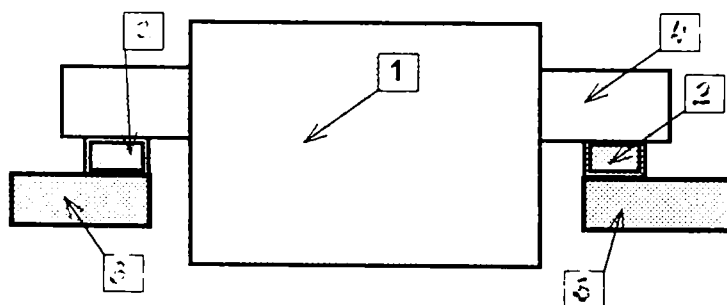


Fig. 3.6 Fundație masivă suspendată

1. Fundație masivă suspendată.
2. Casetă cu arcuri.
3. Planșeu de susținere.
4. Consolă din fundația masivă.

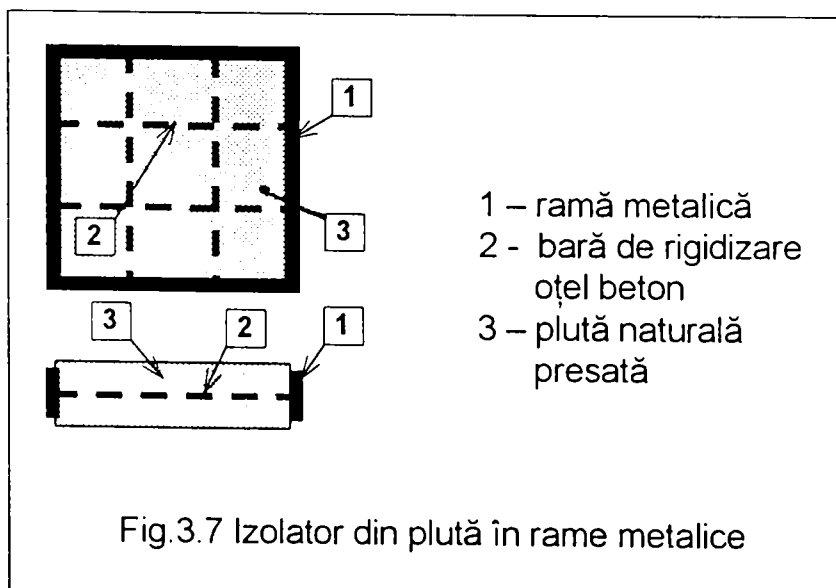


Fig. 3.7 Izolator din plută în rame metalice

Obișnuit, pentru fundațiile masive de mașini mari sunt utilizați izolatori fabricați din plută naturală măcinată aglomerată cu bitum și presată în rame metalice. Detaliul pentru un astfel de izolator utilizat este redat în fig. 3.7.

**b) Fundatii executate cu umpluturi laterale.** Procedul se aplică curent, utilizând proprietățile favorizate ale umpluturilor laterale în comportarea la vibrații a fundațiilor masive.

Se găsesc executate (în exploatare cu bune rezultate) :

**b1) Fundatii pe izolatori elastici.** în care

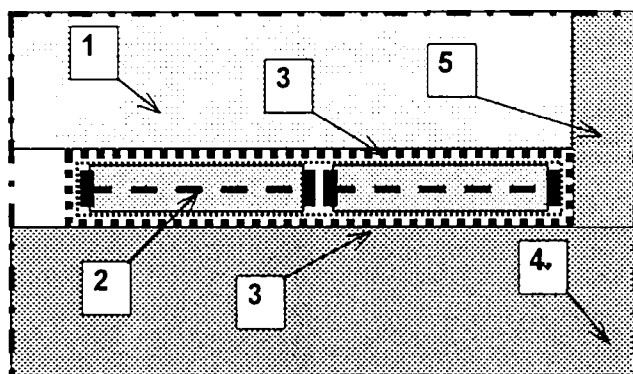


Fig. 3.8 Fundație masivă cu umpluturi laterale pe izolatori elastici

- 1 - fundație masivă.
- 2 - izolator, plută în ramă metalică
- 3 - hidroizolație locală.
- 4 - bloc de infras'ruc'ură (înglo' ân ' și eventuale fundații cu solicitări statice din amplasament.
- 5 - umplură laterală

**b2) Fundații pe un strat de nisip uscat, hidroizolat.**

Între blocul fundației masive și blocul de infrastructură (care poate îngloba și fundații cu solicitări statice), se interpune un strat de nisip uscat, hidroizolat, realizat într-o cuvă de protecție.

Detaliul, prezentat în fig.3.9, este aplicat la fundații masive (mori, ventilatoare) precum și sub radierul fundațiilor

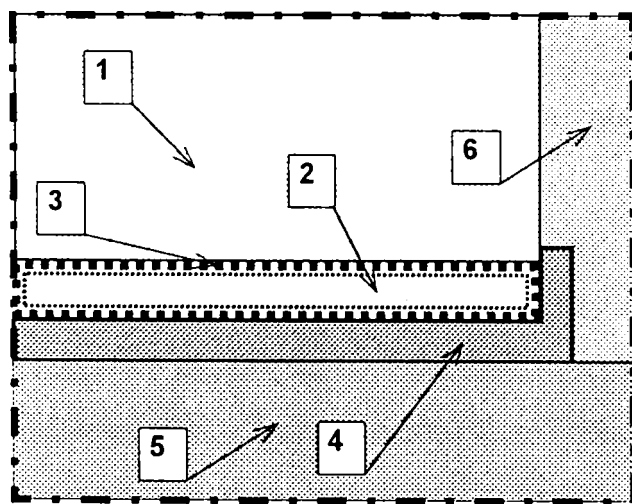


Fig. 3.9 Fundații masive pe strat de nisip uscat hidroizolat

.....c. p..... g.....e, în situația când terenul de fundare este foarte tare (constituit din marnă), pentru "înmuierarea rezemării".

În detaliu sunt arătate :

- 1. Fundația masivă.
- 2. Strat de nisip uscat compactat
- 3. Hidroizolație.
- 4. C..... p.....
- 5. Bloc de infrastructură.
- 6. Umplură laterală.

**c) Fundații pe / în perne elastice executate din materiale granulare (balast natural) compactat.** Metoda s-a aplicat la fundarea ventilatoarelor amplasate în zona de "spate cazan" a centralei. Această zonă este caracterizată de o foarte mare densitate de fundații cu solicitări statice importante, clădiri tehnologice, gospodărie subterană și fundația coșului de fum. Pentru realizarea fundațiilor masive de mașini sau aplicat două metode :



**c1) Fundarea pe perne elastice din materiale granulare executate în incinte de sprijin** Metoda s-a aplicat în situația unor terenuri de fundare foarte proaste, (terenuri contractile, mârloase, umpluturi cu o consolidare neomogenă). Metoda realizează presiuni reduse la nivelul de rezemare a pernei din material granular compactat (balast natural) pe terenul natural, asigurând amortizarea cerută pentru nivelul de vibrații în exploatare. În Fig. 3.10 se prezintă detalii de realizare (de principiu) utilizate pentru această soluție

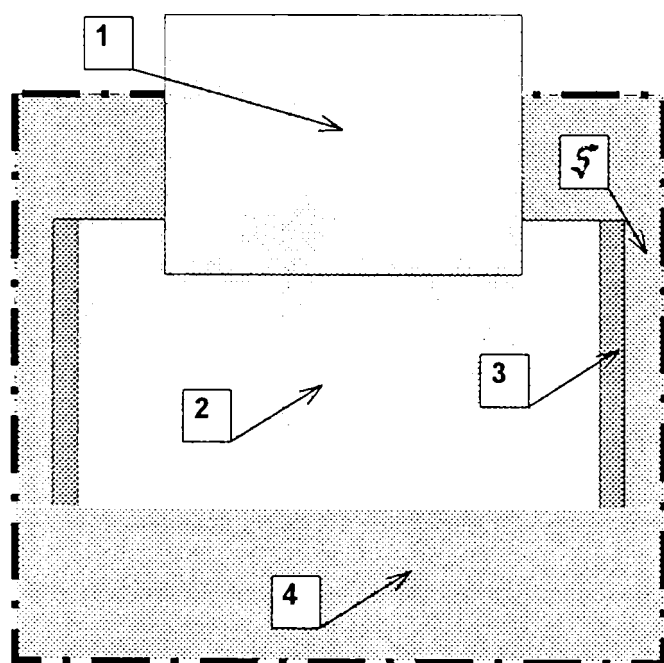


Fig. 3.10 Fundare pe perne elastice realizate în incinte de sprijin

- 1 – fundație masivă de mașină
- 2 – pernă elastică din balast natural compactat.
- 3 – incintă de sprijin a pernei elastice din balast natural compactat.
- 4 – teren slab de fundare.
- 5 – umpluturi laterale.

**c2) Fundarea în perne elastice din balast executate înfrățit cu celelalte umpluturi cu teren natural din zonă.**

Procedeeul s-a aplicat la realizarea fundațiilor masive pentru ventilatoarele de gaze arse și de aer,

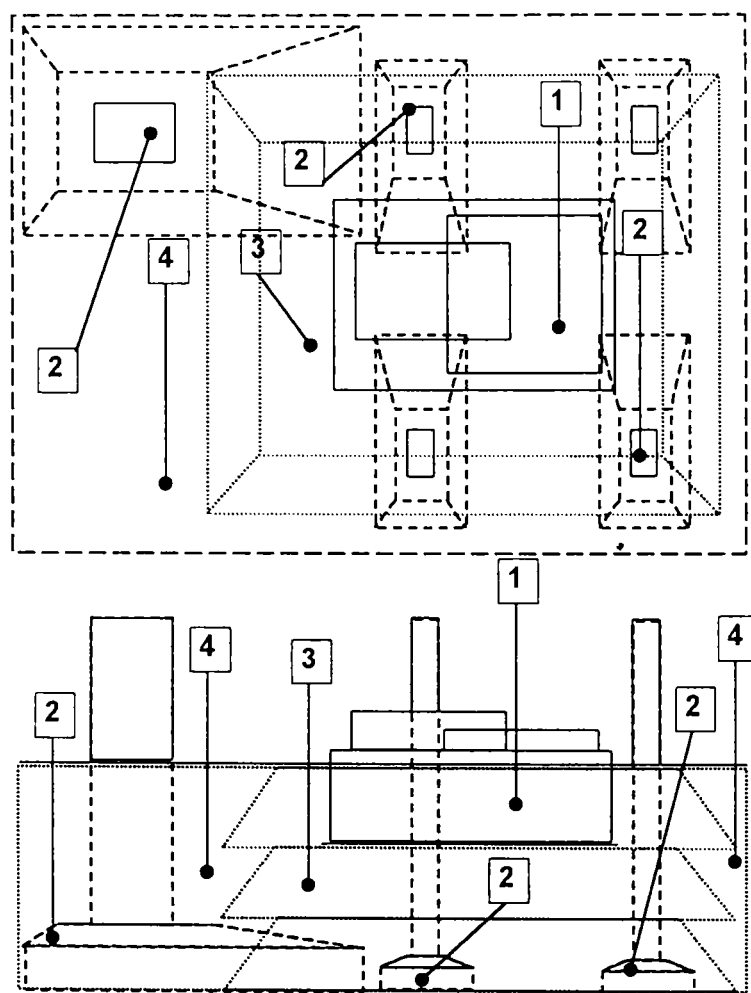
amplasate în zona de "spate cazan" a instalației termoenergetice.

Specific procedeeului este executarea umpluturilor în urma săpăturilor generale (necesare executării fundațiilor cu solicitări statice și gospodăriei tehnologice existente în zonă), concomitent (prin procedeeul denumit "înfrățit") cu executarea pernei elastice din balast natural compactat.

Perna elastică din balast natural compactat poate îngloba și fundații cu solicitări statice sau gospodăria tehnologică subterană existentă pe amplasament. Fundația masivă, se execută de la o anumită cotă de nivel a execuției pernei elastice. După terminarea lucrărilor de realizare a fundației masive, aceasta se încastrează în această pernă elastică (care se execută până la cota finală – cota terenului amenajat). Fundația beneficiază în exploatare de efectul favorizant al umpluturilor laterale (de reducerea a nivelului de vibrații).

Procedeeul este brevetat ca invenție prin Brevetul OSIM nr. **RO 97466**, înregistrat de autorul prezentei teze.

În fig. 3.11 sunt arătate detalii de principiu pentru realizare.



1. Fundație masivă de mașină.
2. Fundație cu solicitare statică.
3. Pernă elastică din balast natural
4. Umplutură din teren natural executată "înfrățit" cu perna elastică din balast natural compactat.

Procedeul va fi tratat în detaliu într-un capitol următor din teză.

Fig. 3.11 fundație masivă în pernă elastică din balast natural compactat, executată înfrățit cu restul umpluturilor

#### Cap.4 Obiectul tezei de doctorat.

Obiectul tezei de doctorat s-a conturat urmare preocupărilor autorului în simplificarea tehnică, eficientizarea economică și îmbunătățirii soluțiilor practicate la fundarea unor mașini mari din compunerea echipamentelor instalațiilor termoenergetice.

În condițiile tehnologiilor moderne, în urma creșterii capacităților cazanelor termoenergetice, gradul de ocupare al amplasamentului crește foarte mult prin redimensionarea echipamentelor componente la gabarite mult mai mari, prin scurtarea liniilor de flux tehnologic (reducerea pierderilor).

Soluțiile practicate (aplicate) la fundarea mașinilor mari sunt fundații masive de mașini realizate subacordat și rezemate prin izolații active antivibratorii pe alte elemente de fundare. Aceste soluții de realizare înglobează un mare volum de investiții și de lucrări de înaltă tehnicitate.

S-a născut ideea fundării mașinilor mari într-o nouă soluție, *fundarea în perne elastice din balast natural compactat* (executate organizat), soluție de fundare similară cu soluțiile de utilizare pentru realizarea fundațiilor cu solicitari statice în cazul unor terenuri foarte slabe de fundare.

Prin lucrare se vor aborda următoarele aspecte :

1) O trecere în revistă a soluțiilor aplicate la fundarea mașinilor mari, specifice, componente ale instalațiilor termoenergetice.

2) Definirea modelului matematic de calcul, descrierea metodelor aplicate pentru efectuarea calculelor de dinamică necesare pentru determinarea frecvențelor proprii și amplitudinilor mișcării în cazul fundațiilor masive de mașini.

3) Prezentarea caracteristicilor mecanice și de amortizare a vibrațiilor pentru materialele utilizate la realizarea fundațiilor de mașini precum și a unor elemente de dinamică a solurilor, necesare efectuării calculelor.

4) Prezentarea procedurii de fundare directă pe / în perne elastice din balast natural compactat. Se prezintă recomandări constructive necesare aplicării procedurii, concluzii la aplicarea procedurii în urma analizei rezultatelor măsurărilor reale și a

---

urmăririi comportării în timp a unor fundații masive de mașini mari executate în acest procedeu.

5) Se vor prezenta criteriile de apreciere a defectelor fundațiilor masive de mașini mari precum și criteriile necesare de a fi realizate la remodelarea unor fundații masive de mașini (în situația înlocuirii utilajului amplasat pe fundația existentă). Se prezintă un caz concret de consolidare a unei fundații masive de mașini.

6) În finalul lucrării, se vor prezenta concluzii finale asupra metodei de fundare descrise, pentru realizarea practică acestuia.

## 5 Dinamica sistemului mașină - fundație - suport , metode de calcul.

Studiul interacțiunii între complexul mașină – fundație, producător de vibrații în exploatare, și sol, determină în ultimă instanță cunoașterea elementelor definitorii ale mișcării vibratorii:

- frecvențele proprii ale mișcării.
- deplasările (amplitudinile) mișcării, pentru regimul de exploatare și la rezonanță, sub efectul solicitărilor dinamice maxime produse în exploatare.

Practica proiectării unor fundații masive a căror exploatare să confere toate garanțiile de siguranță și stabilitate, a condus la dezvoltarea a două principale metode de calcul, diferențiate în principal prin aprecierea calităților elastice ale solurilor împreună cu complexitatea aparatului matematic utilizat în rezolvarea problemei, a echipamentului electronic disponibil (necesar) pentru efectuarea calculelor.

Marea varietate de factori care condiționează rezolvarea problemei a avut o deosebită influență în rezolvarea acesteia. Determinarea cu precizie a caracteristicilor fizice și comportării elastice a solurilor prin studiile și cercetările efectuate la nivelul ultimilor ani a fost la rândul ei o altă condiție de prim factor în rezolvarea problemelor puse.

Abordarea rezolvării problemei s-a conturat în principal prin două metode de calcul :

- **metoda coeficienților elastici dinamici ai solului**, dezvoltată și aplicată cu precădere la nivel european, bazată pe cercetările unui mare număr de specialiști germani și ruși.

- **metoda semispațiului elastic**, dezvoltată în special în America și utilizată cu precădere și în spațiul de influență anglofonă.

**5.1 Model de calcul.** Schematizarea inginerescă a ansamblului mașină - fundație, având o masă în oscilație (bazată pe modelul dinamic masă – arc – amortizor), definit prin :

- **caracteristici statice** : geometrie, rigidități statice, rezemări și legături pe/cu suportul, acțiuni statice exterioare, etc.

- caracteristici dinamice mase, rigidități dinamice, pulsații proprii, elasticități, amortizări, acțiuni perturbatoare dinamice exterioare.

- alte efecte : efectul împiedecării deplasărilor pe anumite direcții, efectul umpluturilor laterale, efectul masei covibrante a suportului (solului), efecte ale temperaturii (dilatări – contractii), efecte seismice, etc.

Modelul de calcul impune stabilirea unui sistem principal de axe de coordonate cu raortarea tuturor datelor la acesta.

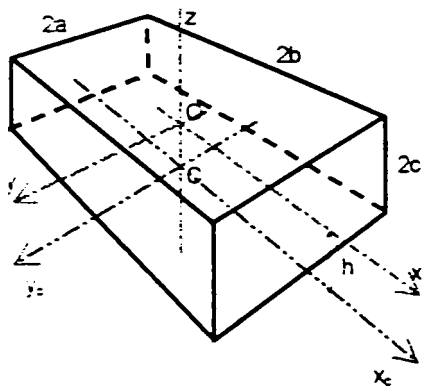


Fig.5.1 Model de calcul

Modelul de calcul descris, constituit în cazul fundațiilor masive de mașini mari după detaliile din Fig.5.1 conduce la un sistem având 6 grade de libertate dinamică.

Analiza modală va urmări acoperirea în întregime a spectrului de pulsații proprii produse de perturbator (mașina funcționând pe fundație), permițând renunțarea (în interpretarea rezultatelor) la efectele modurilor proprii de rang mai înalt, neseemnificative sub aspectul rezonanțelor.

Rezolvarea sistemului de ecuații diferențiale care se formează este dificilă, fiind de preferat utilizarea unor metode de calcul automat (cu ajutorul calculatorului) – modalitate utilizată cu precădere de metoda de calcul a semispatiului elastic (realizând modelarea problemei în element finit și permițând obținerea unor rezultate de o deosebită precizie), sau rezolvând problema în mod algebric, folosind facilitățile oferite de utilizarea simetriei, simplificând problema prin neglijarea efectelor mici (de ordinul doi), utilizând particularitățile de acțiune (numai după anumite planuri sau direcții) ale solicitărilor dinamice, date folosite în metoda de calcul a coeficienților elastici dinamici ai solului.

Facilitățile de efectuare a calculelor, rapiditatea ei de efectuare având asigurată o suficientă precizie a rezultatelor pentru cazurile curente, au condus în ultimii ani la o nouă relansare a metodei de calcul bazate pe coeficienții elastici dinamici ai solului (metoda de calcul europeană).

## 5.2. Metoda coeficienților elastici dinamici ai solului

S-a conturat începând cu 1936, publicată în monografiile publicate de cercetătorii E. Rausch și D.D.Barkan. În lipsa unor cercetări amănunțite asupra dinamicii solurilor, metoda asimilează comportarea solului (prin extindere) cu comportarea elastică a unor izolatori având caracteristici elastice bine definite și verificate experimental. Metoda se bazează pe ipoteza lui Winkler de comportare a solurilor, blocul rigid aflat în translație

Mișcarea de rotație în jurul axului orizontal ( $o - x$ ) și translație în lungul unui axului orizontal ( $o - y$ ) se poate defalca în două componente (conform Fig. 5.3) :

- o translație orizontală în lungul axei ( $o - y$ ), având deplasarea elastică  $\delta$
- o rotație în jurul axului paralel cu axul orizontal ( $o - x$ ) trecând prin centrul elastic al suprafeței de rezemare  $C$ , cu elasticitatea  $\omega$ .

miscarea de translație produce deplasarea  $F\delta_y$  (5.5)

momentul forței  $F_o$  față de centrul elastic  $C$   $M = F_o(h + t)$  (5.6)

având unghiul de rotație

$$\varphi = \dots \varphi_x = F_o \cdot (h + t) \cdot \varphi_x \quad (5.7)$$

și căruia îi corespunde deplasarea orizontală a punctului  $O$  la poziția  $O_1$ :

$$\varphi \cdot h = F_o(h + t)\varphi_x h \quad (5.8)$$

deplasarea totală  $OO_1 = \delta$  va fi :

$$\delta = F_o\delta_y + F_o(h + t)\varphi_x h \quad (5.9)$$

deplasarea datorată unei forțe  $F_o = 1$ , aplicată în punctul  $R$ , va fi :

$$\frac{\delta}{F_o} = \delta_y + t \cdot h \cdot \varphi_x + h^2 \cdot \varphi_x \quad (5.10)$$

putem considera că deplasarea  $\delta$  rezultă numai din rotirea cu unghiul  $\omega$  în jurul punctului  $S$ . vom avea :

$$\delta = d\varphi = d \cdot F_o(t + h)\varphi_x. \quad \text{Împărțim cu } F_o: \quad \frac{\delta}{F_o} = t \cdot d \cdot \varphi_x + h \cdot d \cdot \varphi_x \quad (5.11)$$

egalând relațiile (5.10) cu (5.11) și împărțind cu  $\omega_x$ , obținem :

$$\frac{\delta_x}{F_o} + t \cdot h + h^2 = t \cdot d + h \cdot d \quad (5.12)$$

Pe considerente de vibrații, mișcarea oscilatorie în jurul punctului  $S$  se poate considera ca fiind compusă dintr-o translație în lungul axului  $o - x$  și o rotație în jurul centrului de greutate  $O$ , ambele având aceeași pulsație. Forța exterioară care se opune mișcării va fi de valoarea  $K_x \delta$ , de variabilă  $\delta$ . Ecuația mișcării oscilatorii de translație va fi :

$$m \cdot \ddot{\delta} = -K_y \cdot \delta \quad \text{având pulsația proprie} \quad p_y^2 = \frac{K_y}{m} \quad (5.13)$$

Ecuația mișcării de rotație se scrie în considerentele că în situația de echilibru vom avea egalitate între forța de acțiune și reacțiunea elastică, și, la fel, echilibru între momentul

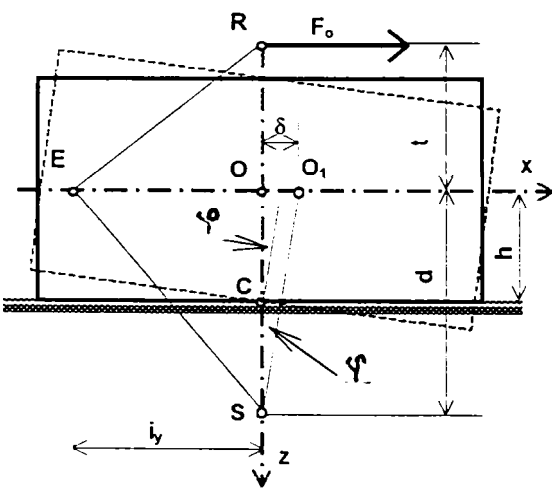


Fig. 5.4

rezistent  $M_r$  (datorat forțelor elastice și momentului de răsturnare al greutatei  $G$ ) și momentul forței  $F_c$  față de punctul  $O$ .

$$F_c - K_y = 0 ; F_c t - M_r = 0 ; M_r = F_c t = K_y \delta t \quad (5.14)$$

$$M_r = F_c t = K_y \delta t \quad (5.15)$$

Dacă forța exterioară dinamică  $F_c$  dispare brusc, se produc oscilații de rotire în jurul axei  $o - x$  datorite momentului  $M_r$  conform ecuației :

$$J\ddot{\varphi} = -M_r = -K_y \cdot \delta \cdot t \quad (5.16) \quad \text{ținând cont de relația } \delta = d \omega$$

derivată de două ori în raport cu timpul, vom avea  $\ddot{\varphi} = \frac{1}{d} \ddot{\delta}$  (5.17)

Ecuația mișcării de rotație devine :

$$\frac{J}{d} \ddot{\delta} + K_y \cdot t \cdot \delta = 0 \quad \text{având pulsația proprie } p_\varphi^2 = \frac{K_y \cdot t \cdot d}{J} \quad (5.18)$$

Egalând cele două relații a pulsațiilor proprii, (5.13) și (5.18), vom avea :

$$\frac{K_y}{m} = \frac{K_y \cdot t \cdot d}{J} \quad \text{respectiv,} \quad t \cdot d = \frac{J}{m} = i_x^2 \quad (5.19)$$

eliminăm mărimea  $t$  din sistemul de ecuații (5.12) și (5.19), substituim  $t = \frac{i_x^2}{d}$

ecuația (5.12) devine :

$$\frac{\delta_y}{\varphi_x} + \frac{i_x^2 \cdot h}{d} + h^2 = i_x^2 + h \cdot d \quad \text{sau,} \quad d^2 - \frac{\delta_y + h^2 - i_x^2}{h} \cdot d - i_x^2 = 0 \quad (5.20)$$

Rezolvarea ecuației ne va da rădăcinile :

$$d_{1,2} = d_0 \pm \sqrt{d_0^2 + i_x^2} \quad (5.21)$$

în care s-a notat pentru simplificare :

$$d_0 = \frac{\delta_y + h^2 - i_x^2}{2 \cdot h} \quad (5.22)$$

Luând în considerare relațiile :  $K_y = \frac{1}{\delta_y}$  și  $K_\varphi = \frac{1}{\varphi_x}$  (5.23)

expresia lui  $d_0$  se mai poate scrie :

$$d_0 = \frac{i_{cy}^2 \frac{K_\varphi}{K_y} + h^2 - i_x^2}{2 \cdot h} \quad (5.24)$$

Conform ecuației (5.20), produsul rădăcinilor va fi  $d_1 \cdot d_2 = -i_x^2$  (5.25)



Dacă în sistemul ecuațiilor (5.12) și (5.19) se elimină  $d = \frac{i_x^2}{t}$  (5.26)

se găsește ecuația de gradul doi :

$$t^2 - \frac{\frac{\delta_y}{\varphi_x} + h^2 - i_x^2}{h} \cdot t - i_x^2 = 0 \quad (5.27)$$

a cărei rădăcini vor fi :

$$t_{1,2} = d_0 \pm \sqrt{d_0^2 + i_x^2} \quad (5.28)$$

și în care  $d_0$  este același cu cel determinat anterior în relația (5.22) sau (5.24)

rezultă de aici că :  $d_1 = -t_2$  și  $d_2 = -t_1$  (5.29)

adică punctele **R** și **S** sunt chiar cei

doi poli ai oscilațiilor proprii. În baza formulei

(5.4), distanța  $i_x$  este media proporțională între  $d_1$  și  $d_2$ , segmentele **ER** și **ES** din Fig.5.4 fiind perpendiculare. Concluzia

este că excitând un impuls în unul dintre poli, **R** de exemplu, acesta produce oscilații de rotație în jurul polului **S** și reciproc. Această constatare permite

înlocuirea greutății sistemului **G** cu două greutăți **G<sub>1</sub>** și **G<sub>2</sub>** ca în Fig. 5.5, valorile

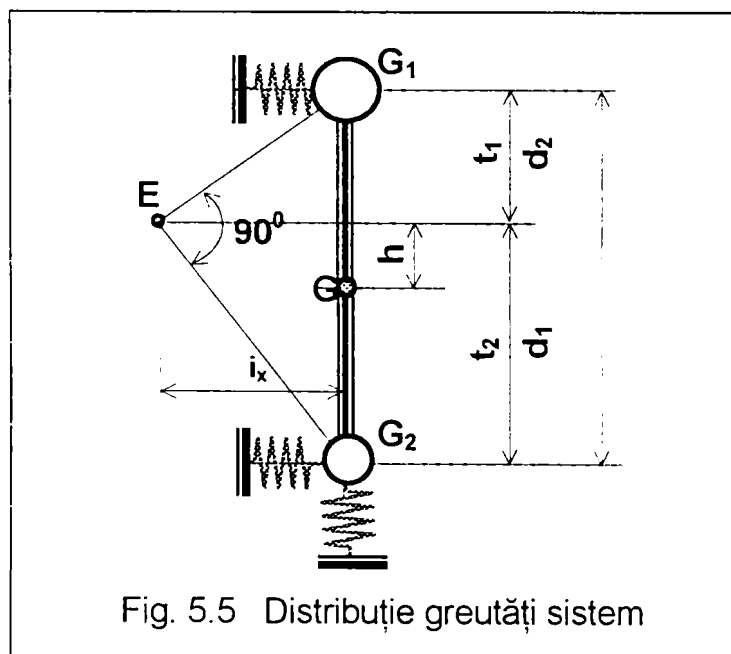


Fig. 5.5 Distribuție greutatei sistem

acestora determinându-se din ecuațiile de momente :

$$G_1 = G \cdot \frac{d_1}{d_1 + d_2} = G \frac{t_2}{t_1 + t_2} \quad G_2 = G \cdot \frac{d_2}{d_1 + d_2} = G \frac{t_1}{t_1 + t_2} \quad (5.30)$$

În formulele (5.30) și următoarele distanțele  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $t_1$  și  $t_2$  se consideră în valoare absolută. Faptul ca din formulele (5.21) și (5.28) rezultă cu semne contrarii are semnificația că polii sunt de o parte sau alte a punctului **O**. Realizând reducerea din Fig.5.5 se obțin de fapt două sisteme cu un grad de libertate dinamic, fie că oscilează greutatea **G<sub>1</sub>** în jurul polului **G<sub>2</sub>** fie greutatea **G<sub>1</sub>** în jurul polului **G<sub>1</sub>**.

Pentru a calcula deplasarea orizontală  $\delta_1$  a greutății **G<sub>1</sub>** se presupune că forța acționează orizontal și se aplică un raționament similar deducerii relației (5.10). Vom avea:

$$\delta_1 = G_1 \cdot \delta_y + G_1(t_1 + h)\varphi_x(t_1 + h) = G_1[\delta_y + (t_1 + h)^2 \varphi_x] \quad (5.31)$$

$$\delta_2 = G_2[\delta_y + (t_2 - h)^2 \varphi_x] \quad (5.32)$$

Aceste deplasări pot fi scrise după o serie de transformări, ca și :

$$\delta_1 = \frac{G}{K_y} \cdot \frac{t_2}{t_2 - h} ; \quad \delta_2 = \frac{G}{K_y} \cdot \frac{t_1}{t_1 - h} \quad (5.33)$$

Și analog relațiilor (5.3) și (5.4), se determină frecvențele (pulsatiile) proprii :

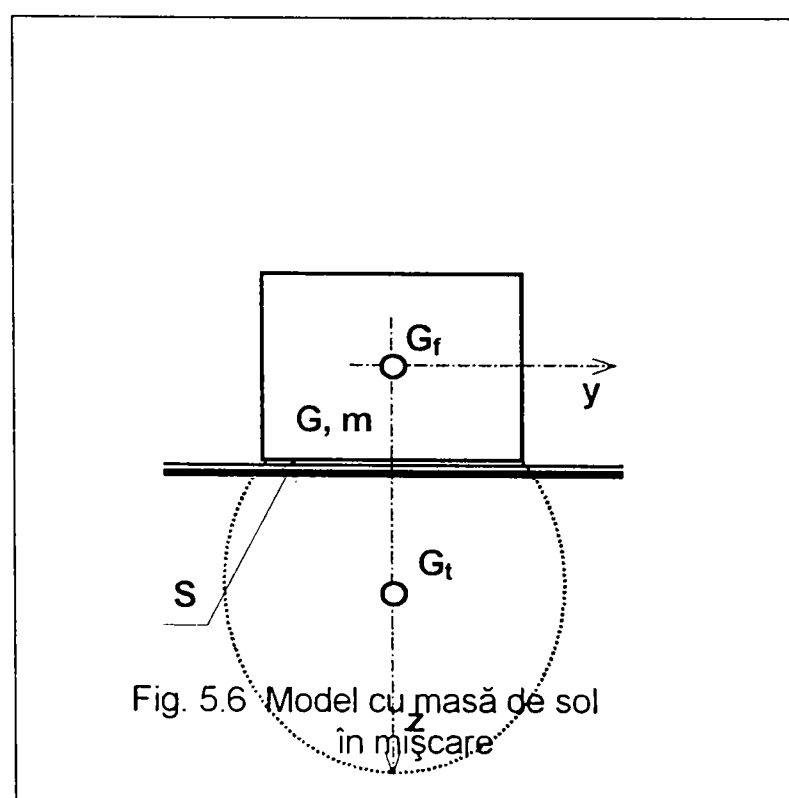
$$n_1 = \frac{300}{\sqrt{\delta_1}} ; \quad n_2 = \frac{300}{\sqrt{\delta_2}} ; \quad \text{pulsatii proprii} \quad (p_{\varphi 1} = \frac{10 \cdot \pi}{\sqrt{\delta_1}} ; \quad p_{\varphi 2} = \frac{10 \cdot \pi}{\sqrt{\delta_1}}) \quad (5.34)$$

### 5.2.2. Metoda rusească.

Dezvoltată în deceniul 4 de cercetători ruși, pleacă de pe aceleași principii. Matematic metoda rezolva sistemele de ecuații diferențiale ale tipurilor de mișcări, pentru pulsații proprii ca vibrații libere ne amortizate, determinarea amplitudinilor făcându-se cu considerarea amortizărilor terenului. Modul de rezolvare, deducerea formulelor de calcul este prezentată în Cap.2 din prezenta lucrare.

Formulele practice de calcul sunt redată în Tab.5.1/1, Tab.5.1/2 și Tab.5.1/3 din prezenta. În baza acestei metode, în Rusia a fost întocmit unul din primele coduri de proiectare în specialitate , Codul TU 60 – 49, cod preluat și de alte coduri naționale de proiectare în specialitate.

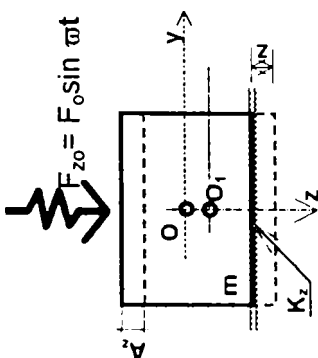
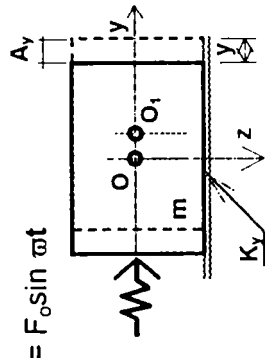
Programul de calcul automat al fundațiilor masive de mașini cuprins în anexa la prezenta lucrare, este întocmit în baza formulelor de calcul din Tab.5.1 prezentat, fiind exploatat cu bune rezultate la lucrări proiectate pentru energetică, în ISPE sucursala Timișoara.

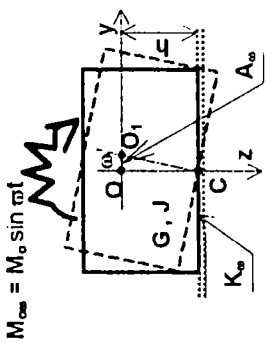
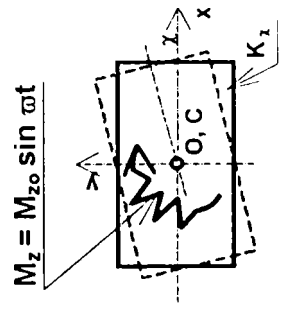


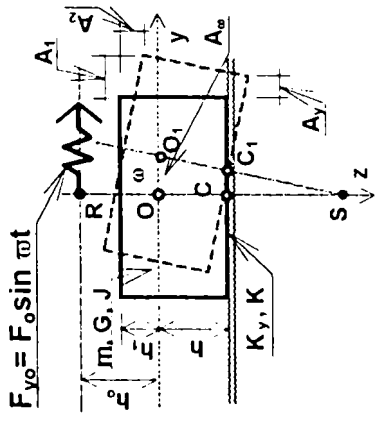
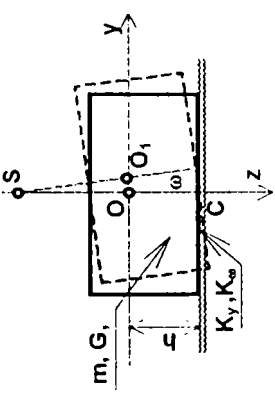
### 5.2.3. Modelul cu masă de sol în mișcare.

Bazată pe constatarea că prin proprietățile elastice și de amortizare solul participă la mișcarea vibratorie și prin masa sa, mai mulți cercetători au încercat să determine volumul acestei mase de sol în vibrație solidară cu fundația. În baza cercetărilor, Lorenz propune pentru determinarea pulsațiilor proprii verticale relația:

$$p_z^* = \sqrt{\frac{K_z \cdot g}{G_f + G_t}} \quad (5.66)$$

formule pentru calcul		amplitudinilor mișcării	
tip solicitare	pulsațiilor proprii		
<p>translație verticală în lungul axului <math>o - z</math></p>  <p><math>F_{z0} = F_0 \sin \omega t</math></p>	<p>ecuația diferențială a mișcării</p> $m \cdot \ddot{z} + K_z \cdot z = 0 \quad (5.35)$ <p>sau</p> $m \cdot \ddot{z} + p_z^2 \cdot z = 0 \quad (5.36)$	<p>amplitudinea mișcării este :</p> $A_z = \frac{F_{z0}}{K_z - m\omega^2} = \frac{F_{z0}}{m(p_z^2 - \omega^2)} = \frac{F_{z0}}{K_z} \eta_z \quad (5.38)$ <p>coeficientul de amplificare dinamic <math>\eta_z</math>: <math>\eta_z = \frac{1}{1 - \frac{\omega^2}{p_z^2}} \quad (5.39)</math></p>	
<p>translație orizontală în lungul axului <math>o - y</math></p>  <p><math>F_{y0} = F_0 \sin \omega t</math></p>	<p>ecuația diferențială a mișcării</p> $m \cdot \ddot{y} + K_y \cdot y = 0 \quad (5.38)$ <p>sau</p> $m \cdot \ddot{y} + p_y^2 \cdot y = 0 \quad (5.39)$	<p>amplitudinea mișcării este :</p> $A_y = \frac{F_{y0}}{K_y - m\omega^2} = \frac{F_{y0}}{m(p_y^2 - \omega^2)} = \frac{F_{y0}}{K_y} \eta_y \quad (5.41)$ <p>coeficientul de amplificare dinamic <math>\eta_y</math>: <math>\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{\omega^2}{p_y^2}} \quad (5.42)</math></p>	
	<p>pulsația proprie a oscilațiilor verticale de translație este :</p> $p_z = \sqrt{\frac{K_z}{m}} \quad (5.37)$		
	<p>pulsația proprie a oscilațiilor verticale de translație este :</p> $p_y = \sqrt{\frac{K_y}{m}} \quad (5.40)$		

formule pentru calcul	
tip solicitare	calculul pulsațiilor proprii
<p>rotație în jurul axului orizontal (0 - X)</p>  <p><math>M_{0\omega} = M_0 \sin \omega t</math></p>	<p>calculul amplitudinilor mișcării</p> $J_c \cdot \ddot{\varphi} + (K_\varphi - G \cdot h) = 0 \quad (5.43)$ $\ddot{\varphi} + p_\varphi^2 \cdot \varphi = 0 \quad (5.44)$ $J\ddot{\varphi} + (K_\varphi - G \cdot h)\varphi = M_0 \sin \omega t \quad (5.44a)$ <p>amplitudinea mișcării este :</p> $A_\varphi = \frac{M_0}{J_c(p_\varphi^2 - \omega^2)} \approx \frac{M_0}{K_\varphi - J_c \omega^2} \approx \frac{M_0}{K_\varphi} \eta_\varphi \quad (5.46)$ <p>coeficientul de amplificare dinamic <math>\eta_\varphi</math>: <math>\eta_\varphi = \frac{1}{1 - \frac{\omega^2}{p_\varphi^2}} \quad (5.47)</math></p> <p>pulsația proprie a oscilațiilor orizontale de rotație este :</p> $p_\varphi = \sqrt{\frac{K_\varphi - G \cdot h}{J_c}} \approx \sqrt{\frac{K_\varphi}{J_c}} \quad (5.45)$ $J_c = J + m \cdot h^2 \quad (5.45a)$
<p>rotație orizontală în jurul axului vertical 0 - z</p>  <p><math>M_z = M_{z0} \sin \omega t</math></p>	<p>calculul pulsațiilor proprii</p> $J_{cz} \cdot \ddot{\psi} + K_\psi \psi = 0 \quad (5.48)$ <p>sau</p> $\ddot{\psi} + p_\psi^2 \cdot \psi = 0 \quad (5.49)$ <p>amplitudinea mișcării este :</p> $A_\psi = \frac{M_{z0}}{J_z \cdot (p_\psi^2 - \omega^2)} = \frac{M_{z0}}{K_\psi - J \cdot \omega^2} = \frac{M_{z0}}{K_\psi} \eta_\psi \quad (5.51)$ <p>coeficientul de amplificare dinamic <math>\eta_\psi</math>: <math>\eta_\psi = \frac{1}{1 - \frac{\omega^2}{p_\psi^2}} \quad (5.52)</math></p> <p>pulsația proprie a oscilațiilor orizontale de răsucire este :</p> $p_\psi = \sqrt{\frac{K_\psi}{J_z}} \quad (5.50)$ <p><math>J_z</math> moment de inerție masiv față de axa 0 - z în punctul elastic C al suprafeței de rezemare</p>

tip solicitare	pulsațiilor proprii	amplitudinilor mișcării
<p>rotații în jurul axului orizontal o - x                      translații în lungul axului orizontal o - y</p>  <p><math>F_{y0} = F_0 \sin \omega t</math></p> <p>pulsații proprii <math>p_1</math></p>  <p>pulsații proprii <math>p_2</math></p>	<p>sistemul de ecuații diferențiale a mișcării :</p> $m \cdot \ddot{y} + K_y \cdot y - K_y \cdot h \cdot \varphi = 0 \quad (5.53)$ $J \ddot{\varphi} - K_y \cdot h \cdot y + (K_\varphi - G \cdot h + K_y \cdot h^2) \cdot \varphi = 0 \quad (5.54)$ <p>ecuația pentru pulsațiile proprii este :</p> $K_y h^2 + (K_\varphi - Gh + K_y h^2 - J \cdot p^2)(K_y - m \cdot p^2) = 0 \quad (5.55)$ <p>sau</p> $p^4 - \frac{p_\varphi^2 + p_y^2}{\gamma} p^2 + \frac{p_\varphi^2 + p_y^2}{\gamma} = 0 \quad (5.56)$ <p>pulsațiile proprii ale oscilațiilor de pendulare în jurul polilor sunt :</p> $p_{1,2}^2 = \frac{1}{2\gamma} (p_\varphi^2 + p_y^2) \mp \sqrt{(p_\varphi^2 + p_y^2)^2 - 4\gamma p_\varphi^2 p_y^2} \quad (5.57)$ <p>în care :</p> $J_c = J + m \cdot h^2 \quad ; \quad \gamma = \frac{J}{J_c} \quad (5.58)$	<p>sistemul de ecuații diferențiale a mișcării :</p> $m \cdot \ddot{y} + K_y \cdot y - K_y \cdot h \cdot \varphi = F_{oy} \sin \omega t \quad (5.59)$ $J \ddot{\varphi} - K_y \cdot h \cdot y + (K_\varphi - G \cdot h + K_y \cdot h^2) \cdot \varphi = M_{ox} \sin \omega t \quad (5.60)$ <p>unde :</p> $M_{ox} = F_{oy} \cdot h_o \quad (5.61)$ <p>amplitudinile mișcării sunt :</p> $A_y = \frac{(K_\varphi + K_y h^2 - J \omega^2) \cdot F_{oy} + K_y h M_{ox}}{\Delta} \quad (5.62)$ $A_\varphi = \frac{K_y h F_{oy} + (K_y - m \omega^2) M_{ox}}{\Delta} \quad (5.63)$ <p>unde :</p> $\Delta = mJ(p_1^2 - \omega^2) \cdot (p_2^2 - \omega^2) \quad (5.64)$ <p>sau</p> $\Delta = mJ\omega^4 - (K_\varphi m + K_y m h^2 + K_y J)\omega^2 + K_y K_\varphi \quad (5.65)$

in locul relației :

$$p_z = \sqrt{\frac{K_z}{m}} = \sqrt{\frac{C_z S \cdot g}{G_f}} \quad (5.67)$$

- în care :
- $K_z = C_z S$  coeficientul elastic dinamic al rezemării pe sol
  - $G_f$ , greutatea fundației cu mașina
  - $G_t$ , greutatea masei de sol în vibrație solidară cu mașina

Aprecierea masei de sol în vibrație solidară cu mașina s-a făcut de mai mulți cercetători (grupe de cercetare), în literatură găsindu-se publicate valorile :

- $G_t = 10 G_f$  de cercetătorii Hool și Kinne
- $G_t = (0,666 \dots 1.5) G_f$ , de către Barkan
- $G_t = (4 \dots 10) G_f$  de către DEGEBO

Tschbotarioff și Ward analizând problema concluzionează că masa de sol care participă împreună cu fundația în mișcarea vibratorie este direct influențată de suprafața de rezemare, deci de presiunea realizată pe talpa fundației. Se introduce noțiunea de *frecvență redusă a fundației*, dedusă din relația frecvenței fundației, :

$$f = \frac{p^*}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_z S g}{G_f + G_t}} \quad (5.68)$$

se scot de sub radical  $S$  și  $G_f$ , vom avea,

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{G_f}} \cdot \sqrt{\frac{C_z g}{1 + \frac{G_t}{G_f}}} \quad (5.69)$$

primul radical,

$$\sqrt{\frac{S}{G_f}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{G_f}{S}}} = \frac{1}{\sqrt{p_{\text{static}}}} \quad (5.70)$$

reprezintă presiunea statică pe sol realizată sub talpa fundației  
al doilea radical, numit și *frecvența redusă a fundației*, este :

$$f^* = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{C_z g}{\frac{G_t}{G_f}}} \quad (5.70)$$

Cercetările DEGEBO au stabilit că între  $\log f^*$  și  $\log S$  este o legătură liniară, *frecvența redusă*  $f^*$  scăzând pe măsură ce suprafața de rezemare  $S$  crește. Considerând constante  $C_z$ ,  $G_t$ , mărimea masei de sol în mișcare solidară cu fundația crește cu cât suprafața de rezemare va fi mai mare, deci presiunea statică pe talpă mai mică, variind cu suprafața de rezemare.

### 5.3 Metoda semispațiului elastic

Este bazată pe studiile efectuate asupra dinamicii solurilor, studii care relevă comportarea ne elastică a solurilor sub efectul solicitărilor dinamice, evidențiind proprietățile de amortizare ale acestora.

Pornind de la studiile asupra modului de propagare a vibrațiilor prin sol publicate de Lamb, Reissner determină amplitudinea deplasării verticale a unei mase  $m$ , (fundatie rigidă, circulară având raza suprafeței de rezemare  $R$ , de masă  $m$ ) așezată pe un semispațiu elastic având modulul de elasticitate  $G$ , coeficientul de contracție transversală  $\mu$ , densitate  $\rho$ , sub efectul acțiunii unei forțe dinamice armonice  $F_0 \sin \omega t$ .

Amplitudinea  $A_z$  este dată de relația :

$$A_z = \frac{F_0}{GR} \sqrt{\frac{f_1^2 + f_2^2}{(1 + b_0 a_0^2 f_1)^2 + (b_0 a_0^2 f_2)^2}} \quad (5.71)$$

în care s-a notat :

$$\text{- factorul masic,} \quad b_0 = \frac{m}{\rho \cdot R^3} \quad (5.72)$$

- factorul de frecvență,

$$a_0 = \omega^2 R \sqrt{\frac{\rho}{G}} = \frac{\omega R}{v_t} \quad (5.73)$$

- funcții de deplasare  $f_1$  și  $f_2$ , depinzând de  $\mu$  și de  $a_0$ . Aceste funcții au fost calculate de către Reissner și de alți cercetători.

Forța excitatoare  $F(t)$ , poate fi de amplitudine constantă ( $F(t) = F_0 \sin \omega t$ ) sau amplitudine variabilă, ( $F_0 = m r_0 \omega^2$ ) ca atunci când

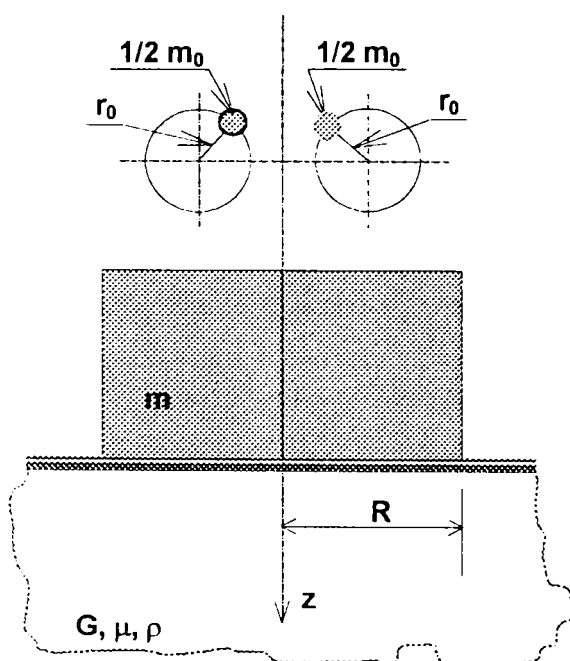


Fig. 5.7 Fundație circulară Reissner

folosim un vibrator ca în Fig.5.8

Unghiul de fază, (între forța excitatoare și deplasare) este dat de relația :

$$\operatorname{tg} \varphi = - \frac{f_2}{f + b_0 a_0^2 (f_1^2 + f_2^2)} \quad (5.74)$$

În extinderea teoriei lui Reissner, mai mulți cercetători au stabilit valori ale factorilor masic și de frecvență precum și a funcțiilor de deplasare  $f$ . Astfel,

Sung, determină valorile factorului de frecvență  $a_0$ , (funcție de  $\mu$  și  $a_0$ ) precum și relațiile de determinare (din relația 5.71) a unor factori de amplificare adimensionali, funcție de tipul forțelor de excitație (de amplitudine constantă sau variabilă).

- amplitudine constantă [  $\mathbf{F}(t) = F_0 \sin \omega t$  ] 
$$A_1 = \frac{A_z}{\frac{F_0}{GR}} \quad (5.75)$$

- amplitudine variabilă [  $\mathbf{F}_0 = m r_0 \omega^2$  ] 
$$A_2 = \frac{A_z}{\frac{m_0 r}{m}} \quad (5.76)$$

Grooteenhuis și Awojobi determină relația pentru calculul pulsației proprii a unei fundații de rază  $R$  și masa  $m$  :

$$p_z = \sqrt{\frac{8GR(1-\beta_1^2)}{m + \rho R^3 \left( 2\beta_1^4 - \frac{8}{3}\beta_1^2 + 2 \right)}} \quad (5.77)$$

în care, 
$$\beta_1^2 = \frac{1-2\mu}{2(1-\mu)} \quad (5.78)$$

la rezonanță, expresia *factorului de frecvență* este,

$$a_0 = \sqrt{\frac{8(1-\beta_1^2)}{b_0 + 2\beta_1^4 - \frac{8}{3}\beta_1^2 + 2}} \quad (5.79)$$

Teoria lui T.K.Hsieh a utilizat teoria semispațiului elastic, stabilind expresia *amortizării geometrice* pentru o placă rigidă, lipsită de masă. Stabilește expresia pentru :

*coeficientul de amortizare geometric*, 
$$c = \frac{R^2}{a_0} \sqrt{\rho G} \cdot \left( \frac{-f_2}{f_1^2 + f_2^2} \right) \quad (5.80)$$

*constante elastice* a solului, 
$$k_z = GR \frac{f_1}{f_1^2 + f_2^2} \quad (5.81)$$

cu aceste constante poate fi exprimată ecuația mișcării masei  $m$  excitată de o forță armonică, ecuația 
$$m\ddot{z} + c\dot{z} + k_z z = F_0 \sin \omega t \quad (5.82)$$

mărimile  $c$  și  $k_z$  nu sunt constante ci funcții de frecvență, (prin  $a_0, f_1$  și  $f_2$ ).

Lysmer și Richart Pentru a elimina efectul constantei de contracție  $\mu$  (Poisson), înlocuieșc funcția de deplasare Reissner  $\mathbf{f} = f_1 + i f_2$ , cu funcția:

$$\mathbf{F} = \frac{4}{1-\mu} \mathbf{f} = F_1 + i \cdot F_2 \quad (5.83)$$

Valorile funcțiilor  $F_1$  și  $F_2$  sunt date în grafice publicate în literatură.

*Factorul masic modificat* 
$$B_0 = \frac{1-\mu}{4} b_0 = \frac{1-\mu}{4} \cdot \frac{m}{\rho \cdot R^3} \quad (5.84)$$

Expresia amplitudinii deplasării (5.71) devine :



- forța de amplitudine constantă [  $F(t) = F_0 \sin \omega t$  ]  $A_z = \frac{(1-\mu)F_0}{4GR} \cdot M$  (5.85)

- forța de amplitudine variabilă, [  $F_0 = m r_0 \omega^2$  ]  $A_z = \frac{m_0 r_0}{m} M_r$  (5.86)

Lysmer și Richart au stabilit și expresiile pentru :

- coeficientul de amortizare geometric  $c = \frac{3.4R^2}{(1-\mu^2)} \cdot \sqrt{\rho \cdot G}$  (5.87)

- constanta elastică a solului  $k_z = \frac{4GR}{(1-\mu^2)}$  (5.88)

introduse în expresia (5.82), ecuația mișcării devine

$$m\ddot{z} + \frac{3.4GR^2}{(1-\mu^2)} \sqrt{\rho \cdot G} \cdot \dot{z} + \frac{4GR}{(1-\mu)} \cdot z = F(t)$$
 (5.89)

Rezolvarea ecuației diferențiale a mișcării se poate face ca și în cele prezentate în Cap.2 , vom obține pentru rezonanță :

- pentru forță de amplitudine constantă, [  $F(t) = F_0 \sin \omega t$  ]

$$A_z = \frac{F_0 \cdot (1-\mu)}{4GR} \cdot \frac{B_0}{0.85\sqrt{B_0 - 0.18}}$$
 (5.90)

- pentru forța de amplitudine variabilă, [  $F(t) = m r_0 \omega^2$  ]

$$A_z = \frac{m_0 r_0}{m} \cdot \frac{B_0}{0.85\sqrt{B_0 - 0.18}}$$
 (5.91)

S-au întreprins cercetări și în cazul fundațiilor cu talpa dreptunghiulară, acestea evidențind faptul că până la un raport al laturilor  $b/a$  egal cu 2 diferențele între deplasările fundațiilor circulare și cele dreptunghiulare sunt foarte mici, deci relațiile deduse anterior se pot aplica cu suficientă precizie.

Pentru vibrațiile verticale, pulsațiile de rezonanță sunt (funcție de forța perturbatoare):

- pentru forță de amplitudine constantă, [  $F(t) = F_0 \sin \omega t$  ]

$$p_z = \frac{v_t}{R} \cdot \frac{\sqrt{B_0 - 0.36}}{B_0}$$
 (5.92)

- pentru forța de amplitudine variabilă, [  $F_0 = m r_0 \omega^2$  ]

$$p_z = \frac{v_t}{R} \cdot \sqrt{\frac{0.9}{B_0 - 0.45}} \tag{5.93}$$

constante elastice și coeficienți de amortizare pentru placa fără masă,  
așezată pe mediu elastic

Tab.5.2

felul mișcării	constante elastice		coeficienți de amortizare geometri	
	adimensionale	dimensionale	adimensionale	dimensionale
translație verticală	$\bar{k}_z = \frac{f_{1z}}{f_{1z}^2 + f_{2z}^2}$	$k_z = Gak_z$	$\bar{c}_z = \frac{-f_{2z}/a_0}{f_{1z}^2 + f_{2z}^2}$	$c_z = a^2 \sqrt{\rho G} \cdot \bar{c}_z$
translație orizontală	$\bar{k}_x = \frac{f_{1x}}{f_{1x}^2 + f_{2x}^2}$	$k_x = Gak_x$	$\bar{c}_x = \frac{-f_{2x}/a_0}{f_{1x}^2 + f_{2x}^2}$	$c_x = a^2 \sqrt{\rho G} \cdot \bar{c}_x$
rotație în jurul unei axe orizontale.	$\bar{k}_\varphi = \frac{f_{1\varphi}}{f_{1\varphi}^2 + f_{2\varphi}^2}$	$k_\varphi = Gak_\varphi$	$\bar{c}_\varphi = \frac{-f_{2\varphi}/a_0}{f_{1\varphi}^2 + f_{2\varphi}^2}$	$c_\varphi = a^2 \sqrt{\rho G} \cdot \bar{c}_\varphi$

Prin literatură, sunt date tabele cu valori pentru aceste *constante elastice*, funcție de tipul de oscilație. Redăm aceasta în

Tab.5.3

mișcare	constanta elastică	autor
<b>Fundații circulare</b>		
translație verticală	$k_z = \frac{4GR}{(1-\mu)}$	Thimoshenko Goodier, 1951
translație orizontală	$k_y = \frac{32(1-\mu)GR}{7-8\mu}$	Bycroft, 1956
rotație în jurul unui ax orizontal	$k_\varphi = \frac{8GR^3}{3(1-\mu)}$	Borowicka, 1943
rotație în jurul unui ax vertical	$k_\psi = \frac{16}{3}GR^3$	Reissner, Sagoci, 1944
<b>Fundații dreptunghiulare</b>		
translație verticală	$k_z = \frac{G}{(1-\mu)}\beta_z \sqrt{a \cdot b}$	Barkan, 1962
translație orizontală	$k_y = \frac{G}{(1-\mu)}\beta_y \sqrt{a \cdot b}$	Barkan, 1962
rotație în jurul unui ax orizontal	$k_\varphi = \frac{G}{(1-\mu)}\beta_\varphi b^2 \sqrt{a \cdot b}$	Gorbunov-Posadov, 1961

Notă : notația utilizată pentru coeficientul de contracție transversală (Poisson)  $\mu$ .

fundații dreptunghiulare, talpa de dimensiuni  $a$  și  $b$ .

Constante elastice și coeficienți de amortizare la fundații rigide sprikâjinite pe semispațiul elastic

Tab.5.4

felul mișcării	ecuația mișcării	const.elastică ptr. bază circulară	rază echivalentă a bazei dreptunghi lare. R	factorul masic modificat	raport de amorti- zare geometric $\xi = c / c_c$	coef. de amortizare geometric	coef. de amortizare total
translație verticală	$m\ddot{z} + c_z\dot{z} + k_z z = F_z(t)$	$k_z = \frac{4GR}{(1-\mu)}$	$R = \sqrt{\frac{4ab}{\pi}}$	$B_z = \frac{(1-\mu)}{4} \cdot \frac{m}{\rho \cdot R^3}$	$\zeta_z = \frac{0.425}{\sqrt{B_z}}$	$c_z = \frac{3.4R^2}{1-\mu} \cdot \sqrt{\rho G}$	$c_z = 2(\zeta_z + \zeta_i) \sqrt{k_z m}$
rotație în jurul unei axe verticale	$J_z\ddot{\psi} + c_\psi\dot{\psi} + k_\psi\psi = M_z(t)$	$k_z = \frac{16}{3} GR$	$R = \sqrt[4]{\frac{16ab(a^2 + b^2)}{6\pi}}$	$B_\psi = \frac{J_z}{\rho R^5}$	$\zeta_\psi = \frac{0.50}{1 + 2B_\psi}$	$c_\psi = \frac{4}{1 + 2B_\psi} \cdot \sqrt{GR^3}$	$c_\psi = 2(\zeta_\psi + \zeta_i) \sqrt{k_\psi m}$
translație orizon- tală	$m\ddot{x} + c_x\dot{x} + k_x x = F_x(t)$	$k_x = \frac{32(1-\mu)GR}{7-8\mu}$	$R = \sqrt{\frac{4ab}{\pi}}$	$B_x = \frac{7-8\mu}{32(1-\mu)} \cdot \frac{m}{\rho R^3}$ $B_x = B_y$	$\zeta_x = \frac{0.288}{\sqrt{B_x}}$ $\zeta_x = \zeta_y$	$c_x = \frac{18.4(1-\mu)}{7-8\mu} \cdot R^2 \sqrt{\rho G}$	$c_x = 2(\zeta_x + \zeta_i) \sqrt{k_x m}$
rotație în jurul unei axe verticale	$J\ddot{\phi} + c_\phi\dot{\phi} + k_\phi\phi = M(t)$ față de axele o - x sau o - y	$k_\phi = \frac{8GR^3}{3(1-\mu)}$ $K_{ox} = K_{oy}$	$R = \sqrt[4]{\frac{16BL^3}{3\pi}}$ 2B dimensiunea în lungul axei de rotație	$B_\phi = \frac{3(1-\mu)}{8} \cdot \frac{J_x}{\rho R^5}$ $J_x = m(\frac{R^2}{4} + \frac{h^2}{3})$	$\zeta_\phi = \frac{0.15}{(1-B_\phi)} \cdot \frac{1}{\sqrt{B_\phi}}$	$c_\phi = \frac{0.8 \cdot R^4}{(1-\mu)} \cdot \frac{\sqrt{\rho G}}{(1+B_\phi)}$	$c_\phi = 2(\zeta_\phi + \zeta_i) \sqrt{k_\phi m}$

#### 5.4 Efectul umpluturilor laterale asupra comportării fundației.

Metodele utilizate presupun că fundația de mașină are contact cu solul numai prin suprafața de reazem, adică talpa fundației.

În realitate, fundația (în general) are contact cu solul și prin suprafețele laterale, efectele acestor "umpluturi laterale" fiind favorizante în comportarea în exploatare.

În calculul constantelor elastice ale rezemării,  $K_z$ ,  $K_x$ ,  $K_\omega$ ,  $K_\chi$  intervin numai mărimile geometrice sau momentele de inerție ale tălpii de fundație, neglijându-se efectele umpluturilor laterale, efecte care sunt cu atât mai importante cu cât fundația masivă este mai adânc îngropată în teren sau în umpluturi executate organizat (controlat), din materiale granulare.

În literatură sunt publicate rezultatele mai multor cercetări în legătură cu acest fenomen, dintre care remarcăm deosebit contribuția inginerilor români la aprecierea efectelor sigure de care se poate ține cont în practica curentă.

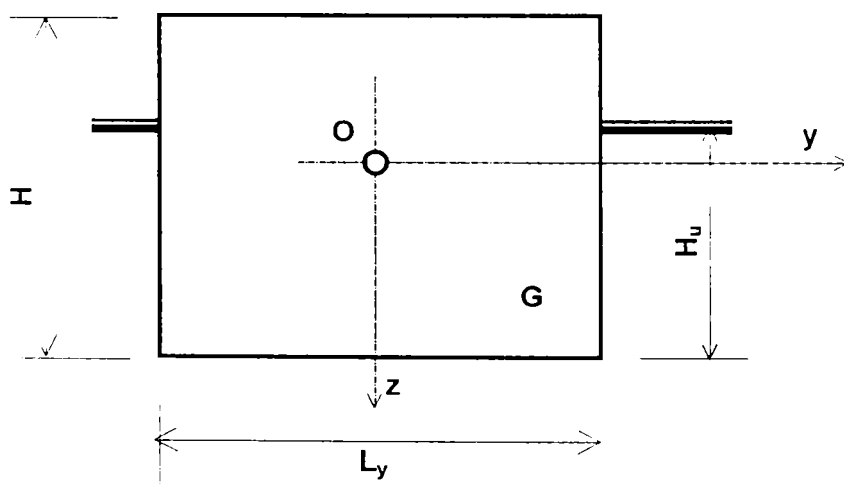


Fig.5.8 Umpluturi laterale

Se propune aplicarea unor *coeficienți de amplificare* a valorilor pulsațiilor proprii și amplitudinilor unghiulare ale mișcării calculate cu metode devenite de acum "clasice" pentru fundația rezemată pe sol (prin talpa fundației). Astfel, valoarea acestor coeficienți propuși de T.Gereb (fost inginer specialist al ISPE) este:

- pentru pulsații proprii ale vibrațiilor în jurul axelor orizontale :

$$\text{- în jurul axului } o - x, \quad u_n = \left\{ 1 + \frac{H_u}{H} \cdot \text{th} \left[ 0.36 \frac{H_u}{L_y} \left( 1 + \frac{G_0}{G_f} \cdot \frac{H \cdot L_x}{L_y^2} \right)^3 \right] \right\} \geq 1 \quad (5.94)$$

$$\text{- în jurul axului } o - y, \quad u_n = \left\{ 1 + \frac{H_u}{H} \cdot \text{th} \left[ 0.36 \frac{H_u}{L_x} \left( 1 + \frac{G_0}{G_f} \cdot \frac{H \cdot L_y}{L_x^2} \right)^3 \right] \right\} \geq 1 \quad (5.95)$$

- pentru amplitudinile orizontale produse de vibrații în jurul unui ax orizontal,

$$\text{- în jurul axului } o - x, u_{\varphi} = \left\{ 1 - \frac{H_u}{H} \cdot \text{th} \left[ 2.00 \cdot \frac{H_u}{L_y} \left( 1 + \frac{G_0}{G_f} \cdot \frac{H \cdot L_x}{L_y^2} \right)^3 \right] \right\} \leq 1 \quad (5.96)$$

$$\text{- în jurul axului } o - y, u_{\varphi} = \left\{ 1 - \frac{H_u}{H} \cdot \text{th} \left[ 2.00 \cdot \frac{H_u}{L_x} \left( 1 + \frac{G_0}{G_f} \cdot \frac{H \cdot L_y}{L_x^2} \right)^3 \right] \right\} \leq 1 \quad (5.97)$$

formulele de calcul ale valorilor finale ale pulsațiilor și amplitudinilor vor fi :

$$\text{- pulsații proprii orizontale,} \quad n'_{\omega} = u_n \cdot n_{\omega} \quad (5.98)$$

$$\text{- amplitudini (deplasări unghiulare),} \quad A'_{\omega} = u_{\omega} \cdot A_{\omega}$$

( 5.99)

În aceste formule, semnificația notațiilor este următoarea :

- $u_n$  ,  $u_{\omega}$  coeficienți de amplificare.
- $H_u$  , Înălțimea umpluturii în jurul fundației (nivel măsurat de la cota tălpii).
- $H$  , Înălțime totală bloc fundație.
- $G$  , Greutate totală fundație cu mașină.
- $G_0$  , Factor de greutate,  $G_0 = 63 \text{ KN}$
- $L_x$  ,  $L_y$  , lungimea tălpii după direcția axelor de coordonate

Experimentele efectuate de către T.Gereb atât pe modele cât și prin măsurători asupra comportării unor fundații mari (cu ocazia efectuării unor lucrări de reparații – modificări) au condus la concluziile :

- pulsația proprie de rotație în jurul unei axe orizontale  $n_{\omega}$  , crește până la o valoare aproape dublă pentru fundația complet îngropată în sol.

- amplitudinile unghiulare (deplasările unghiulare  $\varphi$  ) scad considerabil cu creșterea înălțimii umpluturilor în jurul blocului fundației, ajungând ca pentru o fundație complet îngropată în teren să fie de numai **10%** din valoarea corespunzătoare pentru o fundație ne îngropată.

Într-o variantă mai veche, valorile coeficienților de amplificare s-au propus a se calcula cu relațiile :

$$- u_n = \left[ 1 + 1.25 \cdot \text{th} \left( 2.5 \cdot \frac{\gamma \cdot L \cdot H_u^2}{G} \right) \right] \geq 1 \quad (5.100)$$

$$- u_\varphi = \left[ 1 - 1.00 \cdot \text{th} \left( 2.5 \cdot \frac{\gamma \cdot L \cdot H_u^2}{G} \right) \right] \leq 1 \quad (5.101)$$

valorile rezultatelor calculelor cu relațiile (5.94) respectiv (5.96) considerând că sunt mai aproape de aportul real al umpluturilor laterale.

Efectul umpluturilor laterale este luat în considerare în practica curentă de proiectare din ISPE, (Institutul de Studii și Proiectări Energetice), întocmitorul unui îndrumar de proiectare pentru fundațiile masive de mașini. Efectul considerării acestui fenomen a condus la sporirea eficienței și siguranței în exploatare a fundațiilor masive de mașini proiectate.

După alți cercetători, efectul umpluturilor laterale poate fi luat în considerare împreună cu efectul grosimii stratului elastic finit în care este așezată fundația masivă. După studiile publicate de cercetători americani, în literatură sunt prezentate valori ai unor coeficienți de reducere după cum urmează,

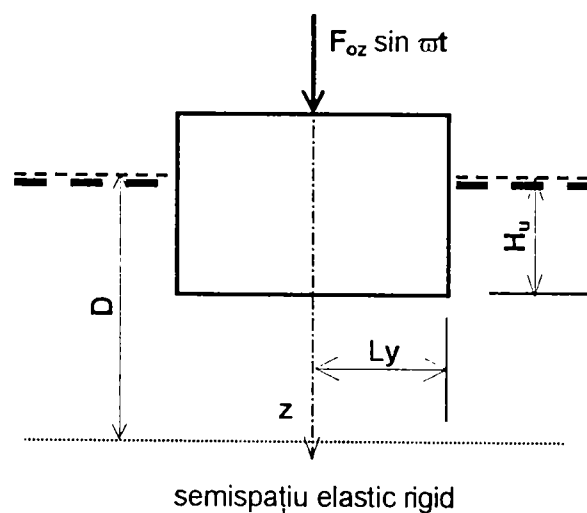


Fig.5.8 Efectul umpluturilor laterale

Spre deosebire de cele spuse până acum, valoarea acestor coeficienți se va lua în considerare la stabilirea coeficienților elastici ai rezemării,  $K_\omega$ .

$$K'_\varphi = (u_u + u_r) \cdot K_\varphi \quad (5.102)$$

Tab.5.8

$H_u/L_y$	$D/L_y$	$u_u$		$u_r$
		fără frecare pe teren	inclus și frecarea pe teren	
0.20		neglijabil	1.20	
0.50	0.50	neglijabil	1.30	4.00
1.00	1.00	1.10	1.40	2.00
1.50		1.15	1.50	
2.00	2.00	1.20	1.60	1.50
3.00	3.00			1.30
4.00	4.00			neglijabil sau cca.1.00

### 5.5 Presiune admisă pe teren.

Literatura de specialitate recomandă ca presiunea admisă la solicitări dinamice să fie

stabilită prin relația :

$$p_{din} = \frac{0.2}{\eta} \cdot p_{static} \quad (5.103)$$

in care :

- $p_{din}$  , presiunea dinamică maximă admisă
- $p_{static}$  , presiunea statică admisă, adică *presiunea convențională* recomandată prin **STAS 3300/1 și /2 - 1985** (în vigoare), inclusiv sporurile pentru adâncime, lățime talpă, pentru presini maxime pe colț sau linie.
- $\eta$  , coeficientul de amplificare funcție de acordarea dinamică.

Prin literatură se recomandă factori de reducere pentru presiunile admise pe strat, cum sunt cele recomandate prin Tab.5.9 funcție de tipul de utilaj.

$$p_{dinamic} = \alpha \cdot p_{static} \text{ [KPa]} \quad (5.104)$$

Tab.5.9

Tipul de mașină	coeficient $\alpha$
ciocane ,	0.40
mașini cu piston	1.00
mașini de turație înaltă, (turbosufiante)	0,80
mori rotitoare (cu bile)	1.00
concasoare	1.00
mori	0.80
ventilatoare mari	0.80

## 5.6 Utilizarea metodei elementului finit

Utilizarea în rezolvarea problemei a metodei elementului finit permite obținerea unor rezultate de înaltă precizie în condițiile utilizării unor programe de calcul deosebit de complexe și a unor calculatoare de mare capacitate.

Modelarea sistemului se realizează după o schemă ca în Fig.5.9

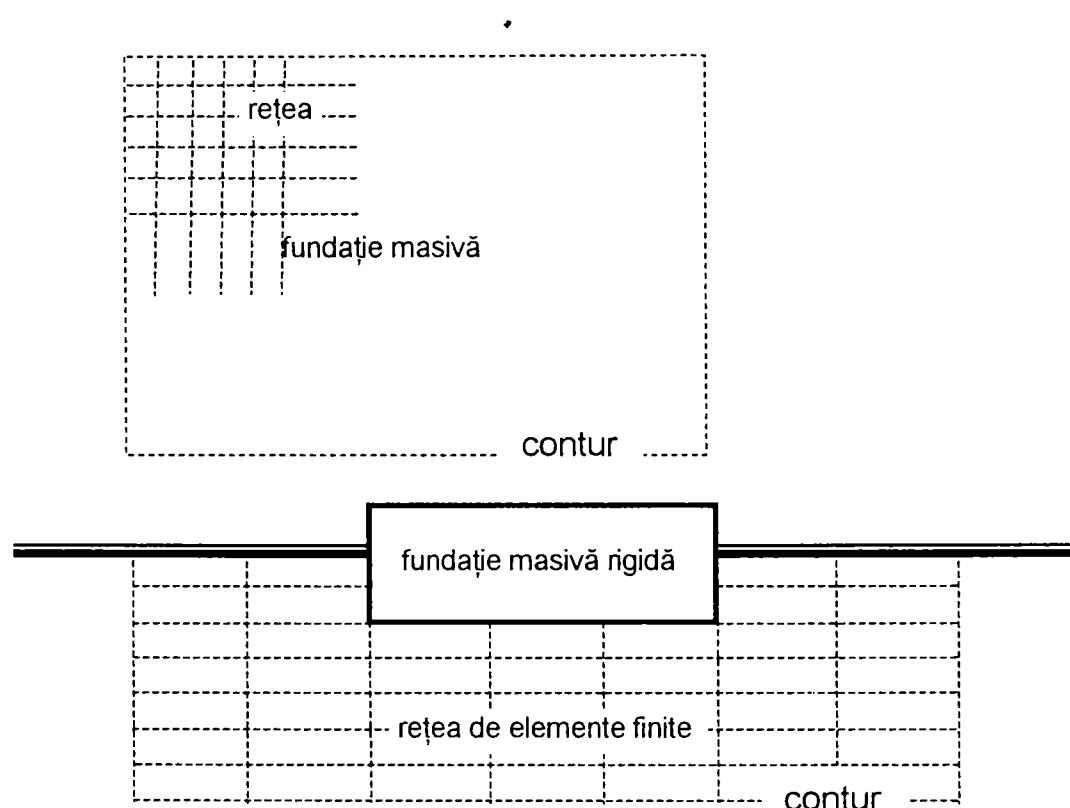


Fig.5.9 Rețea de elemente finite

În punctele de intersecție ale rețelei de elemente finite, se pot scrie vectorii forțelor dinamice exterioare  $\{F\}$  și vectorii deplasărilor  $\{A\}$ . Legătura liniară cu matricea rigidităților  $[C]$  este de tipul

$$[C] \cdot \{A\} = \{F\}. \quad (5.105)$$

Dacă, pentru analiza dinamică adoptăm  $[M]$  drept masa iar matricea de amortizare  $[K]$ , relația de legătură va fi :

$$[M] \cdot \{\ddot{A}\}_t + [K] \cdot \{\dot{A}\}_t + [C] \cdot \{A\}_t = \{F\}_t \quad (5.106)$$



---

Rezolvarea sistemului se face utilizând diverse metode, cum sunt :

- metoda matricilor de transfer.
  
- metoda soluțiilor aproximative Rayleigh.
  
- metoda aproximațiilor succesive

Modelarea în element finit implică în toate cazurile utilizarea unui aparat matematic deosebit de complex și a unor computere de mare putere.

## Cap. 6 Elemente de dinamica solurilor

**6.1 Generalități.** Așa cum s-a arătat în capitolele anterioare, procedeele de fundare a mașinilor mari pe fundații masive se pot împărți în două mari categorii :

**a - procedee de fundare indirectă**, (pe elemente elastice), atunci când între fundația masivă și suport (teren de fundare) se găsește interpus un element elastic, realizându-se astfel o izolare antivibratorie (activă sau pasivă).

**b - procedee de fundare directă**, când blocul de fundație masivă este rezemat sau încastrat pe / în stratul suport (terenul bun de fundare).

Dacă pentru metoda de fundare indirectă constantele elastice ale rezemării se pot determina și verifica experimental cu o suficientă precizie, în concordanță cu metodele de calcul dinamic al pulsațiilor proprii și amplitudinilor mișcării complexului mașină – fundație, acest lucru este mult mai greu de realizat în cazul fundării directe pe / în soluri (teren bun de fundare).

Solurile au în general o mare varietate, ne fiind omogene și ortotrope. Solul poate fi considerat ortotrop numai atunci când dimensiunile elementului studiat sunt mai mult mai mari decât dimensiunile particulelor componente ale solului.

Datorită faptului că sunt stratificate, solurile nu pot fi considerate medii elastice ideale (infinite), așa cum s-ar cere după teoria elasticității.

**6.2 Clasificări ale solurilor.** Solurile pot fi definite și clasificate după mai multe criterii verificabile experimental, care pot fi considerate drept invariant.

**6.2.1 După rezistențe.** Funcție <sup>de</sup> structura lor internă și de capacitatea de a se opune solicitărilor, solurile pot fi :

**a) terenuri stâncoase (roci).** – terenuri cu rezistențe destul de mari, care pot prelua forțe de compresiune, de forfecare și în anumite limite mici solicitări de întindere. Funcție de natura rocii de bază avem:

- roci eruptive, de natură vulcanică, în general cu structura cristalină.
- roci sedimentare, depozite rezultate din sedimentarea unor fragmente de roci eruptive (mai mult sau mai puțin alterate).

- roci metamorfice, rezultate din supunerea rocilor sedimentare (în general) la acțiunea unor condiții speciale de presiuni și / sau temperaturi ridicate (în general în timpul unor activități vulcanice), care produc modificări structurale (prin recristalizare parțială) ale acestora.

b) pământuri. – provenind din descompunerea (alterarea) unor fragmente de roci stâncoase, amestecate cu resturi vegetale sau animale. Pământurile pot prelua numai forțe de compresiune și forfecare.

### 6.2.2 După mărimea fragmentelor care le compun.

Vom avea :

Tab. 6.1

soluri	mărime fragmente mm.
bolovăniș	> 100
pietriș	2 ...100
nisip mare	0.5...2
nisip mijlociu	.25....0.5
nisip fin	0.5...0.25
praf	0.005...0.05
argile	< 0.005

6.2.3 După forțele de coeziune interioară. Criteriul este realizat de capacitatea unei probe de a-și păstra forma după prelevarea ei. Vom avea :

- soluri necoezive, care nu-și pot păstra forma probei. De exemplu, bolovanișuri, pietrișuri, nisipuri, unele prafuri.

- soluri coezive, care își păstrează forma probei. De exemplu, argile, marne.

Tab. 6.2

Sol : pământ coeziv, argilos, saturat având $S_R > 0.8$		coeziunea, C KPa
$I_p \leq 10 \%$	$0.75 < I_c \leq 1.00$	5...10
	$0.50 < I_c \leq 0.75$	2...8
$10 \% < I_p \leq 20 \%$	$0.75 < I_c \leq 1.00$	12...30
	$0.50 < I_c \leq 0.75$	10...25
	$0.25 < I_c \leq 0.25$	7...16
$I_p > 20 \%$	$0.75 < I_c \leq 1.00$	24...53
	$0.50 < I_c \leq 0.75$	21...37
	$0.25 < I_c \leq 0.25$	19...29

În afara particulelor solide, solurile conțin și goluri de diferite mărimi umplute cu lichide (apă) sau gaze (aer). Prin acțiunea unei stări fizice exterioare (temperatură) sau de eforturi interioare sau exterioare, forma și mărimea golurilor interioare ale solului poate fi modificată, solul realizând variații ale volumului, greutateii, umidității proprii, compactitate etc., toate aceste variații având efecte asupra comportării elastice a solului.

**6.3 Mărimi care caracterizează solurile.** Prin analize de laborator, pot fi evidențiate unele mărimi caracteristice, invariante pentru un sol.

**6.3.1 Greutatea volumetrică a scheletului mineral  $\gamma_s$**

$$\gamma_s = \frac{G_s}{V_s} \quad [\text{KN} / \text{m}^3] \quad (6.1)$$

$G_s$  - greutatea scheletului mineral

$V_s$  - volumul scheletului mineral

Tab. 6.3

soluri	greutate volumică schelet mineral $\gamma_s \text{ KN} / \text{m}^3$
bolovăniș	26.5...26.8
pietriș	
nisip mare	
nisip mijlociu	
nisip fin	
praf	26.8...27.0
argile	27.0...27.5

**6.3.2 Greutatea specifică aparentă (~ volumică)  $\gamma_a$**

$$\gamma_a = \frac{G}{V} \quad [\text{KN} / \text{m}^3] \quad (6.2)$$

$G$  - greutatea probei în stare naturală

$V$  - volumul probei

**6.3.3 Densitate (masa unității de volum)  $\rho$**

$$\rho = \frac{\gamma_a}{g} \quad [\text{KN sec}^2 / \text{m}^4] \quad (6.3)$$

$g$  - accelerația gravitațională [ $9.81 \text{ m} / \text{sec}^2 = 981 \text{ cm./sec}^2$ ]

**6.3.4 Umiditate (în stare naturală)  $w$**

$$w = \frac{G_a}{G_s} \quad (6.4)$$

$G_a$  - greutatea apei (acumulate în pori)

$G_s$  - greutate fază solidă

6.3.5 Porozitate  $n$  (raportul între volumul porilor și cel a fazei solide)

$$n = \frac{V_p}{V} \quad (6.5)$$

$V_p$  - volumul porilor

$V$  - volumul probei

6.3.6 Indicele porilor  $e$

$$e = \frac{n}{1-n} \quad (6.6)$$

6.3.7 Gradul de umiditate  $S_r$  .

$$S_r = \frac{w}{w_{sat}} \quad (6.7)$$

$w_{sat}$  - umiditatea în stare saturată cu apă a probei.

După gradul de umiditate vom avea

Tab. 6.4

pământuri	$S_r$
uscate	$\leq 0.40$
umede	$>0.40 \dots \leq 0.80$
foarte umede	$>0.80 \dots \leq 0.90$
saturate	$> 0.90$

6.3.8 Gradul de îndesare  $I_D$

$$I_D = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad (6.8)$$

$e$  - indicele porilor

$e_{max}$  - indicele porilor corespunzând volumului maxim de goluri pe care îl poate avea proba.

$e_{min}$  - indicele porilor corespunzând volumului minim de goluri pe care îl poate avea proba

După gradul (starea) de îndesare avem :

Tab. 6.5

stare de îndesare	gradul de îndesare $I_D$
afânat	$\leq 0.33$
cu îndesare medie	$> 0.33 \dots \leq 0.66$
îndesat	$> 0.66 \dots \leq 1.00$

6.3.9 Grad de compactare  $D$

$$D = \frac{\gamma_d}{\gamma_{d,max}} \times 100 \quad [ \% ] \quad (6.9)$$

$\gamma_d$  - greutatea volumică a probei

$\gamma_{d,max}$  - greutatea volumică maximă a probei

### 6.3.10 Unghi de frecare internă $\Phi^\circ$

se determină experimental având valori :

Tab. 6.6

sol		unghi de frecare internă $\Phi^\circ$	
nisipuri cu pietriș și nisipuri mari		32...37	
nisipuri mijlocii		30...34	
nisipuri fine		23...32	
nisipuri prăfoase		22...31	
pământuri coezive, saturate, $S_r > 0.8$	$I_p \leq 10 \%$	$0.75 < I_c \leq 1.00$	22...25
		$0.50 < I_c \leq 0.75$	17...23
	$10 \% < I_p \leq 20 \%$	$0.75 < I_c \leq 1.00$	16...22
		$0.50 < I_c \leq 0.75$	14...20
		$0.25 < I_c \leq 0.25$	10...16
	$I_p > 20 \%$	$0.75 < I_c \leq 1.00$	11...17
		$0.50 < I_c \leq 0.75$	9...15
		$0.25 < I_c \leq 0.25$	5...12

**6.4 Corelări între mărimi care caracterizează solurile.** Unele din mărimile analizate anterior pot fi corelate pentru o caracterizare mai completă a pământurilor

#### 6.4.1 Corelație între mărimea fragmentelor și greutatea scheletului mineral.

Tab. 6.7

soluri	mărime fragmente mm.	Greutate volumică schelet mineral $\text{KN} / \text{m}^3$
bolovăniș	> 100	26.5...26.8
pietriș	2 ...100	
nisip mare	0.5...2	
nisip mijlociu	.25.....0.05	
nisip fin	0.05...0.25	
Praf	0.05...0.005	26.8...27.0
Argile	< 0.005	27.0...27.5

**6.4.2 Corelație între indicele porilor,  $e$  și starea de îndesare a pământurilor necoezive (gradul de îndesare  $I_D$ ).**

Tab. 6.8

pământuri necoezive	indicele porilor $e$ , pentru starea de îndesare		
	afânată <0.33	cu îndesare medie 0.33...0.66	îndesat >0.66
balast, pietriș, nisip mare, mijlociu	> 0.70	0.55 ... 0.70	< 0.55
nisip fin	> 0.75	0.60 ... 0.75	< 0.60
nisip prăfos	> 0.80	0.60 ... 0.80	< 0.60

6.4.3 Corelație între rezultate ale penetromiei statice și dinamice cu gradul de îndesare  $I_D$  al pământurilor necoezive

Tab. 6.9

$I_D$ Grad de îndesare		rezistența pe con $R_p$ (daN / cm <sup>2</sup> )				N Nr. de lovituri
		nisip mare și mijlociu	nisip fin	nisip prăfos	nisip prăfos saturat	
<= 0.33	afânat	<= 5000	< 4000	< 3000	< 2000	< 10
0.33... 0.66	îndesare medie	5000... ...15000	4000.. ..12000	3000... ...10000	2000... ...7000	10... ...30
>= 0.66	îndesat	> 15000	> 12000	> 10000	> 7000	> 30

6.4.4 Corelație între indicele porilor  $e$  și valori orientative ale unghiului de frecare internă  $\Phi^0$  la pământuri necoezive

Tab. 6.10

unghi de frecare internă $\Phi^0$	indicele porilor $e$			
	0.45	0.55	0.65	0.75
pietriș, nisipuri cu pietriș, nisipuri mari	36 <sup>0</sup>	33 <sup>0</sup>	31 <sup>0</sup>	
nisipuri mijlocii	33 <sup>0</sup>	31 <sup>0</sup>	29 <sup>0</sup>	
nisipuri fine	31 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>	27 <sup>0</sup>	23 <sup>0</sup>
nisipuri prăfoase	30 <sup>0</sup>	28 <sup>0</sup>	25 <sup>0</sup>	22 <sup>0</sup>

6.4.5 Corelație între unghiul de frecare internă și coeziune.

Tab. 6.11

sol		coeziune C, KPa	unghi de frecare internă, $\Phi^0$
necoezive	nisipuri cu pietriș și nisipuri mari		32...37
	nisipuri mijlocii		30...34
	nisipuri fine		23...32
	nisipuri prafoase		22...31
pământuri coezive, saturate, $S_r > 0.8$	$I_p \leq 10\%$	$0.75 < I_c \leq 1.00$	5...10
		$0.50 < I_c \leq 0.75$	2...8
	$10\% < I_p \leq 20\%$	$0.75 < I_c \leq 1.00$	12...30
		$0.50 < I_c \leq 0.75$	10...25
pământuri coez. saturate, $S_r > 0.8$	$I_p > 20\%$	$0.25 < I_c \leq 0.25$	7...16
		$0.75 < I_c \leq 1.00$	24...53
		$0.50 < I_c \leq 0.75$	21...37
		$0.25 < I_c \leq 0.25$	19...29
			5...12

### 6.5 Constante caracterizând deformațiile elastice ale solurilor.

Teoria elasticității caracterizează un mediu elastic, omogen și izotrop prin constantele:

$E, G,$  - moduli de elasticitate longitudinal, transversal

$\rho$  - densitate

$\nu$  - coeficient de contracție transversală (coeficient Poisson)

legătura între acești coeficienți este redată de relația

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (6.10)$$

Legătura între tensorul eforturilor și tensorul deformațiilor se stabilește pe baza unei serii de ecuații (unele sub formă finită iar altele sub formă diferențială) care exprimă relațiile între eforturi, deformații, condițiile de contur și coeficienții elastici ai materialului.

Dacă considerăm elementul unitar dezvoltat după sistemul celor trei axe(planuri) perpendiculare ( $o, x, y, z$  din fig. 6.1), putem defini pe fiecare față a elementului unitar tensorul eforturilor, ca :

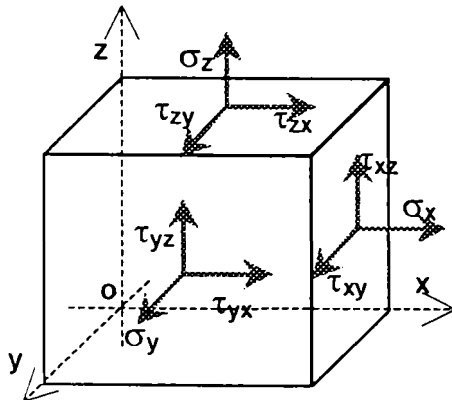


Fig. 6.1 Element unitar

$$\begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{pmatrix} \quad (6.11)$$

Tensorul deformațiilor va avea expresia :

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x} & ; & \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} & ; & \quad \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z} \\ \gamma_{y,z} &= \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} & ; & \quad \gamma_{z,x} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} & ; & \quad \gamma_{x,y} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{aligned} \quad (6.12)$$

Legătura între tensorul eforturilor unitare și tensorul deformațiilor specifice este dată de legea lui Hooke generalizată, exprimată prin relațiile :



$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] & \gamma_{yz} &= \frac{\tau_{yz}}{G} \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_z + \sigma_x)] & \gamma_{zx} &= \frac{\tau_{zx}}{G} \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] & \gamma_{xy} &= \frac{\tau_{xy}}{G}\end{aligned}\quad (6.13)$$

În teoria elasticității se admite ca în ipoteza când solicitările exterioare sunt nule, tensiunile interioare ale elementului unitar de volum sunt de asemenea nule. La acțiunea unei solicitări (sarcini, încărcări) exterioare deformațiile și eforturile care acționează asupra elementului unitar de volum, vor fi legate între ele prin relații liniare.

La pământuri însă, apar tensiuni datorită forțelor interne de frecare între particule sau a unor fenomene fizico – chimice.

Aceste forțe fac ca legătura între efortul unitar de lunecare  $\tau_{xy}$  și deformația  $\gamma_{xy}$  (lunecare specifică) să se realizeze ca diagrama din fig. 6.2, după relația :

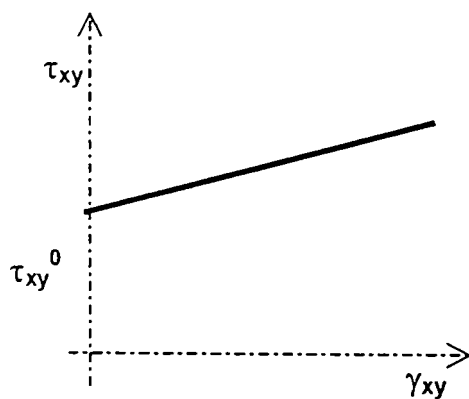


Fig.6.2 variație  $\tau_{xy}^0$

$$\tau_{xy} - \tau_{xy}^0 = G \cdot \gamma_{xy} \quad (6.14)$$

relație în care  $\tau_{xy}^0$  este tensiunea corespunzătoare frecării interne

Pentru determinarea modurilor de elasticitate longitudinal ( $E$ ), transversal ( $G$ ) precum și a coeficientului de contracție transversală ( $\nu$ ) (Poisson), s-au efectuat experimentări, stabilind și factorii care condiționează valorile practice ale acestora.

### 6.5.1 Comportarea solului sub efectul încărcărilor din fundație.

Sub talpa unei fundații masive, din efectul încărcării totale statice verticale se realizează presiunea  $p = p_T$ . În urma acțiunii acestei încărcări, solul se va deforma (tasa) cu valoarea  $z = z_T$ .

Caracterizarea comportării solului sub efectul încărcărilor verticale statice se va face prin modulul de elasticitate longitudinală  $E$  (Young), pentru determinarea tasărilor verticale literatura de specialitate introducând noțiunea de "coeficient de pat (balast)". Acesta este definit ca forța care produce în sol o tasare având valoarea unitară ( $z = 1$ ).

vom avea :

$$z = \frac{P}{C} \quad ; \quad z = 1 \quad ; \quad C = \frac{P}{1} \quad (6.15)$$

Calculul tasării fundației se va face cu ajutorul relației :

$$z_T = \frac{P_T}{C} \quad (6.16)$$

Modelarea caracteristicilor elastice ale solului nu este însă așa de simplă ca și în cele enunțate până acum.

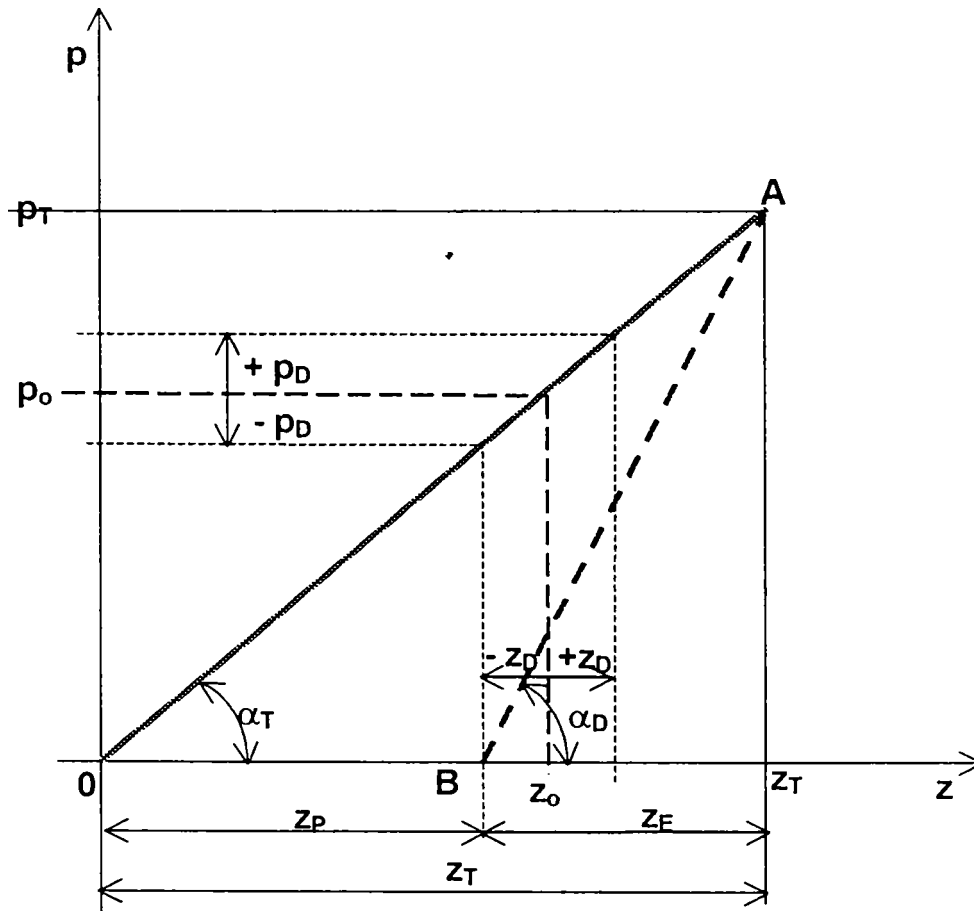


Fig.6.3 Diagramă de încărcare - tasare

Considerăm diagrama de încărcare – tasare din fig. 6.3 . Linia de încărcare a solului la presiunea  $p_T$  sub talpa fundației masive de mașină se realizează pe traseul  $O - A$  . Coeficientul de pat (balast) va fi definit în acest caz ca și :

$$C = \frac{P_T}{z_T} = \operatorname{tg} \alpha_T \quad (6.17)$$

La o descărcare completă de efort a tălpii fundației,  $p = 0$  , vom remarca că tasarea solului nu se va reduce complet, realizând  $z = z_p$  .

Solul are o tasare remanentă (plastică)  $z = z_p$ , definită prin punctul **B** din diagramă.

Evident, tasarea totală va fi suma celor două tasări, cea elastică și cea remanentă (plastică).

$$z_T = z_p + z_e \quad (6.18)$$

Considerăm că la o nouă încărcare a tălpii fundației la valoarea  $p = p_T$ , punctul **A** din diagramă va fi atins din nou, pe o nouă linie de încărcare, **B - A**, această linie de încărcare

fiind hotărâtoare pentru fiecare fază nouă de încărcare – descărcare. Tasarea realizată va fi în acest caz, în domeniul elastic,  $z_E$ .

Considerând încărcarea statică a unei fundații de mașină sub efectul greutății proprii a fundației și mașinii, la nivelul tălpii se va realiza presiunea  $p = p_o$ . În funcționare, la nivelul tălpii fundației, sub efectul forțelor dinamice perturbatoare, se va realiza presiunea alternativă (dinamică)  $p = +/- p_D$ . Tasarea produsă sub efectul forței statice  $p = p_o$  va avea mărimea  $z = z_o$ . Sub efectul forțelor dinamice  $p = p_D$  (alternative, compresiune – întindere) se va produce o tasare în domeniul definit de tasările elastice ( $z_E$  pe diagramă) de valoarea  $z = +/- z_D$ . Evident, fenomenul se va produce pe linia de încărcare – tasare **B – A**, comportarea solului fiind definită prin alte valori (mai mari) atât pentru modulul de elasticitate longitudinal  $E$ , cât și pentru coeficientul de pat (balast)  $C$ . Vom putea defini :

$$C_D = \frac{P_D}{z_D} = \text{tg}\alpha_D \quad (6.19)$$

### 6.5.2 Modulul de elasticitate longitudinal static, $E$ (Young).

Determinat experimental pe cale statică, acesta are valori cuprinse prin tabelele publicate în literatură. În tab. 6.12 redăm valori pentru modulul  $E$  la diferite soluri :

Module de elasticitate longitudinale statice  $E$ , la soluri

Tab.6.12

felul solului	$E$ , MP <sub>a</sub>
pământ argilos plastic, amestecat cu măr	31
pământ argilos brun, saturat cu apă	44
pământ argilos compact, greu	295
nisip umed, cu granulație mijlocie	54
nisip cenușiu, amestecat cu pietriș	54
nisip saturat cu apă, cu granulație mică	85
nisip cu granulație mijlocie	83
loess	100...130
pământ argilos cu loess	120

Experiențele au arătat că pentru soluri, valorile modulelor de elasticitate  $E$  sunt condiționate de o serie de factori.

Astfel, pentru soluri necoezive (nisipuri, pietrișuri, balasturi), valorile modulului  $E$  variază puțin cu umiditatea, porozitatea și granulometria, având practic o valoare constantă.

Pentru soluri coezive (argile), valorile modulului  $E$  scad repede cu creșterea umidității și porozității. În fig. 6.4 este redată variația valorică a acestuia la creșterea umidității, valori publicate prin literatură, pentru un sol coeziv (argilă cu loess).

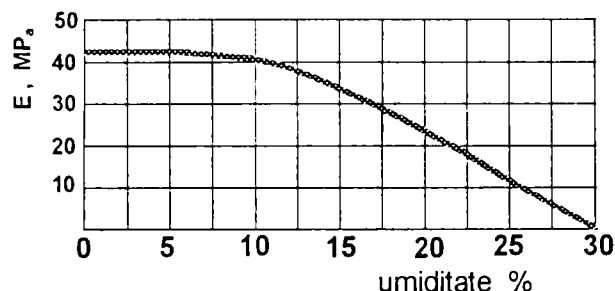


Fig. 6.4 Variație modul de elasticitate **E** la terenuri coezive

Determinările pe teren a valorii modului de elasticitate **E** se fac prin încercări cu o placă având o suprafață fixă (normată), încărcată cu sarcini verticale, în trepte. Prin măsurarea deformațiilor specifice longitudinale  $\varepsilon$ , din care se deduce valoarea modului longitudinal **E**. La descărcarea plăcii se determină prin măsurători valori pentru tasările remanente (plastice).

### 6.5.3 Modulul de elasticitate longitudinal dinamic $E_d$ .

Datorită comportării neelastice, solul se definește ca un mediu vâscoelastoplastic, neomogen, anizotrop, în masa căruia sub efectul solicitărilor și a unor forțe interne se produc o serie de fenomene complexe, neelastice.

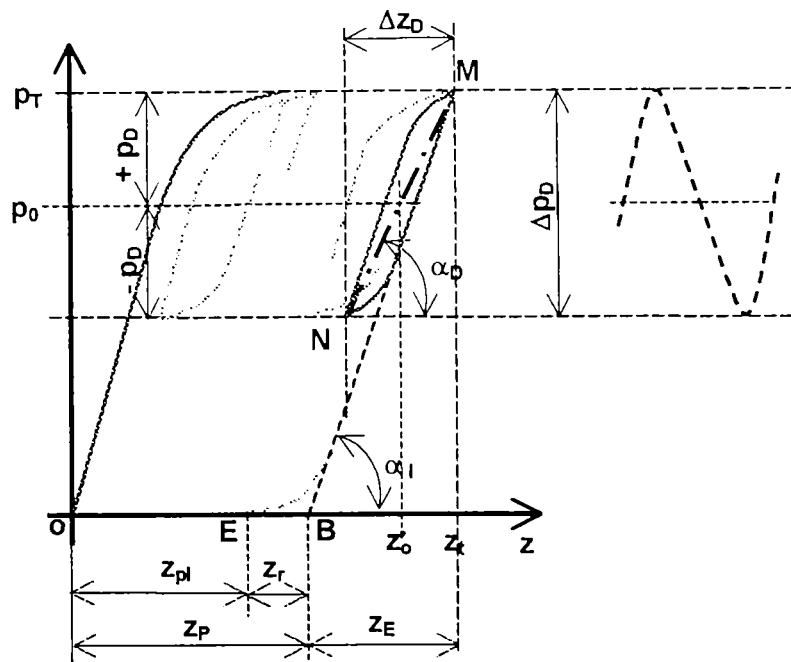
Utilizarea în evaluarea coeficienților elastici ai solurilor a valorilor determinate pentru modulul de elasticitate longitudinal **E** static conduce la diferențe mari pentru frecvențele proprii și amplitudinile mișcării, calculate pentru obiectul în vibrație, față de cele reale, măsurate.

În proiectarea fundațiilor de mașini care reazemă direct pe sol, se va urmări ca sub solicitările dinamice tasările care se produc datorită forțelor dinamice neechilibrate din funcționarea mașinii să se realizeze în domeniul tasărilor elastice definit anterior.

Se consideră solul încărcat de o fundație masivă de mașină în funcțiune. Diagrama de încărcare – tasare este redată în fig. 6.5.

Sub talpa fundației, solicitarea **p** va fi compusă dintr-o fracțiune reprezentând acțiunea statică a greutateilor fundației și mașinii, ( $p_o$ ) și o fracțiune reprezentând acțiunea dinamică (alternantă) a forțelor dinamice neechilibrate asupra tălpii fundației, ( $p_D$ ). Talpa fundației va apăsa asupra solului cu solicitarea :

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}_o \pm \mathbf{p}_D \quad (6.20)$$

Fig. 6.5 Modul de elasticitate dinamic  $E_d$ 

După stabilizarea mișcării și consumarea tasărilor plastice remanente, în funcționarea mașinii pe fundație se va ajunge la linia de încărcare (ciclu histerezis)  $N - M$ , sub talpa fundației realizându-se tasarea elastică alternantă  $\Delta z_D$  pentru presiunea alternantă (dinamică)  $\Delta p_D$ .

În cazul anulării complete a presiunii sub talpa fundației,  $p = 0$ , revenirea se va face pe linia de descărcare  $M - B$ , tasarea totală a fundației  $z_T$  compunându-se din :

$$z_T = z_E + z_p \quad (6.21)$$

în care cele două fracțiuni vor fi :

a)  $z_E$  - o fracțiune elastică din tasarea totală. În interiorul acesteia va fi cuprinsă și tasarea,  $\Delta z_D$  produsă de forțele dinamice (alternative)  $p_D$  acționând asupra fundației.

b)  $z_p$  - o fracțiune remanentă (plastică) din tasarea totală, efect al compresiei solului ca material vâscoelastoplastic. În cadrul acesteia, vom distinge două faze :

1) zona  $O - E$ , o componentă ireversibilă a tasării plastice a solului,  $z_{pl}$  datorată curgerii plastice a acestuia.

2) zona  $E - B$ , o componentă neelastică reversibilă a tasării solului  $z_r$ , datorată postacțiunii elastice, ca urmare acțiunii unor fenomene și procese interne caracteristice acestuia

În cazul opririi din funcționare a mașinii ( $p_D = 0$ ), starea de solicitare va redeveni statică, pentru presiunea pe sol  $p = p_0$  având tasarea  $z = z_0$ . Real, datorită fenomenelor

postelastice, tasarea la un timp de la oprirea mașinii va fi mai mică decât valoarea  $z_0$  menționată anterior. La repomirea mașinii mișcarea revine în ciclul buclei histerezis  $M - N$  definit în diagrama din fig. 6.5.

Modulul de elasticitate longitudinal, dinamic,  $E_d$  se definește ca pantă a liniei de încărcare  $N - M$  în punctul  $N$ , prin relația :

$$E_d = \operatorname{tg} \alpha_D = \frac{\Delta p_D}{\Delta z_D} \quad (6.22)$$

Valoric, modulul de elasticitate dinamic  $E_d$  va depinde de nivelul presiunii statice  $p_0$  realizate pe sol, de nivelul presiunii dinamice alternante  $p_D$ , de frecvența solicitării dinamice (frecvența de funcționare a mașinii) precum și de factori caracteristici proprii solului (descriși la punctul anterior).

Considerând o descărcare bruscă de efort a tălpii fundației acționând în punctul  $M$  al diagramei din fig. 6.5,  $p = 0$ , revenirea tasării se va face după linia de descărcare  $M - B$ . Panta liniei de descărcare va defini modulul de elasticitate la impact al solului, ca :

$$E_i = \operatorname{tg} \alpha_i = \frac{p_T}{z_E} \quad (6.23)$$

Valoarea acestui modul de elasticitate la impact va constitui limita valorică superioară pentru modulul de elasticitate dinamic  $E_d$ .

În tab.6.13 sunt redate valori ale modulilor de elasticitate static  $E_s$  și dinamic  $E_d$  publicate de diferiți autori, în literatura de specialitate. Tab.6.13

Soluri	Modul de elasticitate longitudinal, MPa	
	Static, $E_s$	Dinamic, $E_d$
<b>Necoezive</b>		
Nisip afânat cu granule rotunde	40...80	150...300
Nisip afânat cu granule colțuroase	50...80	150...300
Nisip cu compactitate mijlocie, granule rotunde	80...160	200...500
Nisip cu compactitate mijlocie, granule colțuroase	100...200	200...500
Pietriș fără nisip	100...200	300...800
Pietriș natural colțuros	150...300	300...800
<b>Coezive</b>		
Argilă tare	8...50	100...500
Argilă moale	6...20	40...150
Argilă greu frământabilă	3...6	30...80
Lut, lut cu mamă, tare	6...50	100...500
Lut moale, lut cu loess	4...8	50...150
Argilă slabă	3...8	30...100
Nămol sărac în substanțe organice	2...5	10...30

O scurtă descriere a instalației și metodelor pentru determinarea experimentală a modulului de elasticitate longitudinală dinamic  $E_d$  va fi făcută într-un paragraf următor.

#### 6.5.4 Modulul de elasticitate transversal $G$ .

Valoarea modulului de elasticitate  $G$  se definește ca pantă a tangentei în origine a curbei efort tangențial - deformație unghiulară specifică a comportării materialului la sollicitări de torsiune.

Determinat pe cale experimentală de mai mulți autori, modulul  $G$  pentru soluri este funcție de o mare varietate de factori de influență, din care enumerăm:

- structura solului, granulometria, indicele porilor.
- umiditatea, gradul de saturație cu apă.
- natura sollicitării, frecvența, amplitudinea ei.
- mărimea deformațiilor în urma sollicitărilor.

Metodele experimentale utilizate la determinarea valorii modulului  $G$ , se bazează în general pe măsurarea unor parametri în determinarea cărora (prin metodele de calcul aplicate) modulul are o participare. Prin postcalcul se face deducerea valorii modulului de elasticitate transversală.

Se aplică următoarele metode de determinare a modulului  $G$ :

**a) Determinări directe.** Prin măsurători ale vitezelor și amplitudinilor vibrațiilor orizontale ale unor fundații masive (real executate) și deducerea pe bază de postcalcul a valorii modulului  $G$ .

**b) Determinări de laborator.** Pe probe de sol prelevate din amplasamentul unor viitoare obiective. Pentru determinare se utilizează metoda coloanei rezonante cu ajutorul careia se determină vitezele de propagare a undelor vibrațiilor longitudinale sau torsionale prin proba analizată, deducându-se apoi valoarea modulului de elasticitate  $G$ .

În România această metodologie de determinare este standardizată prin prevederile normativului ICCPDC C 241 – 92 Metodologia de determinare a caracteristicilor dinamice ale terenului de fundare al sollicitări seismice. Normativul menționat recomandă aplicarea pentru determinarea modulului  $G$  a patru metode de laborator (funcție de performanțele aparatajului utilizat. În fig. 6.6 este prezentat principiul de efectuare a determinarilor (prin măsurători ale frecvențelor proprii, vitezelor și amplitudinilor mișcării), deducerea și interpretarea rezultatelor. Sunt utilizate următoarele metode de laborator :

1) Metoda coloanei rezonante HARDIN. Aceasta realizează determinarea modului principal de vibrații torsionale pe o probă supusă unei stări de efort izotrope, triaxiale, similară încărcării geologice de la nivelul de prelevare a probei.

Determinarea se efectuează pentru deformații specifice de răsucire de ordinul a ( $10^{-5} \dots 10^{-3}$ ) rad., măsurându-se pentru starea de rezonanță vitezele de propagare a vibrațiilor transversale de răsucire ( $V_s$ ) și deformațiilor unghiulare specifice  $\gamma_r$ .

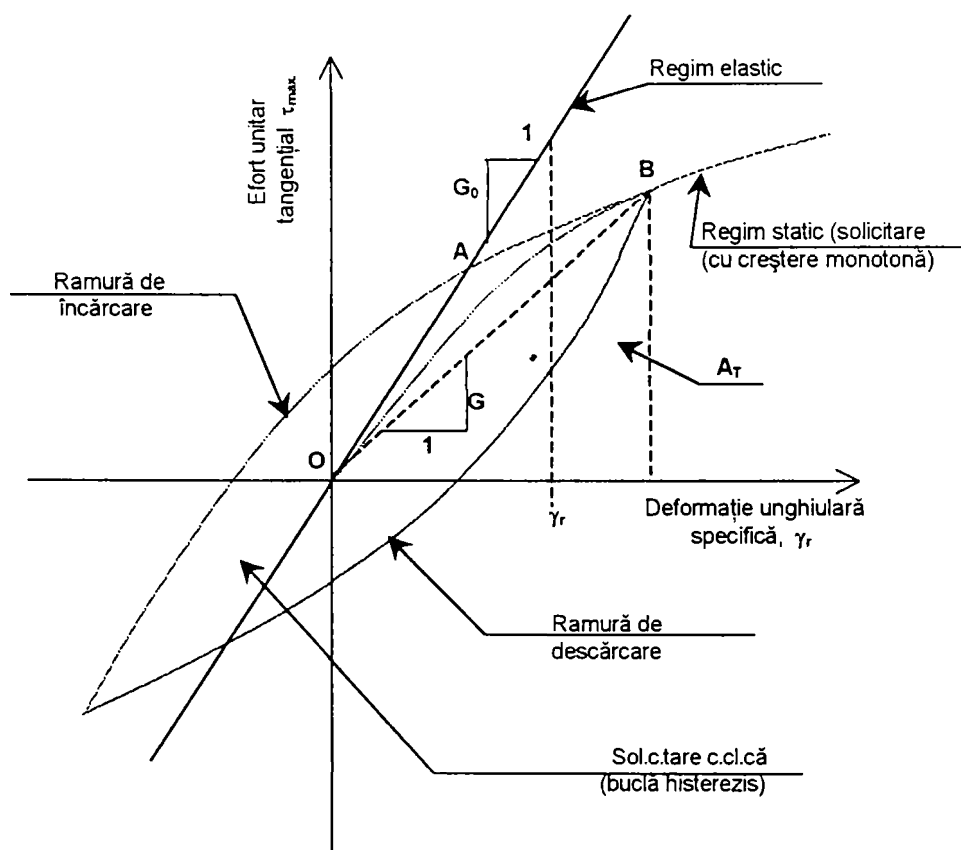


Fig. 6.6 Metoda coloanei rezonante. Relație efort unitar tangențial - deformație specifică unitară

Modulul de elasticitate transversal fiind dat de relația :

$$G = \rho \cdot V_s = 4\pi^2 \rho \left( \frac{f_n \cdot l}{F} \right)^2 \quad [\text{KPa}] \quad (6.24)$$

în care :

- $\rho$  - densitatea specifică.
- $f_n$  - frecvența de rezonanță a sistemului.
- $l$  - lungimea probei.
- $F$  - factor de frecvență a aparatului.

Metoda permite determinarea fracțiunii din amortizarea critică în sistemul vibrațiilor staționare  $D$  precum și a deformației unghiulare specifice  $\gamma$ .

$$\gamma = \frac{\Theta_R \cdot r}{l} \quad (6.25)$$

unde :

- $\Theta_R$  - amplitudinea la rezonanță a vibrațiilor.



- $r$  - raza probei.
- $l$  - lungimea probei.

2) *Metoda coloanei rezonante într-o celulă adaptată.* Realizează utilizarea și adaptarea unui aparat de încercare triaxială de tip GENOR pentru determinări de acest tip

3) *Metoda coloanei de rezonanță DRNEVICH.* Metoda de determinare este similară celei de tip HARDIN. În plus, aparatul are posibilitatea de a excita proba și la vibrații longitudinale suprapuse peste starea de eforturi izotropă creată în aparatul de încercare triaxială, putând determina astfel :

- modulii de elasticitate  $G$  și  $E_d$
- fracțiunile din amortizarea critică pentru vibrațiile longitudinale și transversale.
- deformațiile specifice longitudinale ( $\varepsilon$ ) și transversale ( $\gamma$ ).
- variațiile fracțiunilor din amortizarea critică cu deformațiile specifice, pentru vibrațiile longitudinale și transversale.

4) *Metoda triaxialului ciclic.* Se aplică la determinarea caracteristicilor dinamice ale terenurilor de fundare în cazul deformațiilor specifice cu ordin de mărime de la ( $10^{-3}$  la  $10^{-1}$ ) rad. Această situație intervine în cazul cutremurelor de mare magnitudine sau a vibrațiilor grele cu mase mari în mișcare cu amplitudini importante. Metoda determină :

- modulii de elasticitate transversală  $G$  și longitudinal dinamic,  $E_d$ .
- fracțiunile din amortizarea critică și deformațiile specifice longitudinale ( $\varepsilon$ ) și transversale ( $\gamma$ ).

**c) Determinarea caracteristicilor dinamice ale terenurilor de fundare prin metode seismice.** Metodele utilizează pentru aprecierea caracteristicilor  $G$  și  $E_d$  măsurarea vitezelor de propagare prin sol a undelor seismice longitudinale (viteze  $V_p$ ) și a undelor transversale (viteze  $V_s$ ). Aceasta se realizează prin metodele :

- măsurători de suprafață, executate la o mică adâncime (0.40...0.50 m).
- măsurători în foraje executate.
- măsurători între forajele executate.

Executarea acestor metode de cercetare este specifică prospectiunilor geologice.

În literatura de specialitate sunt publicate urmare unor cercetări valori informative medii ale modulilor de elasticitate  $G$ , (vezi tab. 6.15) precum și diagrame redând variația valorică a modulului de elasticitate transversal sub influența unor factori specifici solurilor,

cum sunt indicele porilor, forma granulelor (boabe rotunde sau alungite), influența presiunii geologice (stării de eforturi din soluri, la anumite cote pe verticală). Acest lucru poate fi apreciat din fig. 6.7 redată mai jos. În tab.6.15 reproducem astfel de valori determinate experimental și publicate în literatură.

Moduli de elasticitate transversali **G** Tab.6.15

felul solului	<b>G</b> , MPa
argilă moale	20...35
argilă tare	70...140
argilă foarte tare	140
nisip afânat	35...105
nisip compactat	70...140
pietriș cu compactitate mijlocie	105...175
pietriș compact	140...275

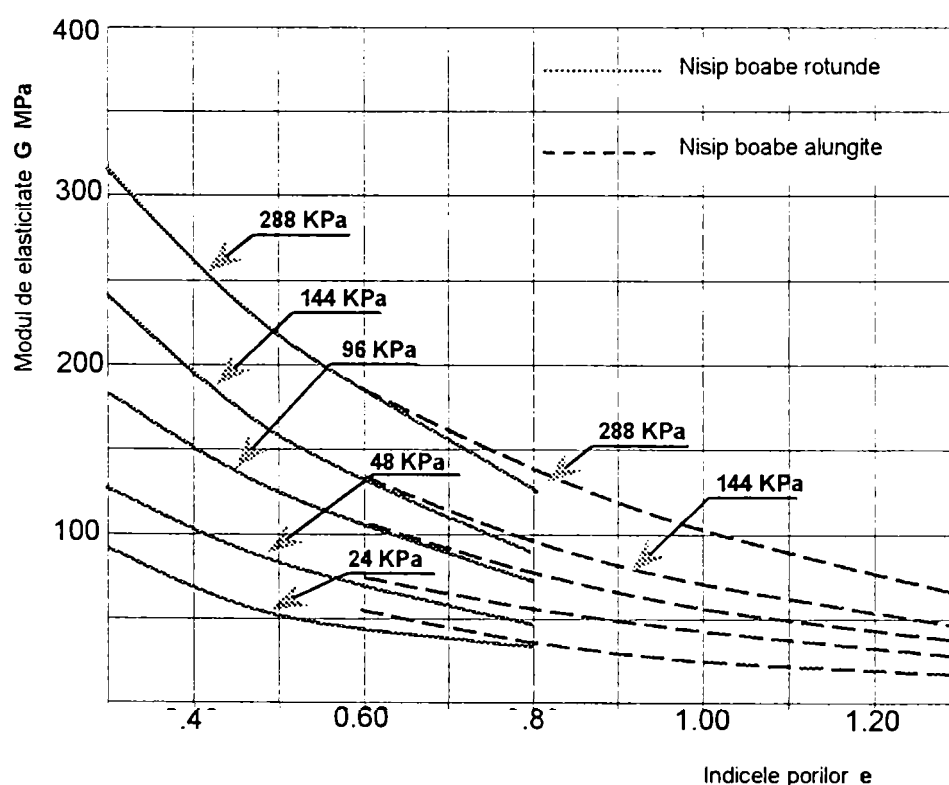
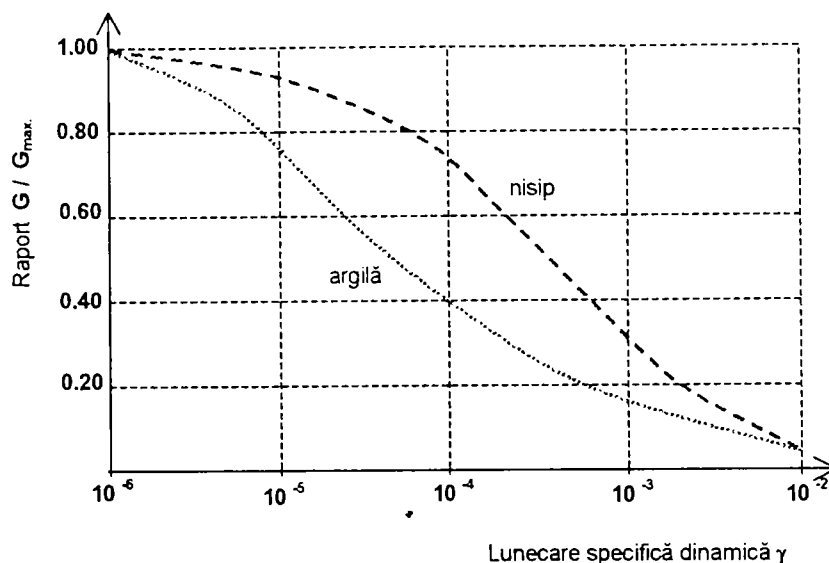


Fig.6.7 Variație modul de elasticitate transversală **G** cu indicele porilor  $e$  și starea de eforturi spațială pentru nisip

Valorile maxime ale modulului de elasticitate transversală corespund unui domeniu de existență a lunecărilor specifice de mică valoare ( $\gamma = 10^{-6}$  rad.). Odată cu creșterea valorică a deformațiilor specifice, valoarea modulului  $G$  va scădea. Variația aceasta poate fi observată în fig.6.8, grafice obținute experimental și publicate prin literatură.

Fig.6.8 Variația modului  $G$  cu deformațiile specifice  $\gamma$ 

### 6.5.5 Coeficientul de contracție transversală $\nu$ , (Poisson)

Valorile coeficientului de contracție transversală  $\nu$  s-au determinat experimental și publicate în literatura de specialitate de către mai mulți autori. Studiile amintite redau valorile cuprinse prin tab. 6.16.

Tab.6.16

felul solului	$\nu$ .
argilă saturată	0.45...0.50
argilă parțial saturată	0.40...0.45
nisip sau pietriș compact	0.35...0.40
terenuri necoezive (nisip)	0.30...0.35
Umplutură	0.30...0.40
terenuri coezive parțial saturate	0.35...0.40

### 6.5.6 Propagarea vibrațiilor prin soluri.

Solul, considerat ca un mediu elastic, izotrop și de dimensiuni infinite, transmite (propagă) vibrațiile prin două feluri de unde elastice :

-undele longitudinale, producând numai variații de volum nu și de formă (acestea denumindu-se și unde de dilatație). Viteza de propagare a undelor va fi :

$$v_1 = \sqrt{\frac{2(1-\nu) \cdot G}{(1-2\nu) \cdot \rho}} \quad [\text{m / sec.}] \quad (6.26)$$

unde :

- $G$  - modul de elasticitate transversal
- $\nu$  - coeficient de contracție transversală
- $\rho$  - densitatea solului

- undele transversale, numite și unde de rotație, producând numai modificări de formă fără schimbări ale volumului. Viteza de propagare a undelor va fi :

$$v_t = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad [\text{m/sec.}] \quad (6.27)$$

Se poate observa că legătura între aceste unde va fi :

$$v_l = v_t \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (1 - \nu)}{(1 - 2\nu)}} \quad (6.28)$$

raportul lor fiind legat numai de coeficientul de contracție transversală  $\nu$ .

În tab. 6.17 se redau (după literatură), valori ale vitezelor de propagare prin soluri pentru undele elastice, valori determinate experimental.

Viteze de propagare a undelor elastice prin soluri

Tab.6.17

felul solului	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	$V_L$ , m/sec	$V_T$ , m/sec	$V_L / V_T$
argilă umedă	$1.80 \cdot 10^3$	1500	150	10,00
loess cu umiditate naturală	$1.67 \cdot 10^3$	800	260	3,08
sol compact cu pietriș și nisip	$1.70 \cdot 10^3$	480	250	1,92
nisip cu granulație mică	$1.65 \cdot 10^3$	300	110	2,73
nisip cu granulație mijlocie	$1.65 \cdot 10^3$	550	160	3,44
pietriș de mărime mijlocie	$1.80 \cdot 10^3$	750	180	4,17

Experimental, a fost demonstrată și corelația existența între caracteristici ale solurilor, cum este presiunea admisă pe sol și viteza de propagare a undelor elastice. În tab.6.18 se redau (preluate din literatură) valori ale vitezelor.

Experimentele au demonstrat că există unde de tip longitudinal și transversal care se propagă pe o bandă superficială de adâncime din teren (la suprafața acestuia) și având o amortizare foarte rapidă. Undele longitudinale de acest tip au fost studiate de *Rayleigh* și au o mare importanță în cazul fundațiilor masive de mașini, permițând determinarea înălțimii de teren (adâncimii de strat superficial de teren) pe care pătrund în sol vibrațiile longitudinale produse de deplasările orizontale ale fundațiilor masive

Viteza de propagare a undelor elastice de tip Rayleigh va fi dată de relația :

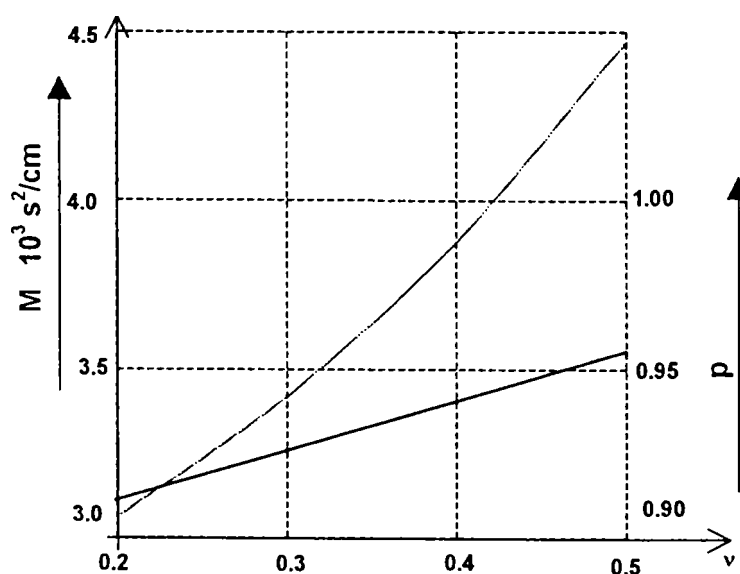
$$v_R^2 = p^2 \frac{E_D}{2 \cdot (1 + \nu) \cdot \rho} = \frac{E_D}{(1 - \nu^2)} \cdot \frac{1}{M \cdot \gamma} \quad (6.29)$$

în care :

- $E_D$  - modulul de elasticitate longitudinal dinamic
- $\nu$  - coeficient de contracție transversală a solului
- $\rho$  - densitatea
- $\gamma$  - greutatea specifică
- $p, M$  - coeficienți funcție de  $\nu$  dați în fig. 6.8

Presiune admisă pe soluri și viteze de propagare a undelor elastice Tab. 6.18

Teren	Pres.admisă KPa	viteza $v$ , m/sec.
strat de 3 m. turbă peste nisip	0	80
argilă slabă cu nisip	100	110
nisip umed	200	140
nisip uscat	200	160
nisip namolos peste un strat de mamă	250	170
pietriș mare	250	180
mamă cu pietriș	300	190
nisip omogen	400	220
pietriș sub 4 m. de nisip	450	330
pietriș mare compact	450	420

Fig. 6.8 apreciere coeficienți  $p$  și  $M$

**6.5.7 Frecvențe proprii ale solurilor.** Datorită compoziției sale neomogene și neizotrope, solul realizează practic un sistem cu masă continuă, având o infinitate de frecvențe proprii de vibrație. Frecvența proprie este influențată și de masa în vibrație, mică în raport cu masa solului pusă în mișcare.

Experimental, s-au făcut cercetări care au relevat faptul că majorarea suprafeței de contact între masa în vibrație și masa solului, de la **0.25 m<sup>2</sup>** la **1.00 m<sup>2</sup>** realizează o sporire a valorii frecvențelor proprii de cca. **+10%**.

Determinarea valorilor corecte ale frecvențelor proprii ale solurilor are o importanță deosebită în obținerea compactității maxime pentru umpluturile realizate din diferite soluri și eliminarea unui fenomen periculos (și nedorit), cel al tasărilor sub solicitările statice sau dinamice. În cazul nostru, aceasta are o mare importanță în special la realizarea compactării pernelor elastice realizate sub fundații.

În Tab. 6.19 (preluat din literatură) se redau câteva valori ale frecvențelor proprii pentru diferite soluri.

Tab.6.19

Felul terenului (solului)	Frecvența proprie f(Hz.) placa vibratorului având suprafața	
	0.25 m <sup>2</sup>	1.00 m <sup>2</sup>
strat de nămol de 1.50 m. pe nisip	cca. 13.0	cca. 15.0
strat de umplutură de nisip proaspăt	15.2	17.2...17.7
rambleu vechi	17.9...18.9	
argilă moale, foarte înmuiată	18.3...18.4	
Argilă	18.3...19.3	
umplutură de nisip în vârstă de un an	19.1...19.8	
umplutură veche, circulată (consolidată)	19.7	
argilă umedă	19.8...20.8	
argilă uscată	20.8...22.6	24.6
lut, afânat la suprafață	21.4...23.3	
idem, la adâncime de 1.20 m.	21.4...23.1	
nisip lutos	21.6	22.8...23.8
nisip foarte umed, deasupra oglinzii de apă	21.6	
nisip relativ afânat	21.7	
nisip afânat	22.7...22.8	
lut tare, la suprafață	22.9...23.8	25.1...25.5
nisip semitare	23.6...24.0	
nisip dens	24.0...24.6	
nisip tare	24.4	
pietriș tare cu nisip la 5.00 deasupra apei	24.7	
lut foarte tare la 1.20 m. adâncime	24.7...26.6	28.2...28.5
nisip terțiar, moale la pipăit la 1.20 m.		28.9...29.5
nisip terțiar, colțuros la 1.20 m.		30.2
nisip cu pietriș, foarte tare, la 5.00 m. deasupra apei	28.6...29.0	
nisip rotund, foarte omogen		32.4...33.4

De asemenea, în Tab. 7.3, 7.4 și 7.5 se redau valori ale frecvențelor proprii pentru câteva soluri, recomandate de către instrucțiunile de exploatare ale unor utilaje de compactare vibrante, pentru obținerea calităților maxime la executarea umpluturilor compactate.

**6.5.8 Amortizarea vibrațiilor în soluri.** Energia produsă de vibrațiile fundațiilor de mașini încastrate / rezemate în / pe terenul de fundare (sol), este consumată de către acesta prin frecări interioare, prin frecarea între particule (transformându-se în căldură) și prin radieră în mediul semispațiului elastic creat de sol, amortizându-se astfel vibrațiile. În literatura de specialitate problema exprimării cantitative a amortizărilor vibrațiilor este tratată în câteva teorii, funcție de metodele de efectuare a calculelor de dinamică:

a) considerând modelul cu parametri concentrați - ținând cont de frecările interioare și între particule - ecuația mișcării libere scrisă până acuma ca :

$$m\ddot{z} + c\dot{z} + kz = 0 \quad (6.30)$$

se rescrie în forma :

$$m\ddot{z} + k_z \Phi \dot{z} + k_z z = 0 \quad (6.31)$$

în care  $\Phi$  este denumit și modul de amortizare.

Împărțind cu  $m$  și notând cu  $p_z = \sqrt{\frac{k_z}{m}}$  formula se rescrie :

$$\ddot{z} + p_z^2 \Phi \dot{z} + p_z^2 z = 0 \quad (6.32)$$

Factorul de amplificare  $A_1 = \frac{1}{2\zeta}$  (2.35) în condițiile când *factorul de pierderi*

(coeficientul de amortizare  $\zeta$ ) la rezonanță este  $2\zeta = \frac{\delta}{\pi}$ , va avea valoarea :

$$A_1 = \frac{1}{2\zeta} = \frac{\pi}{\delta} = \frac{1}{\Phi p_z} \quad (6.33)$$

Din compunerea ecuațiilor 6.30 și 6.31 se poate scrie egalitatea :

$$c = k_z \Phi \quad (6.34)$$

Cunoscând că la rezonanță forța excitatoare este egală cu forța de frecare vâscoasă,

$$m_0 r_0 \omega^2 = c \omega z_0 \quad (6.35)$$

deducem valoarea *modulului de amortizare*  $\Phi$  ca fiind :

$$\Phi = \frac{c}{k_z} = \frac{m_0 r_0 \omega}{z_0} \quad (6.36)$$

în care,  $m_0$  respectiv  $r_0$  sunt masa în mișcare respectiv excentricitatea acesteia, iar  $z_0$  este deplasarea (amplitudinea maximă) a mișcării. Valori informative ale modulului de amortizare (publicate în literatură), sunt date în Tab. 6.20

Date informative asupra modulului de amortizare

Tab.6.20

categoria terenului	caracterizarea terenului	$\Phi$ , secunde determinat experimental prin	
		vibrații verticale	vibrații orizontale
nisip cu granulație mare	în stare naturală	0.0013	0.0014
	umplutură afânată	0.0022	0.0025
pietriș cu măr	în stare naturală, cu consistență redusă	0.0012	0.0014
	umplutură proaspătă	0.0018	0.0020
argilă	în stare naturală, poroasă, cu consistență redusă	0.0017	0.0014
	umplutură proaspătă		0.0016

b) amortizări geometrice - modelarea complexului mașină – fundație ca fundație rigidă așezată pe un semispațiu elastic, determină forțele de frecare ca depinzând de raza suprafeței de rezemare pe teren a acesteia ( $R$ ).

Amortizarea, denumită și geometrică se calculează ca o fracțiune din *factorul masic modificat* ( $B_0$ ), raportul de amortizare al vibrațiilor verticale fiind exprimat cu formula :

$$\zeta = \frac{c}{c_c} = 0.425\sqrt{B_0} \quad (6.37)$$

Dat fiind faptul că există incertitudini privind modul de disipare a energiei prin frecarea internă a solului, se folosește un *raport de amortizare global*  $\zeta$  ale cărui valori sunt date în literatură și cuprinse în Tab.6.22 de mai jos.

Tab.6.21

felul solului	raport de amortizare global $\zeta$
nisip uscat și pietriș	0.03...0.07
nisip uscat și saturat	0.01...0.03
nisip uscat	0.03
nisip uscat și saturat, cu pietriș	0.05...0.06
argilă	0.02...0.05
nisip uscat	0.01...0.03

c) modelul cu masă de sol în mișcare - acțiunea masei de sol în mișcare solidară cu fundația masivă este transformat într-un efect de amortizare aplicat acesteia. Raportul de amortizare se calculează cu formula :



$$\zeta = \frac{c}{c_c} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{g\rho\sqrt{S}}{p_0}} \quad (6.38)$$

- în care :
- amortizarea critică este definită de relația  $c_c = 2\sqrt{km}$
  - $\rho$  - masa specifică a solului [ kN/m<sup>3</sup>]
  - $S$  - suprafața fundației [ m<sup>2</sup>]
  - $p_0$  – presiunea statică pe sol,  $p_0 = \frac{G}{S}$  [ kN/m<sup>2</sup> sau Kpa]
  - $G$  - greutatea complexului mașină – fundație [kN]
  - $g$  - accelerația gravitațională [m/sec<sup>2</sup>]

**6,6 Coeficienții elastici ai solurilor.** Utilizați cu precădere în metoda de calcul “europeană”, acceptând ipoteza Winckler de distribuție a eforturilor sub talpa fundației masive, tasări uniforme, aceștia sunt tratați în mai multe monografii ale unor cercetători de renume.

Aprecierea coeficienților elastici este proprie celor patru moduri proprii de mișcare a blocului fundației masive (rigidă) de mașină. Reprezentate convențional, solicitările dinamice producând aceste mișcări sunt :

- translații în lungul principalelor axe, ca efect al forțelor rezultante  $R_z, R_x, R_y$ .
- rotații în jurul principalelor axe, ca efect al momentelor rezultante  $M_x, M_y, M_z$ .

Cei patru coeficienți introduși, definiți prin literatură și ca “coeficienți de pat”, sunt

$c_z$  – coeficient de contracție elastică uniformă, sau coeficient elastic pentru translație verticală.

$c_x, c_y$  – coeficient de lunecare elastică uniformă, sau coeficient elastic pentru lunecare orizontală.

$c_{\phi x}, c_{\phi y}$  – coeficient de contracție elastică neuniformă, sau coeficient elastic pentru rotație în jurul unui ax orizontal.

$c_\chi$ , - coeficient de lunecare elastică neuniformă, sau coeficient elastic pentru rotație în jurul unui ax vertical.

Constantele elastice ale rezemării utilizate în calculul pulsațiilor și amplitudinilor vor fi:

- translație verticală  $K_z = c_z \cdot A$  (6.39)

- translație orizontală  $K_x = c_x \cdot A$  (6.40)

$$K_y = c_y \cdot A \quad (6.41)$$

- rotație în jurul unui ax orizontal (o – x)  $K_{\phi x} = c_{\phi x} \cdot I_x$  (6.42)

- rotație în jurul unui ax orizontal (o – y)  $K_{\phi y} = c_{\phi y} \cdot I_y$  (6.43)

- rotație în jurul unui ax vertical ( $o - z$ )

$$K_{xx} = c_x \cdot I_{xy} \quad (6.44)$$

În aceste relații,  $A$ ,  $I_x$ ,  $I_y$ ,  $I_{xy}$ , suprafața și momentele de inerție ale suprafeței de reazem pe suport

**6.6.1 Considerații teoretice și experimentale.** Majoritatea studiilor și determinărilor s-a efectuat asupra coeficientului de contracție elastică uniformă (coeficientului pentru contracție elastică verticală)  $c_z$ . Literatura de specialitate și normele de proiectare existente fixează valorilor celorlalți coeficienți elastici utilizați ( $c_x$ ,  $c_y$ ,  $c_x$ ) ca proporție (valorică) față de coeficientul  $c_z$ .

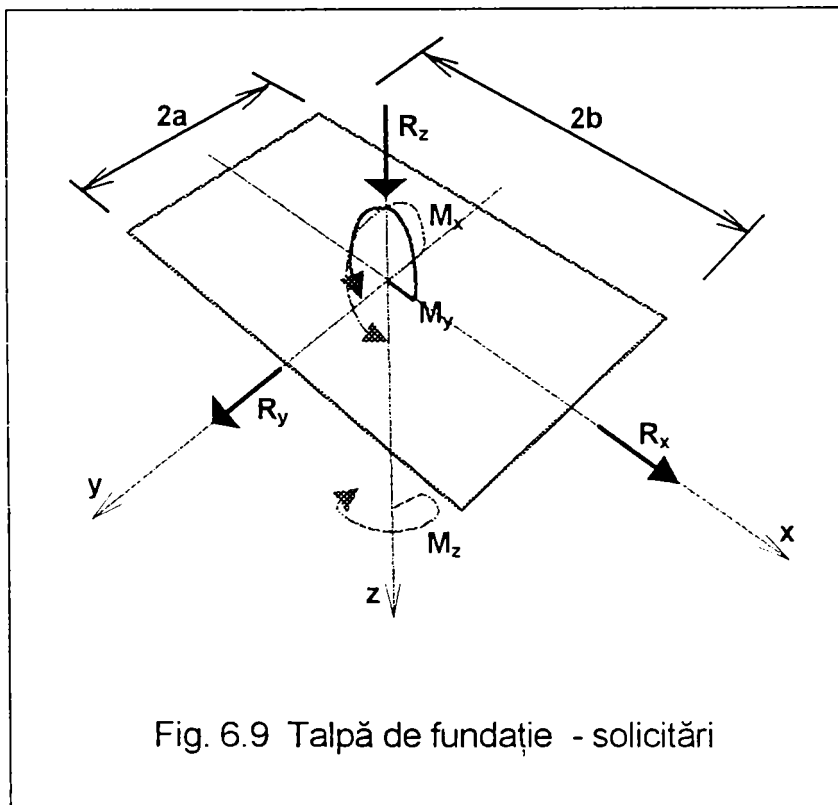


Fig. 6.9 Talpă de fundație - solicitări

Valorile coeficienților elastici depind de toate caracteristicile solurilor care influențează valorile modurilor de elasticitate  $E$ ,  $E_d$ ,  $G$ ,  $\mu$ , de presiunea realizată sub talpa fundației  $p$ , de mărimea și forma suprafeței de reazem pe sol  $A$ , precum și de rigiditatea relativă a tălpii fundației masive. Această rigiditate relativă influențează foarte mult asupra distribuției eforturilor de sub talpa fundației pe teren. Vom avea :

- Talpă de fundație elastică

- eforturile sub talpă se vor distribui uniform, tasările solului sub talpa fundației vor fi neuniforme.

- Talpă de fundație absolut rigidă - eforturile sub talpă se vor distribui neuniform, tasările solului sub talpa fundației vor fi uniforme.

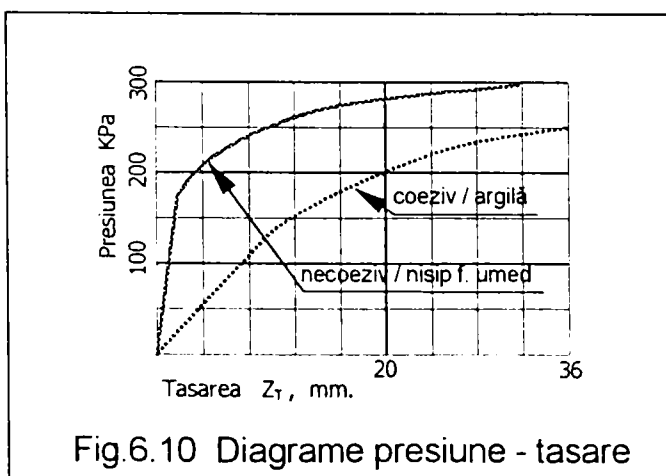


Fig.6.10 Diagrame presiune - tasare

Valoarea presiunilor asupra solului are o mare importanță, la presiuni relativ mici (cca. 150 KPa) diagramele de încărcare - tasare fiind liniare. Funcție de mătura solului (coeziv - necoeziv) valorile tasărilor fiind sensibil diferite, mult mai mari pentru soluri coezive. Peste cca. 150 KPa presiune pe sol, deformațiile plastice ale solului se accentuează.

Astfel, Schleicher, determină pentru o fundație circulară, absolut rigidă, expresia lui coeficientul de contracție elastică uniformă  $C_z$  (coeficient elastic pentru translații verticale) :

$$C_z = \frac{1.13 \cdot E}{(1 - \mu^2) \sqrt{A}} \quad (6.45)$$

în care :

$E$  – modulul de elasticitate

$\mu$  – coeficient de contracție transversală (Poisson)

$A$  – suprafața de reazem

Pentru tălpi de fundație dreptunghiulare, având raportul laturilor  $a = 2a / 2b$  (vezi Fig.6.10), relația se poate scrie :

$$C_z = \frac{\chi_z \cdot E}{(1 - \mu^2) \cdot \sqrt{A}} \quad (6.46)$$

Valoarea coeficientului  $\chi_z$  se calculează cu relația :

$$\chi_z = \frac{\pi \cdot \sqrt{\alpha}}{(1 + \alpha) \cdot \ln \frac{\sqrt{1 + \alpha^2} + \alpha}{\sqrt{1 + \alpha^2} - \alpha} - \frac{2}{3} \cdot \frac{(1 + \alpha^2)^{\frac{3}{2}} - (1 + \alpha^3)}{\alpha}} \quad (6.47)$$

Similar, pentru coeficientul de lunecare elastică uniformă  $C_x$  (coeficient elastic pentru translații orizontale), vom avea :

$$C_x = \frac{\chi_x \cdot E}{(1 - \mu^2) \cdot \sqrt{A}} \quad (6.48)$$

Valoarea coeficientului  $\chi_x$  se calculează cu relația :

$$\chi_x = \frac{\pi}{2\sqrt{\alpha} \left\{ \frac{1}{\alpha} \operatorname{arcsinh} \alpha + \operatorname{arcsinh} \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{3} \left[ \frac{1}{\alpha^2} (\sqrt{1 + \alpha^2} - 1) + \sqrt{1 + \alpha^2} - \alpha \right] \right\} + \frac{\mu}{1 - \mu} \left( \frac{1}{\alpha} \operatorname{arcsinh} \alpha + \frac{1}{3} \left[ \sqrt{1 + \alpha^2} - \alpha - \frac{2}{\alpha^2} (\sqrt{1 + \alpha^2} - 1) \right] \right)} \quad (6.49)$$

Analog, pentru coeficientul de contracție elastică neuniformă  $C_\varphi$  (coeficientul elastic pentru rotație în jurul unei axe orizontale), Barkan a dedus relația :

$$C_\varphi = \frac{\chi_\varphi \cdot E}{(1 - \mu^2) \cdot \sqrt{A}} \quad (6.50)$$

Valoarea coeficientului  $\chi_\varphi$  se calculându-se cu relația :

$$\chi_{\varphi} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \alpha \cdot \sqrt{\alpha}}{2 \cdot \alpha \cdot \ln \frac{\sqrt{4\alpha^2 + 1} + 1}{\sqrt{4\alpha^2 - 1} - 1} + \sqrt{4\alpha^2 + 1} - 1} \quad (6.51)$$

Pentru valorile  $E$ ,  $\nu$ ,  $A$ , semnificațiile fiind cele cunoscute de mai sus.

Pentru valori ale raportului laturilor suprafeței de rezemare ( $a$ ) prin literatura de specialitate sunt date valori calculate ale coeficienților  $c_z$ ,  $c_x$ ,  $c_{\omega}$ , recomandate de mai mulți cercetători și verificate experimental. Tab. 6.22 reproduce câteva dintre acestea.

Coeficienți pentru calculul coeficienților elastici ai solurilor.

Tab.6.22

$\alpha = \frac{2a}{2b}$	coeficienți Schleicher			coeficienți Gorbunov – Posadov		
	$c_z$	$c_{\omega}$	$c_x$	$c_z$	$c_{\omega}$	$c_x$
0.20	1.22	1.62	0.55	1.30	2.31	0.53
0.333	1.13	1.65	0.53	1.21	2.36	0.53
0.50	1.09	1.72	0.54	1.17	2.44	0.54
1.00	1.06	1.98	0.50	1.14	2.83	0.50
1.50	1.07	2.24	0.45	1.15	3.22	0.45
2.00	1.09	2.50	0.42	1.17	3.54	0.42
3.00	1.13	2.97	0.37	1.21	4.15	0.37
5.00	1.22	3.59	0.29	1.30	5.45	0.29

Recomandările literaturii de specialitate pentru aprecierea valorică a coeficienților elastici  $C_x$ ,  $C_{\omega}$  și  $C_{\chi}$ , funcție de valoarea coeficientului  $C_z$ , (în urma unui mare volum de cercetări efectuate), sunt :

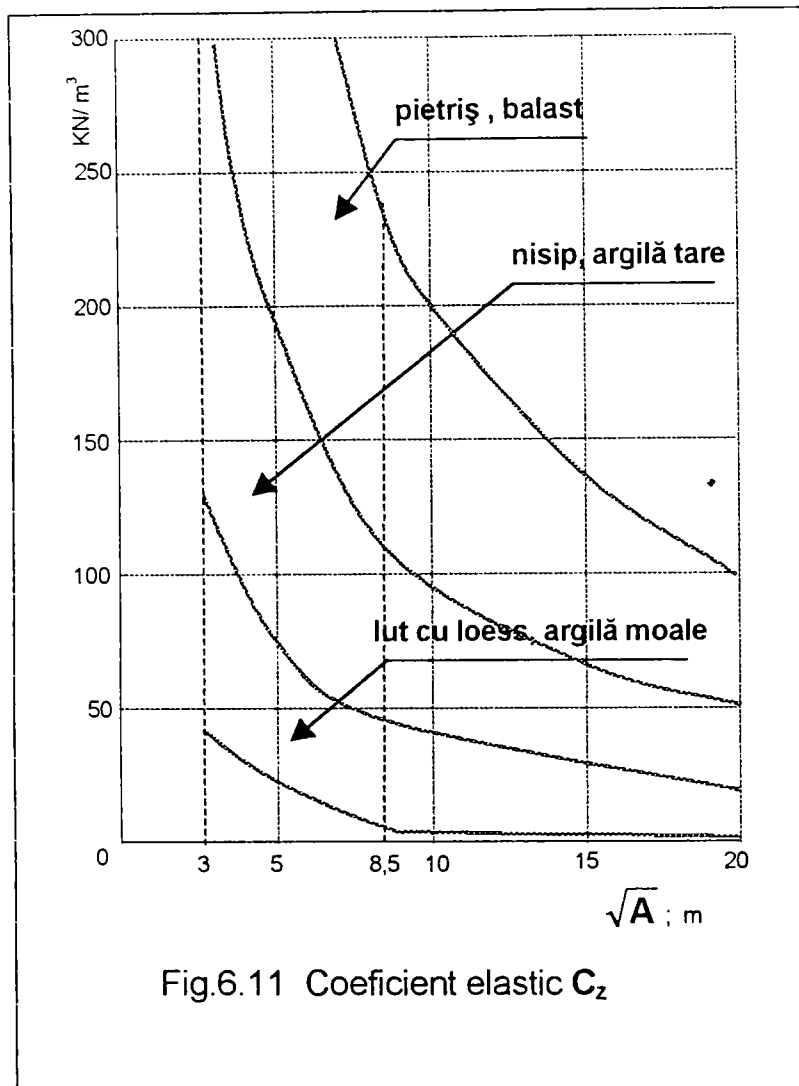
- coeficientul elastic pentru translații orizontale  $C_x$   
după cercetători și norme rusești  $C_x = 0.5 C_z$   
după cercetători și norme germane  $C_x = 1/3 C_z$  sol coeziv  
după cercetători și norme germane  $C_x = 2/3 C_z$  sol necoeziv
- coeficientul elastic pentru rotație în jurul unui ax orizontal  $C_{\varphi} = 2.0 C_z$
- coeficientul elastic pentru rotație în jurul unui ax vertical  $C_{\chi} = 1.5 C_z$

### 6.6.2. Metode și valori recomandate în aprecierea coeficienților elastici ai solurilor.

Prin literatura de specialitate sunt recomandate o serie de valori sau metode de calcul pentru aprecierea coeficienților elastici ai solurilor.

Metodele acestea se aplică pentru situațiile cele mai uzuale în care nu se efectuează determinări speciale ale coeficienților elastici utilizându-se valori ale caracteristicilor de geotehnică ale solurilor determinate curent la stabilirea caracteristicilor de rezistență și stabilitate ale solurilor cuprinse prin referatele de geotehnică ale amplasamentelor. Astfel putem menționa :

## 6.6.2.1. Recomandare Rausch.

Fig.6.11 Coeficient elastic  $C_z$ 

apărând ca primă recomandare în literatură, valorile coeficientului elastic se deduc din valorile modulelor de elasticitate dinamică  $E_d$  (vezi Tab. 6.13) cu ajutorul relației :

$$C_z = \frac{E_d}{f\sqrt{A}} \quad (6.52)$$

în care :

- $E_d$  , modul de elasticitate dinamic
- $A$  , suprafața de reazem pe sol.
- $f$  , coeficient de forma a suprafeței de fundare, având valorile în tab.6.23

În literatură se găsește și graficul pentru aprecierea rapidă a coeficientului  $C_z$  reprodus în Fig.6.11. în raport cu  $\sqrt{A}$  (suprafața).

Rausch recomandă valori pentru coeficientul  $C_{\varphi} = 1,6 C_z$  , iar pentru coeficienții  $C_x = (1/3 - 2/3) C_z$  funcție

de natura terenului de fundare, terenuri necoezive sau terenuri coezive.

coeficient de formă  $f$

Tab. 6.23

raport laturi (2a / 2b)	1 : 1	1 : 2	1 : 4
coeficient $f$	0,45	0,42	0,35

## 6.6.2.2 Recomandare norme rusești TU 60 – 49 ,

Tab. 6.24

Categoria solului	Natura terenului bun de fundare (solului)	Presiune statică admisibilă $p_a$ KPa	$C_z$ MN / m <sup>3</sup>
I	Terenuri slabe, (argilă plastică, pământ nisipos, terenuri de categoria II și III amestecate cu măr)	Până la 150	Până la 30
II	Terenuri de rezistență mijlocie (argile la limita de plasticitate, nisipuri)	150 ... 350	Până la 60
III	Terenuri rezistente (argilă tare, nisip cu pietriș, loess, argilă cu loess)	350 ... 600	Până la 100
IV	Terenuri stâncoase	Peste 600	Peste 100

Pentru suprafețe sub 10 m<sup>2</sup> valorile din tabel se înmulțesc cu factorul  $3.2/\sqrt{A}$

Suprafața de reazem a fundației  $A$

Valori pentru  $C_{\varphi} = 2 C_z$  ;  $C_x = 0.5 C_z$

## 6.6.2.3. Recomandare Savinov, funcție de presiunea admisă la cota de fundare

Tab. 6.25

presiune admisă la cota de fundare (KPa)	100	200	300	400	500
valoare coeficient elastic $C_z$ ( $\text{MN}/\text{m}^3$ )	20	40	50	60	70

6.6.2.4. Recomandare Savinov și Filonenco – Borodici, considerând modelarea solului ca două membrane elastice încrucișate având lățimile  $2a$  și respectiv  $2b$  și lungime infinită, fundația fiind un bloc rigid cu dimensiunile în plan  $2a$  și  $2b$

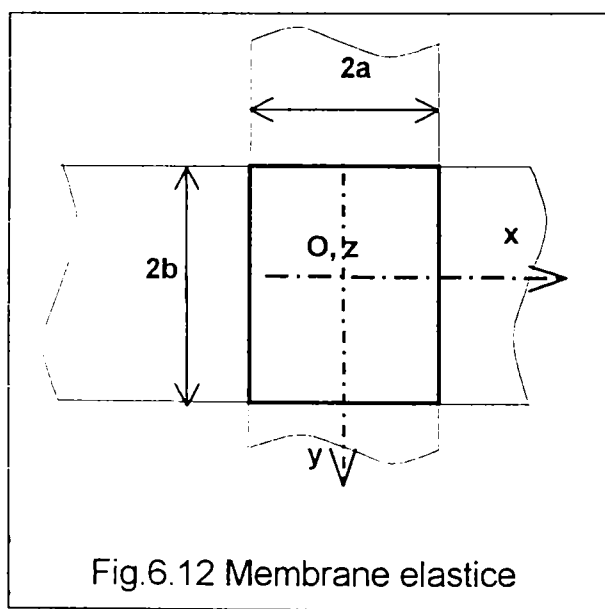


Fig.6.12 Membrane elastice

Relațiile practice de calcul ale coeficienților elastici vor fi :

$$C_z = C_0 \left[ 1 + \frac{2(a+b)}{\Delta \cdot A} \right] \cdot \sqrt{\frac{p}{p_0}} \quad (6.50)$$

$$C_\varphi = C_0 \left[ 1 + \frac{2(a+3b)}{\Delta \cdot A} \right] \cdot \sqrt{\frac{p}{p_0}} \quad (6.51)$$

$$C_x = D_0 \left[ 1 + \frac{2(a+b)}{\Delta \cdot A} \right] \cdot \sqrt{\frac{p}{p_0}} \quad (6.52)$$

În aceste relații s-au utilizat notațiile :

- $\Delta$  coeficient de transformare =  $1 \text{ m}^{-1}$
- $p$  presiunea statică realizată sub talpa fundației masive.
- $p_0$  presiune de referință = **20 KPa**
- $C_0 = 1.7 \frac{E_0}{(1-\mu^2)}$  [ $\text{MN}/\text{m}^3$ ] (6.53)
- $D_0 = 1.7 \frac{E_0}{(1+\mu) \cdot (1-0.5\mu)} = \frac{(1-\mu)}{(1-0.5\mu)} C_0$  [ $\text{MN}/\text{m}^3$ ] (6.54)
- $A = a \cdot b$  [suprafața de reazem,  $\text{m}^2$ ]
- $E_0$  - modul de elasticitate static (Young), determinat în laborator la o presiune  $p_0 = 20 \text{ KPa}$ .
- $\mu$  - coeficient de contracție transversală (Poisson), vezi Tab. 6.16

Considerând o valoare medie a coeficientului  $\mu = 0.40$ , rezultă  $C_0 = 0.75 D_0$ .

În condițiile încercărilor pentru determinarea modului de elasticitate statică  $E_0$  la presiunea  $p_0 = 20 \text{ KPa}$ , Savinov face, pentru o clasificare a solurilor în funcție de caracteristicile lor, o clasificare după valorile  $C_0$  redată în Tab. 6.26

Valori ale coeficientului  $C_0$  pentru diferite categorii de terenuri.

Tab. 6.26

categoria solului	caracteristica solului	descrierea solului	valoare coef. $C_0$ MN / m <sup>3</sup>
I	moale	pietriș, păm. argilos și argilă plastică aproape de limita de curgere, teren cu praf și măr, cu porozitate mică, saturat cu apă	5 – 8
II	cu tărie redusă	pietriș, pământ argilos și argilă plastică, teren prăfos cu porozitate mijlocie saturat cu apă	8 – 15
III	cu tărie mijlocie	pietriș, pământ argilos și argilă plastică, nisip prăfos și afânat, nisip cu granulație și porozitate de orice fel, pietriș, loess cu umidit. natur.	15 – 20
IV	tare	pământ argilos și argilă foarte plastice și dure	20 - 30

**6.6.2.5.** Recomandare Korneev, în principal îmbunătățește experimentările făcute de Schleicher, propunând împreună cu Gorbunov Posadov o îmbunătățire a valorii coeficienților (menționați în Tab.6.22), utilizându-se formulele :

$$C_z = \frac{\chi_z \cdot E}{(1 - \mu^2) \cdot \sqrt{A}} \quad (6.46)$$

$$C_\varphi = \frac{\chi_\varphi \cdot E}{(1 - \mu^2) \cdot \sqrt{A}} \quad (6.50)$$

Pentru valoarea coeficientului  $C_x$  propune utilizarea unei formule modificate,

$$C_x = \frac{\chi_x \cdot E}{(1 - \mu \cdot \chi_x) \cdot (1 + \mu) \cdot \sqrt{A}} \quad (6.55)$$

Valorile coeficienților de calcul sunt redate în Tab. 6.22

**6.6.2.6.** Recomandare Muller (Baudynamik, Beton Kalender 1978 Teil II) pentru terenurile clasificate se redau "modulii de rigiditate"  $E_R$  statici și dinamici, (proporționali cu coeficienții de deformație transversală Poisson și modulul de elasticitate longitudinală Young). Valorile acestor moduli de rigiditate sunt redate în Tab.6.27.

$$E_R = \frac{E \cdot (1 - \mu)}{(1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu)} \quad (6.56)$$

Valorile pentru coeficienții elastici vor fi :

$$C_z = \frac{E_{Rdin}}{\chi_z \cdot \sqrt{A}} \quad (6.57)$$

$$C_\varphi = \frac{E_{Rdin}}{\chi_\varphi \cdot \sqrt{A}} \quad (6.58)$$

$$C_x = (0.3 - 0.5) C_z \quad (6.59)$$

Valorile coeficienților  $\xi_z$  și  $\xi_\varphi$  sunt date funcție și de grosimea stratului elastic deformabil existent sub talpa de fundație, în Tab. 6.28

Valori pentru modulii de rigiditate ai diferitelor soluri

Tab. 6.27

natura sol	tipul solului	modul de rigiditate $E_R$	
		static	dinamic
		MN / m <sup>2</sup>	MN / m <sup>2</sup>
necoeziv	nisip, îndesare mijlocie ( $I_D = 0.3 - 0.5$ )	35 - 55	110 - 170
	nisip îndesat ( $I_D = 0.5 - 0.7$ )	55 - 80	170 - 250
	nisip cu balast neuniform	70 - 140	200 - 400
	pietriș	100 - 150	300 - 450
	balast fără nisip, pietre, grohotiș	100 - 200	300 - 650
coeziv	argilă consistentă tare ( $I_C$ peste 0.75)	20 - 40	140 - 280
	argilă semiconsistentă ( $I_C = 0.50$ la 0.75)	10 - 20	70 - 140
	argilă tare ( $I_C = 0.75$ la 1.00)	5 - 10	35 - 70
	argilă nisipoasă semiconsistentă	15 - 25	75 - 120
	argilă nisipoasă tare	8 - 15	40 - 80

Coeficienți  $\xi_z$  și  $\xi_\varphi$

Tab.6.28

raport laturi, $a / b$			1	1.50	2.00	4.00
coeficient $\xi_z$			0.45	0.43	0.42	0.35
coeficient $\xi_\varphi$	raport grosime strat deformabil / lațime talpă fundație $z / b$	0.50	0.23	0.22	0.21	
		1.00	0.29	0.30	0.30	
		2.00	0.31	0.34	0.36	
		infinit	0.32	0.36	0.38	

- grosime strat deformabil sub talpa fundației  $z$

- lățimea tălpii fundației  $b$

**6.6.2 Coeficienți elastici echivalenți.** În situația când sub talpa fundației se găsesc două straturi distincte de soluri de natură diferită, primul de grosime  $h_1$ , Jelen în baza ariei de rețemare a fundației propune un coeficient elastic echivalent dat de formula :

$$C_{ze} = \frac{C_{z1}}{n^{2.5} \cdot \left[ 1 - \frac{2}{\pi} \left( 1 - \frac{1}{n^{3.5}} \right) \arctan \frac{n \cdot h_1}{D} \right]} \quad (6.60)$$

în care :

-  $h_1$  ,  $C_{z1}$  înălțime și coeficient elastic al stratului nr. 1

-  $C_{z0}$  coeficient elastic al stratului de bază cu adâncime nelimitată



$$n = 2.5 \sqrt{\frac{C_{z1}}{C_{z0}}} \quad ; \quad D = 2 \sqrt{\frac{a \cdot b}{\pi}} \quad (6.61) ; (6.62)$$

**6.7 Valori experimentale.** O serie de autori publică date referitor la valori ale coeficienților elastici determinate în condiții de laborator sau pe fundații executate (în exploatare). Remarcăm valori publicate de Acad. Gh. Buzdugan :

Valori experimentale pentru coeficienții elastici  $C_z$ 

Tab.6.29

teren bun de fundare (natură sol)	presiune statică MPa	$C_z$ MN / m <sup>3</sup>
Nisip fin, argilos	0.027	40...65
	0.054	70
	0.108	145...160
Nisip fin, nisip cu granulație medie, nisip argilos	0.027	55...75
	0.054	110...115
	0.108	175...200
Nisip cu granulație medie	0.027	50...85
	0.054	80...105
	0.108	115...185
Nisip cu granulație medie până la mare, înainte de compactare	0.027	80
	0.054	140
	0.100	240
Nisip cu granulație medie până la mare, după de compactare	0.027	130
	0.054	180
	0.100	255
Pietriș argilos, foarte compact	0.027	90
	0.054	160
	0.108	260
Straturi de nisip și pietriș	0.027	90
	0.054	140
	0.108	240
Pietriș cu conglomerat de pietre (bolovăniș)	0.03	100...110
	0.06	140...155
	0.11	190...270

Masurători "in situ" a coeficienților elastici  $C_z$  la fundații în exploatare

Tab.6.30

Natura terenului	Locul Experimentării	Condiții de experimentare		Rezultatele experimentale		
		S (m <sup>2</sup> )	P <sub>s</sub> (MN / m <sup>2</sup> )	f <sub>z</sub> (Hz)	C <sub>z</sub> (MN/m <sup>3</sup> )	coef.amort 2ζ
Nisip consolidat prin coloane de balast. Grosimea stratului de nisip de 2.10 m.	Midia - Năvodari	0.50	0.02	34.40	95	0.54
		0.50	0.05	28.50	179	0.32
		0.50	0.09	25.80	245	0.24
		0.75	0.02	27.80	71	0.17
		0.75	0.05	26.30	152	0.27
		1.00	0.02	24.70	46	0.16
		1.00	0.05	23.00	104	0.60
		2.00	0.05	19.00	77	0.44
		2.00	0.07	18.00	93	0.49
		12.25	0.07	11.40	36	0.17
		45.50	0.05	14.30	44	
		67.86	0.06	12.70	35	
		197.20	0.06	11.20	27	
221.00	0.05	11.20	24			
Nisip consolidat prin batere cu maiul greu	Midia - Năvodari	0.50	0.02	38.5	85	0.18
		0.50	0.05	27.5	170	0.11
		0.50	0.09	28.5	299	0.22
		1.00	0.02	29.9	68	0.06
		1.00	0.05	30.5	183	0.37
Pietriș aluvionar	Brazi	0.50	0.07	37.00	364	0.12
		0.50	0.09	32.90	391	0.12
		1.00	0.05	32.70	206	0.13
		12.00	0.06	22.40	114	0.23
Calcar uscat	Cernavodă	0.50	0.08	35.00	380	0.04
Marnă saturată	Cernavodă	0.50	0.09	32.60	382	0.10
Marnă	Cernavodă	0.50	0.09	27.00	261	0.08
		18.10	0.28	24.30	632	0.29
Pământ argilos	București	1.00	0.05	17.7	62	
Balast compactat	Zlatna	10.90	0.04	13.80	29	

## Cap.7 Metoda de fundare directă pe / în perne elastice din balast compactat.

Metoda a fost realizată în anii 1985, aplicându-se la realizarea fundațiilor masive pentru un mare număr de mașini mari componente ale echipamentelor instalațiilor termoenergetice din România. Acest procedeu de fundare pentru mașini face obiectul brevetului de invenție OSIM nr. RO 97466, înregistrat de către întocmitorul prezentei teze.

**7.1 Introducere.** Prezentat succint la punctul 3.5.2c2 din prezenta teză, acest procedeu de fundare (metodă), rezolvă o problemă tehnică deosebit de complexă, cea a izolării antivibratorii și realizării unei transmisibilități reduse a vibrațiilor fundațiilor ventilatoarelor de aer, gaze recirculate și gaze arse. Aceste ventilatoare sunt amplasate în zona de "spate cazan" a centralelor termoenergetice.

Caracteristic acestei zone de amplasare este marea densitate de fundații cu solicitări importante statice, susținând structuri de rezistență pentru electrofiltre, preîncălzitori de aer, estacade de suport conducte tehnologice și / sau canale de aer sau gaze arse, structuri de rezistență sală cazan, stații electrice, stație de pompe Bagger, fundație coș de fum. Zona este afectată de trasee de gospodărie tehnologică subterană, cum sunt canalele de cabluri, sau cele de zgură și cenușe (șlam), trasee de conducte îngropate și canalizări.

Spațiul asigurat prin amplasament este insuficient pentru realizarea unor procedee de fundare directe pe / în terenul bun de fundare pentru toate fundațiile existente, datorită multiplelor suprapuneri de suprafețe de fundare între fundațiile cu solicitări statice și cele cu solicitări dinamice (de mașini). În această situație, pentru fundarea mașinilor mari s-au aplicat procedee de fundare indirectă, de izolare activă antivibratorie a surselor producătoare de vibrații.

Realizarea unor fundații masive de mașini având o bună amortizare a vibrațiilor și o valoare redusă pentru transmisibilitatea către alți receptori (instalații) amplasate în zonă, a impus soluții de izolare antivibratorie de mare tehnicitate, având costuri ridicate atât în execuție cât și (mai ales) în întreținere (exploatare).

**7.2 Soluții tehnice aplicate.** Pentru asigurarea cerințelor expuse mai sus, procedeele de izolare antivibratorie activă aplicate fundațiilor masive pentru mașinile mari realizau :

**7.2.1 Fundații masive.** Realizate ca fundații masive subacordate, rezemate elastic pe un bloc de infrastructură din beton simplu. Aceste blocuri de infrastructură, sunt executate peste fundațiile cu solicitări statice din amplasament, înglobând de regulă și

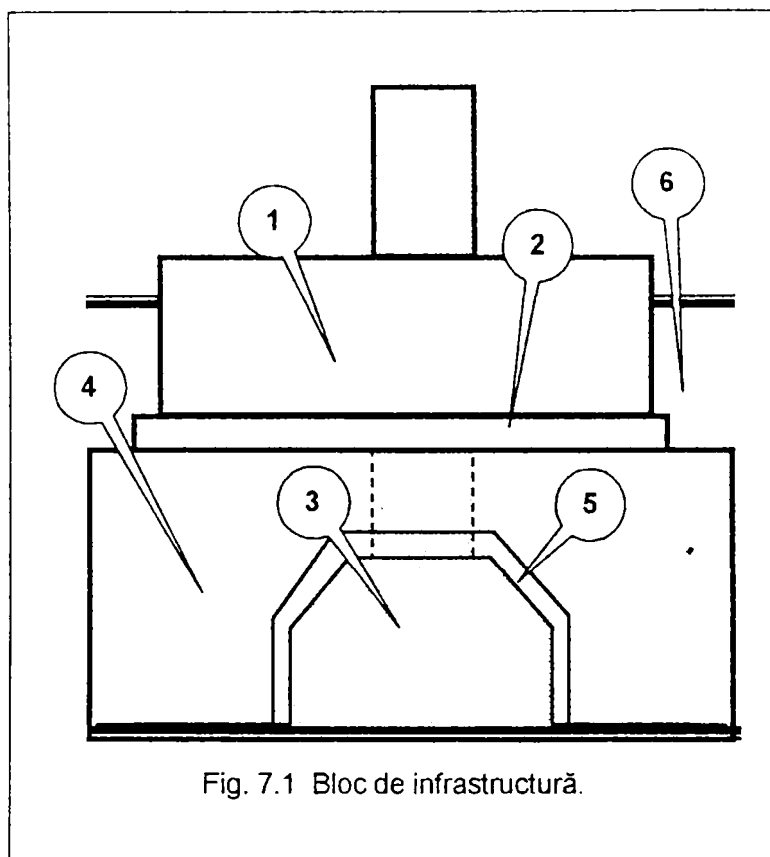


Fig. 7.1 Bloc de infrastructură.

Ultimele două tipuri de susținere tehnologică subterane (canale, sau conducte) din amplasament.

În fig.7.1 avem :

1. - fundație masivă subacordată
2. - zonă activă de vibrație
3. - fundație cu solicitări statice
4. - bloc de infrastructură
5. - rost de tasare între fundații
6. - mplanturi laterale

### 7.2.2 Izolații antivibratorii.

Procedeele de izolare activă antivibratorie utilizate la rezemarea fundației masive pe blocul suport de

infrastructură sunt realizate ca :

- *rezemare pe straturi elastice*, alcătuite din materiale elastice cum sunt plăci de plută sau cauciuc cu inserții textile sau metalice, etc.

- *rezemare pe izolatori*, alcătuiți din :

a) - materiale elastice, plută în rame metalice, izolatori din cauciuc sau din alte materiale elastice.

b) - dispozitive mecanice, casete cu arcuri și amortizori de vibrații.

**7.2.3 Protecția izolării antivibratorii.** Pentru asigurarea păstrării calităților elastice a rezemării elastice împotriva acțiunii în timp a agenților externi (apă, scurgeri accidentale de lichide, gaze etc.), se asigură în toate cazurile protecția izolațiilor antivibratorii prin :

- *protecții locale*, izolații locale a rezemării elastice împotriva acțiunii apelor subterane de acumulare în strat (umiditate naturală, apă fără presiune) vezi detaliul prezentat în fig.3.9.

- *protecții speciale*, cuve de protecție hidroizolate asigurând și spațiile necesare lucrărilor de întreținere sau înlocuire a izolației antivibratorii și prevăzute cu sisteme de drenare și evacuare a deșeurilor acumulate vezi detaliul prezentat în fig. 3.6.

**7.2.4 Întreținerea în exploatare a izolațiilor antivibratorii.** Aceasta se dovedește a fi de o deosebită importanță. Sistemul de rezemare elastică prezintă ca deficiență potențială majoră, posibilitatea apariției în timp a unor defecte care să-i compromită calitățile

elastice. Exemplificăm prin cazuri frecvente de defectare a izolatoarelor mecanici (ruperea de arcuri la casetele cu arcuri) sau pierderea în timp a calităților elastice ale materialelor izolatoare elastice (degradare biologică în cazul plutei, ori, degradare fizico-chimică, mecanică sau îmbătrânire, în cazul altor materiale elastice). Aceste defecțiuni majore apărute în exploatare se pot remedia numai prin înlocuirea elementelor elastice în cauză. Operațiunea este foarte costisitoare și de foarte mare tehnicitate.

**7.2.5 Critica sistemelor de fundare utilizate.** Soluțiile de fundare utilizate, impunând izolarea antivibratorie a acestor fundațiilor pentru aceste mașini mari prezintă în realizare și exploatare multiple dezavantaje. Enumerăm :

a) Soluțiile de fundare sunt de o mare tehnicitate, dificil de realizat și având costuri mari de execuție și întreținere în exploatare.

b) Calitățile elastice ale sistemului elastic utilizat se depreciază în timp datorită unor cauze fizico-chimice (mecanice, coroziuni, îmbătrânire), biologice, de exploatare (deteriorare în urma depășirii limitelor de exploatare la avarii). Lucrările de înlocuire a izolației antivibratorii sunt de mare tehnicitate și costisitoare.

c) Lucrările suplimentare de protecție a izolațiilor împotriva acțiunii mediului și condițiilor de exploatare sunt costisitoare și de mare tehnicitate.

d) Analizând criteriile de dinamică care fundamentează soluțiile aplicate evidențiem:

- soluția de subacordare a pulsațiilor proprii impune realizarea unor fundații de mari dimensiuni, având greutatea proprii însemnate, masa sistemului în vibrație având o mare importanță în definirea domeniului de acordare dinamică.

- în exploatare, fundația masivă de mașină subacordată traversează de două ori *starea limită la rezonanță*, definită prin normele de proiectare (STAS 7206 – 87). Astfel :

la pornirea mașinii, complexul mașină-fundație traversează starea de rezonanță pentru un timp relativ scurt, sub efectul acțiunii puterii motorului, până la atingerea turației de regim în funcționarea normală a mașinii.

la oprirea mașinii, traversarea stării de rezonanță se produce într-un interval lung de timp datorită forțelor inerțiale mari realizate de masele în rotație, forțele de frecare din lagărele de rezemare a rotoarelor fiind reduse.

În situația de rezonanță, solicitările dinamice acționând asupra rezemării elastice sunt puternic amplificate și acționează o perioadă lungă de timp, producând suprasolicitarea fundației, mașinii și izolației elastice asupra acestora acționând și efecte puternice provenind din fenomenul de oboseală. Această stare de eforturi este majorată și mai mult în situația de avarie a mașinii (neechilibrări foarte mari a rotoarelor în mișcare, grupare de solicitare extraordinară) când se produc forțe dinamice acționând pe fundație de valori foarte mari

conducând la frecvente cazuri de colaps pentru mașină, pentru elementele elastice sau fundația masivă, prin depășirea nivelelor maxime de solicitare admise în materialele componente.

### 7.3 Analiza dinamică a funcționării ventilatoarelor mari, identifică :

- natura forțelor dinamice, se produc forțe dinamice inerțiale, acționând asupra fundațiilor masive de mașini,  $F = m r \omega^2$

- mărimea forțelor dinamice, neechilibrate, acționând pe fundație, este direct proporțională cu valoarea coeficientului de amplificare dinamică,  $A_2$  dedus anterior.

- valoarea transmisibilității vibrațiilor,  $T$  către receptorii de vibrații din zonă, este funcție de natura forțelor dinamice produse de către perturbator - forțe inerțiale.

Analiza efectuată în cadrul Cap.2 din prezenta teză, evidențiază variația coeficientului de amplificare dinamică  $A_2$  și transmisibilității  $T$  funcție de *modul de acordare* a pulsațiilor proprii ale fundației masive ( $p$ ) cu pulsațiile perturbatorului ( $n$ ), adică

ulsa ja adimensională ( $\eta$ ). Reprezentările grafice ale variației acestor două valori (Cap.2, fig.2.5 și fig.2.5a) pun în evidență :

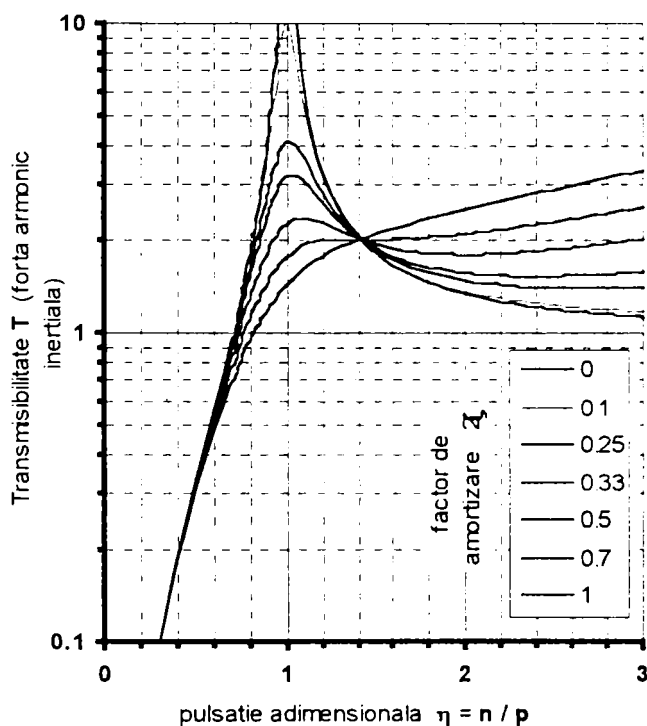


Fig. 7.2 Variație transmisibilitate T

**7.3.1 Variația transmisibilității T.** Din analiza graficului fig. 7.2 (și fig. 2.5a), tragem concluzia că valori reduse pentru transmisibilitate ( $T < 1$ ) se pot obține numai pentru valori ale pulsației adimensionale  $\eta$  subunitare. În această situație, pulsația proprie a fundației masive va fi în domeniul de "supraacordare".

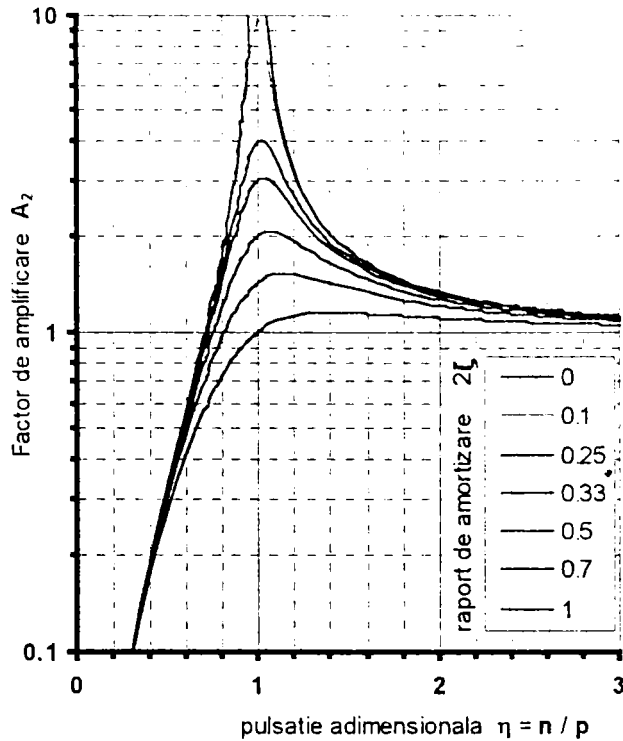


Fig. 7.3 Coeficient de amplificare  $A_2$

### 7.3.2 Coeficientul de amplificare dinamică $A_2$ .

Din analiza graficului fig. 7.3 (și fig. 2.4), tragem concluzia că valori reduse pentru coeficientul de amplificare ( $A_2 < 1$ ) se pot obține numai pentru valorii ale pulsației adimensionale  $\eta$  subunitare. În această situație, pulsația proprie a fundației masive va fi în domeniul de "supraacordare".

**7.3.3 Cerințe în asigurarea unui nivel redus de vibrații.** Analiza celor două grafice prezentate relevă că se poate asigura atât un nivel de vibrații în limite acceptabile cât și o transmisibilitate redusă a acestora către alți receptori din zonă, cu condiția de a se realiza fundații supraacordate față de pulsația perturbatorului.

Realizarea unor fundații de acest tip impune:

- *utilizarea unor fundații de mică greutate proprie, având presiuni reduse pe stratul suport, conducând în același timp și la reducerea unui important volum de lucrări.*

- *asigurarea unor coeficienți elastici cu valoare mare, pentru materialul din care este alcătuit suportul fundației*

- *asigurarea unor valori mari pentru constantele elastice ale rezemării pe suport, prin majorarea suprafețelor de rezemare ale fundației masive pe suport, realizând deci reducerea presiunilor statice acționând asupra acestuia.*

- *exploatarea unor facilități proprii sistemului de fundare utilizat, cum sunt :*

- fundarea directă pe / în stratul suport, acest sistem de fundare fiind de departe cel mai eficient din toate punctele de vedere.

- exploatarea unor performanțe realizate la fundarea directă, cum este efectul umpluturilor laterale, de majorarea pulsațiilor proprii de rototranslație (orizontale) și scădere a valorii amplitudinilor mișcării pe direcție orizontală

#### 7.4 Considerente pentru realizarea acestui nou procedeu de fundare.

În baza experienței practice acumulate la realizarea sistemului de fundații cu solicitări statice, fundate pe / în perne elastice din balast natural compactat precum și la fundarea unor mașini mari pe perne elastice, s-a imaginat și realizat acest procedeu de fundare în perne elastice alcătuite din balast natural compactat, executate înfrățit (în comun) cu alte umpluturi din teren natural din zonă.

Sunt cunoscute din literatură și aplicate curent în practică procedee de fundare realizate prin :

**7.4.1 Fundații masive de mașini în perne elastice delimitate de celelalte umpluturi din zonă prin incinte de susținere.** Executarea acestui procedeu de fundare (recomandat de literatură [75] pentru terenuri foarte slabe de fundare – turbă, mâl, etc.), este împiedecată în cazul zonei de “spate cazan” datorită complicațiilor care apar la executarea incintei de susținere a pernei elastice în situația existenței în amplasament a unor obstacole create prin fundații cu solicitări statice sau gospodărie subterană. Descriș succint în Cap.3, pct. 3.5.3.c1, procedeu de fundare a fost aplicat cu bune rezultate în câteva situații specifice, funcție de posibilități.

**7.4.2 Fundații masive pe pături elastice din nisip uscat compactat.** Procedeu este aplicat curent la “înmuiera” rezemării elastice pentru fundațiile masive, în situația fundării directe pe terenuri foarte tari (marnă, stâncă, depozite de pietrișuri foarte tari – consolidate) și descriș în cadrul Cap.3, pct.3.5.3.b2.

**7.4.3 Fundații (solicitate static) realizate direct în perne elastice din balast natural compactat.** Procedeu are o largă aplicare practică având o serioasă experiență practică în utilizarea lui. Sistemul realizează presiuni reduse în masivul pernei elastice și la rezemarea acesteia pe terenuri slabe de fundare. În perna elastică pot fi realizate și unele fundații secundare (la cote mai ridicate, deasupra cotei de fundare a fundațiilor principale) precum și pot fi înglobate elemente de gospodărie tehnologică subterană.

7.4.4 Metoda de fundare directă pe / în perne elastice alcătuite din balast natural compactat, executate înfrățiț (în comun) cu alte umpluturi din teren natural din zonă și înglobând fundații cu solicitări statice sau gospodărie tehnologică subterană existentă în amplasament.

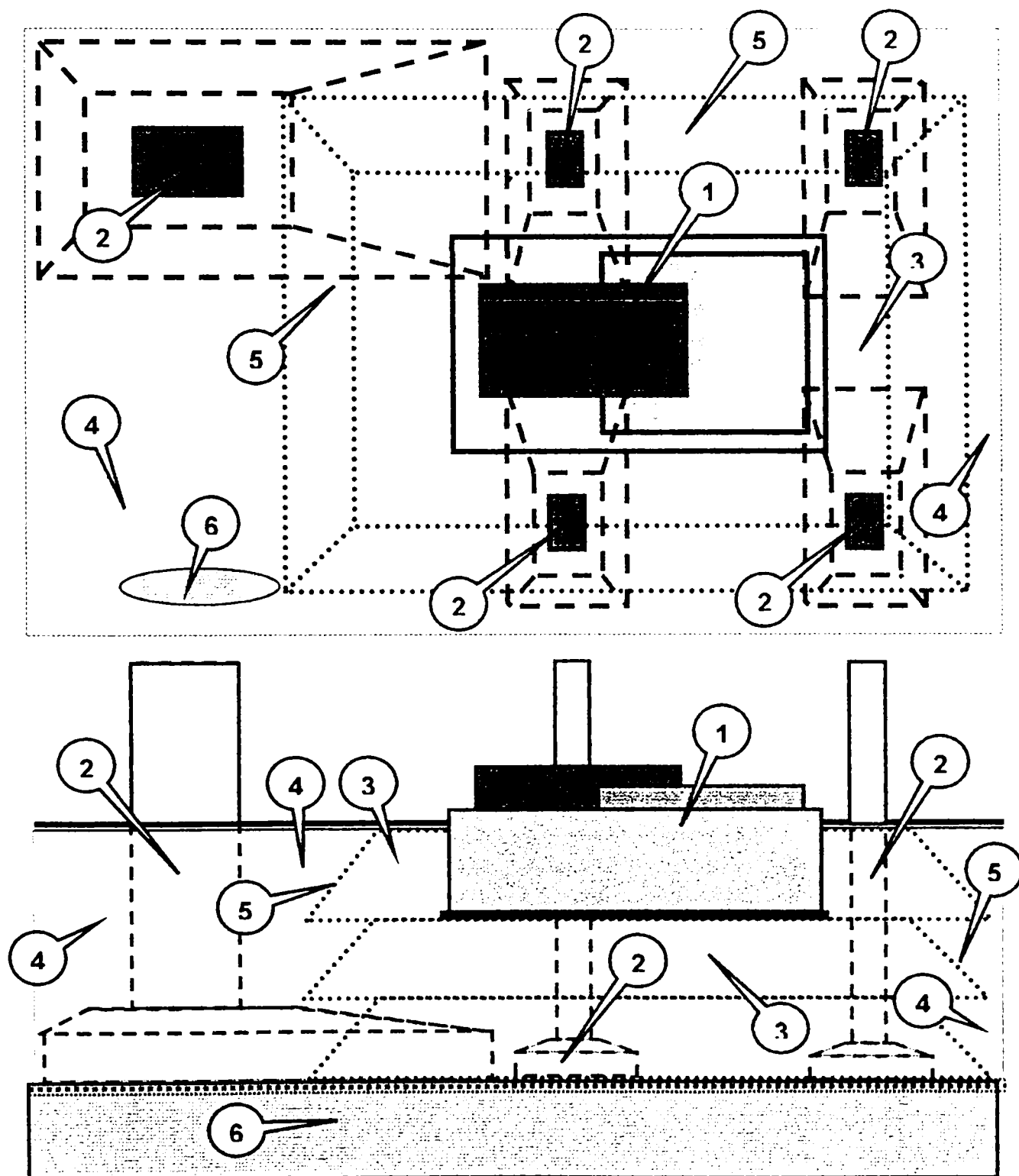


Fig.7.4 Fundație masivă de mașină în pernă elastică din balast natural compactat executată concomitent cu alte umpluturi din teren natural prin procedeul "înfrățiț" și înglobând fundații cu solicitări statice sau elemente de gospodărie tehnologică subterană amplasată în zonă



Realizarea procedeului de fundare este prezentată în fig.7.4, în care avem :

- 1.- Fundație masivă de mașină
- 2.- Fundație cu solicitare statică
- 3.- Pernă elastică compactată din balast natural, executată etapizat din straturi elementare, având taluzurile executate înfrățit cu celelalte umpluturi compactate din teren natural executate în zonă. Perna elastică poate îngloba fundații cu solicitări statice și / sau elemente ale gospodăriei tehnologice existente în amplasament.
- 4.- Umpluturi din teren natural executate în zonă, având taluzurile executate înfrățit cu perna elastică din balast
- 5.- Taluz de înfrățire între perna elastică din balast și umpluturile din zonă.
- 6.- Teren bun de fundare, la cota de fundare.

Executarea practică a unui astfel de suport elastic, o pernă elastică din balast natural alcătuită organizat (compactată), cu garantarea caracteristicilor de rezistență și stabilitate, se poate realiza fără măsuri deosebite privind tehnologia de execuție.

Tehnologia de execuție poate asigura toate cerințele necesare privitor rezistența (presiune minimă asigurată pe strat, compactitate) precum și siguranța în exploatare (deformabilitate – tasări elastice), lucrarea realizându-se la prețuri de cost scăzute.

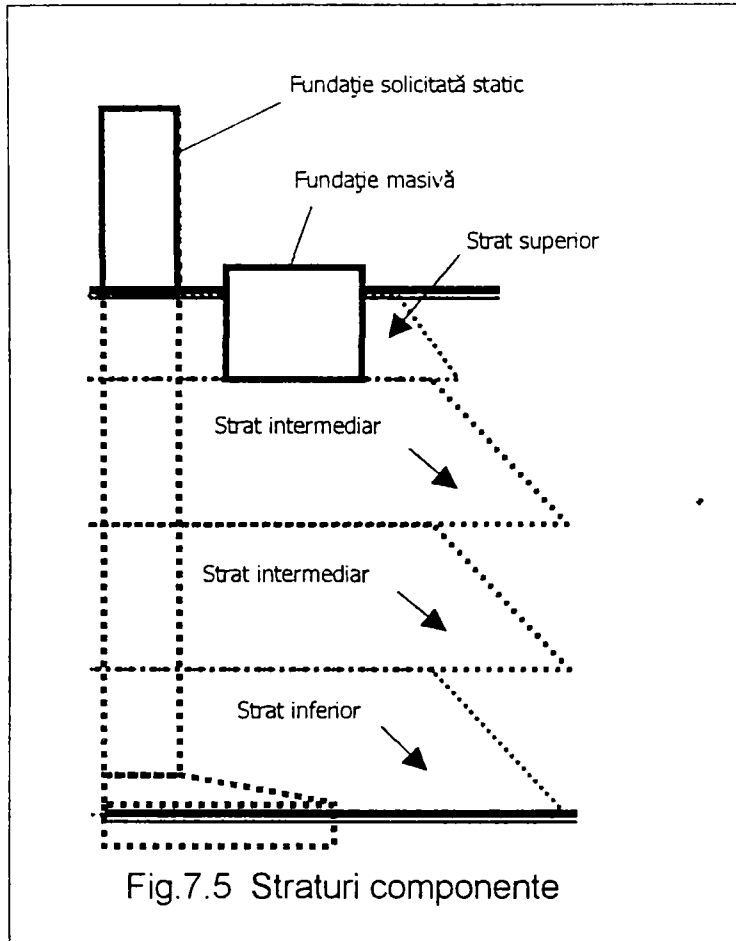
Existența pe / în amplasament a unor obstacole cum sunt fundațiile cu solicitări statice sau elementele de gospodărie tehnologică subterană nu creează probleme din punct de vedere a pernei elastice, impunând numai cota de fundare a fundației masive de mașină.

Realizarea fundației masive ca o fundație supraacordată, fundată direct (încăstrată) în perna elastică din balast natural compactat, are ca prim efect o reducere importantă a volumului de lucrări, deci este economic deosebit de avantajoasă.

Utilizarea avantajelor procedeului de fundare directă, simplifică tehnic execuția lucrărilor, eliminând toate cheltuielile legate de întreținere în exploatare.

**7.5 Tehnologia de execuție.** Pernele din balast natural compactat înlocuiesc local, în zonele de amplasare a fundațiilor masive de mașini, zone din umplutura compactată executată din teren natural în urma săpăturii generale. Lucrările de umplutură se execută etapizat (pe tranșe de înălțime), în straturi de umplutură. Fiecare strat de umplutură este executat la rândul lui din straturi elementare. În fig.7.5 se prezintă modul de realizare a pernei elastice din balast compactat. Astfel lucrările se vor executa în ordinea :

Stratul inferior, (primul strat), rezemând direct pe terenul bun de fundare, înglobează și fundații cu solicitări statice din amplasament sau elemente ale gospodăriei subterane



Stratul (straturile) intermediar (~e), sunt situate peste cota superioară a primului strat și sub cota de rezemare pe perna elastică a fundației masivă. Perna elastică poate îngloba elementele așezate sub fundații secundare (având solicitări statice mici), care în plan orizontal se suprapun local (pe suprafețe mici, sub 20 %), cu fundația de mașină.

stratul superior, (ultimul strat) are de obicei o înălțime egală cu a tălpii fundației masive, realizând efectul de îngropare laterală a fundației în perna elastică și cota de circulație din zonă. În cazul unor înălțimi mari de fundații cu

solicitări statice, acest strat poate fi executat din mai multe straturi.

La rândul său, fiecare strat este realizat din straturi elementare având înălțimea stabilită funcție de performanțele utilajului utilizat la efectuarea compactării.

**7.5.1 Materiale componente.** Perna elastică se va executa din balast natural (agregat de balastieră) având, dacă este cazul, compoziția (curba granulometrică) corectată în așa fel încât la compactare să se poată asigura obținerea unei compactități maxime.

Astfel, pentru execuție se vor folosi :

- a) - un amestec de bolovăniș (cca. 60% fracțiune de 20 – 200 mm.) cu pietriș și nisip (cca. 40%).
- b) - balast (amestec natural din pietriș și nisip) cu bolovăniș (cca. 25%)
- c) - balast nisipos, amestec natural de pietriș și nisip în fracțiuni de pondere apropiată.

Se recomandă ca granulometria agregatelor să fie continuă, granulele având un coeficient de neuniformitate mai mare de **15**. În compoziția materialelor menționate mai sus, se acceptă existența unui procent de conținut de maxim **10%** fracțiuni de praf sau argilă.

În cazul când baza pernei elastice (cota terenului bun de fundare) se găsește sub nivelul apelor subterane, se recomandă ca primul strat să se execute din materiale cu fragmente mai mari, asigurând pernei și calități drenante.

**7.5.2 Parametri compactării.** Calitatea compactării pernei elastice din balast, conferind garanțiile de stabilitate, rezistență și siguranță în exploatare (deformații sub solicitările dinamice), sunt asigurate prin verificările (în laborator) a valorilor pentru :

- Gradul de compactitate ( $D$  %), definit ca :

$$D\% = \frac{\gamma_d}{\gamma_{dmax}} \cdot 100 \quad \text{Valori recomandate între 98\% - 100\%} \quad (7.1)$$

- Gradul de îndesare ( $I_D$ ), definit ca :

$$I_D = \frac{\gamma_{dmax}(\gamma_d - \gamma_{dmin})}{\gamma_d(\gamma_{dmax} - \gamma_{dmin})} \quad \text{Valoare recomandată minim 0.75} \quad (7.2)$$

În formule sau notat prin :

$\gamma_d$  - densitatea aparentă în stare uscată realizată

$\gamma_{dmax}$  - densitatea aparentă maximă în stare uscată,

$\gamma_{dmin}$  - densitatea aparentă minimă în stare uscată

valorile sunt determinate în laborator cu metoda Proctor, conform STAS 1913 / 13

Condițiile caracteristice recomandate umpluturilor vor fi :

Tab.7.1

caracteristici	Simbol	U.M.	tip de balast		
			amestec de bolovăniș	Amestec de pietriș	Nisipos
Greut.volumetrică în stare uscată	$\gamma_d$	KN/m <sup>3</sup>	21.5	21.5 – 20.5	20.5 – 19.5
Umiditate optimă de compactare	$\omega_{opt}$	%	4 – 6	6 – 8	8 – 10
Grad de îndesare	$I_D$	-	minim 75 %		

Modulul de elasticitate dinamic  $E_d$  și coeficientul elastic  $C_z$ , pot fi determinați prin încercări și măsurători "in situ".(vezi Cap.6).

În tabelul de mai jos se redau unele caracteristici de compactare

Tab. 7.2

	teren de fundare (bază)	primul strat (strat de bază)	Straturi intermediare	ultimul strat (superior)
grad de compactare D		$\geq 98$ %	100%	100%
grad de îndesare I	0.33 – 0.66	Minim 0.75		

**7.5.3 Executarea compactării.** Calitatea compactării depinde în egală măsură de natura materialului din care este alcătuită umplutura cât și de caracteristicile de exploatare ale utilajelor cu care se execută compactarea. Un criteriu special este constituit

de faptul că utilajul ales trebuie să poată asigura obținerea unor parametri de compactare maximi atât pentru materialul utilizat în perna elastică (balast natural) cât și pentru terenul natural cu care se execută celelalte umpluturi din zonă, dat fiind tehnologia de executare prin "înfrățire" a acestor umpluturi.

Este recomandată folosirea unor utilaje de compactare care execută compactarea prin metoda "combinată", efectuând în același timp compactarea și vibrarea materialului (prin cilindrare sau batere), pentru reducerea forțelor de frecare interne.

Frecvența vibrațiilor produse de utilaj trebuie să fie cât mai aproape de frecvența proprie pentru materialul granular al pernei, granulometria materialului având un rol esențial în alegerea frecvențelor proprii ale utilajului de compactare. Funcție de diametrele granulelor vom avea frecvențele recomandate prin tabelul :

Tab. 7.3

frecvență	rot./min.	500	1000	2500	5000	10000
Diametru particule	mm.	50	15	20	5	1

Pentru frecvența naturală a terenului și materialului din perna elastică recomandăm valori cât mai apropiate de cele determinate prin măsurători :

Frecvențe proprii terenuri de fundare Ta. 7.4

Natura terenului	Frecvență proprie	
	rot. / min.	Hz.
Teren prăfos	250 – 900	4.2 – 15
Nisipuri	1200 – 2000	20 – 33.33
Balasturi	1500 – 2000	25 – 33.33

Facem mențiunea că valorile de mai sus sunt influențate de gradul de îndesare al materialului care se compactează.

Tehnologia executării lucrărilor de compactare se stabilește de către un geotehnician, pe baza determinărilor de laborator. Un rol deosebit pentru obținerea unor parametri de compactare maximi îl are umiditatea materialului la momentul executării lucrării.

Obținerea gradului de compactare și îndesare maxim se stabilește pe bază de determinări de laborator a umidităților optime și a lucrului mecanic care trebuie efectuat pentru realizarea operației de compactare (numărul de treceri succesive peste aceeași porțiune de teren). Efectuarea unor treceri suplimentare peste porțiunea de teren care se compactează (depășind numărul de treceri recomandat prin determinările de laborator) conduce la scăderea calității compactării, la afânarea materialului compactat

Parametri de compactare

Tab.7.5

		Balast		
		amestec de bolovăniș	amestec de pietriș	nisipos
greutate specifică	KN / m <sup>3</sup>	21.5	21.5 – 20.5	20.5 – 19.5
umiditate	%	4 - 6	6 - 8	8 – 10
grad de îndesare I <sub>D</sub>	-	minim 0.75		

Umidități optime de compactare

Tab.7.6

Structură pământ	Umiditate optimă %	
	P 6	P 27
Argilă prăfoasă	16 - 22	12 – 17
Nisip argilos	13 - 16	10 – 13
Nisip	8 - 11	6 – 8
Pietriș	4 - 8	3 – 6
Balast	2 - 6	2 – 5

Notă : valori determinate conf. STAS 1913 / 13 – 73, cu metoda Proctor, P 6 - lucru mecanic L = 6 daJ/cm<sup>3</sup>  
Proctor modificată, P 27 - lucru mecanic L = 27 daJ/cm<sup>3</sup>

Utilaje de compactare, caracteristici principale

Tab.7.7

utilaj	grosime strat elementar cm.	număr de treceri succesive	frecvență vibrații proprii utilaj Hz.	forța produsă KN
placă vibrantă 250 Kg.	25 - 35	4 - 6	40 - 50	1.00
600 Kg.	35 – 50	4 - 8		2.75
750 Kg.	30 – 70	4 - 6		3.5 – 5.0
1500 Kg.	50 – 80	4 - 6		8.0
mai mecanic	30 – 40	2 - 3	9.50	
rulou compactor tractat W.V.W 600	50 – 70	3 - 4		
rulou compactor neted 50 KN	25 – 30	4 - 6	10 – 40	10 – 40
Compactor. Vibrator ușor	30 – 50	3 - 5	25 – 50	25 – 40
Mediu	60 – 80	4 - 6		70 – 100
Greu	100 – 120	4 - 6		150 – 200
rulou compactor cu doi cilindri, ușor	30 – 50	4 - 6		25 – 40
idem, mediu	40 - 60	4 - 6		50 - 70
idem, greu	80 - 100	4 - 6		<150

Ne respectarea umidităților optime prescrise are la fel efecte negative asupra parametrilor compactării. În tabelele de mai sus se dau câteva valori aproximative pentru umiditățile optime (determinate în laborator) și caracteristici ale unor utilaje utilizate curent la acest gen de lucrări, menționate prin literatură.

**7.5.4 Pregătirea patului pernei elastice.** Realizarea cotei de fundare pentru perna elastică se va face obligatoriu prin executarea unei compactări a terenului bun de fundare.

Astfel, cota de săpătura generală trebuie să fie săpată cu cca. 15 –25 cm. mai sus decât cota necesară de fundare.

Realizarea cotei de fundare se va face executându-se o compactare de fund de groapă, care să aducă terenul bun de fundare la o stare de îndesare de cel puțin "mijlocie" (gradul de îndesare  $0.33 < I_D < 0.66$ ).

În situația când cota la care se fundează este sub nivelul apelor subterane, executarea primului strat al pernei se va face cu aceleași restricții ca și pentru fundațiile cu solicitări statice din zonă (lucrări de epuismențe, drenaje, etc.). Materialul din primul strat va fi executat din materiale cu granule mai mari (eventual cu piatră spartă) asigurându-se pentru acesta și calități drenante, eventualele epuismențe care se execută în zonă să nu produc subspălarea pernelor elastice.

**7.6 Proiectarea pernelor elastice din balast natural.** La întocmirea proiectului pentru perna elastică se vor asigura și prevederile constructive, cerute de norme pentru executarea pernelor elastice din balast, cu solicitări preponderent statice. Stabilirea dimensiunilor constructive ale pernei elastice vor ține cont de următoarele cerințe privind modul de realizare :

**7.6.1 Condiții generale.** Perna elastică este realizată (pe verticală) dintr-o succesiune de straturi elastice caracteristice. Fiecare strat, la rândul lui, este realizat din straturi elementare compactate. Înălțimea straturilor elementare se stabilește funcție de tehnologia de compactare și de performanțele utilajului cu care se va executa lucrarea.

Funcție de poziția lor pe verticala pernei elastice se vor executa :

- stratul inferior, în contact cu terenul bun de fundare.

Va avea înălțimea stabilită de așa manieră încât să se poată îngloba în aceste fundațiile cu solicitări statice din amplasament sau elementele gospodăriei tehnologice subterane situate la mare adâncime. Acest strat poate fi situat și imersat, (datorită apelor subterane din amplasament), caz în care i se va asigura o compoziție granulometrică având și caracter drenant, menționată la punctul anterior, pentru a se evita subspălarea balastului în cazul executării (ulterioare) a unor epuismențe.

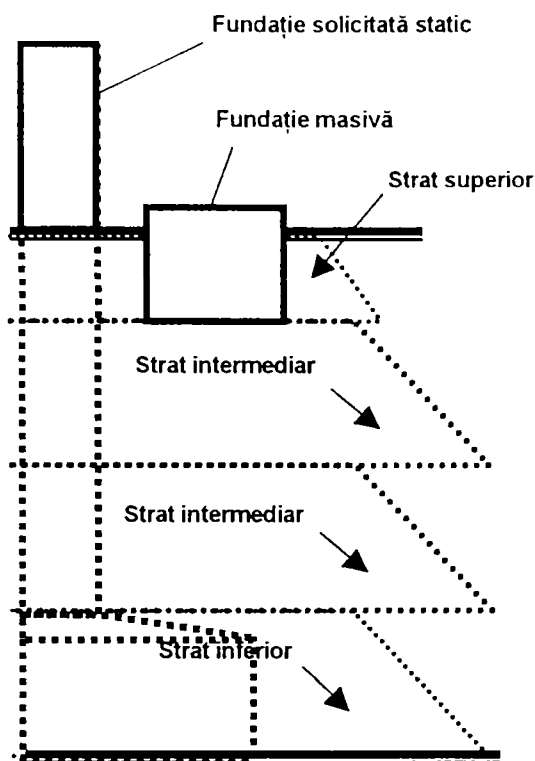


Fig.7.6 execuție etapizată pernă elastică din balast

- stratul intermediar, are cota de fund egală cu cota superioară a stratului inferior, iar cota superioară, cota de rezemare a fundației masive de mașină. Stratul intermediar poate fi de fapt executat din mai multe straturi îndesate, când în final este finit. În acest strat se pot îngloba fundații cu solicitări statice mici sau elemente de gospodărie subterană. Stratul intermediar constituie rezemarea elastică pentru fundația masivă de mașină.

- stratul superior, care va realiza și platforma de circulație în zonă, va avea de regulă o înălțimea egală cu înălțimea tălpii fundației masive. Atenționăm totuși

că înălțimea minimă a acestui strat trebuie :

- să fie mai mare (sau cel puțin egală) cu adâncimea de îngheț a amplasamentului.

- să asigure respectarea unui raport " înălțime talpă / înălțime fundație  $\geq 0.40$  ", pentru a se putea beneficia de efectul favorizant al umpluturilor laterale asupra comportării fundației masive la solicitări de rototranslație în jurul / lungul unui ax orizontal.

### 7.6.2 Eforturi în pernă elastică din balast compactat încărcată cu fundația masivă.

Materialul din pernă elastică, (umplutură din balast natural), poate fi caracterizat ca un depozit omogen, executat în mod organizat, controlat.

După prevederile **STAS 2300 /1; /2-85**, presiunea convențională minim acceptabilă pe acest strat este de  $p_M = 250 \text{ Kpa}$ .

Presiunea admisă sub fundația masivă de mașină va fi :  $p_A = 0.8p_M = 200 \text{ Kpa}$ .

Cota generală de fundare este la o adâncime de cca. ( - 4.00 ....- 6.00 ) m., și se găsește într-un strat de teren având o îndesare cel puțin "mijlocie" (  $0.33 < I_D < 0.66$  ). Conform aceluiași STAS, presiunea convențională minimă acceptată în această situație va fi de minim cca.  $p_c = (450 \dots 650) \text{ Kpa}$ .

În fig. 7.6 se prezintă dezvoltarea izobarelor de eforturi verticale și orizontale în pernă elastică.

O prima concluzie care se impune este că pernă elastică nu este necesară pentru

asigurarea unor presiuni scăzute din fundația masivă la cota de fundare (din condiții de rezistență). În această situație, perna elastică din balast este necesară numai pentru a se asigura fundației masive un suport amortizant de vibrații în care să poată fi înglobate și alte elemente (fundații cu solicitări statice și gospodărie tehnologică subterană).

### 7.6.3 Înălțimi minime pentru perna elastică

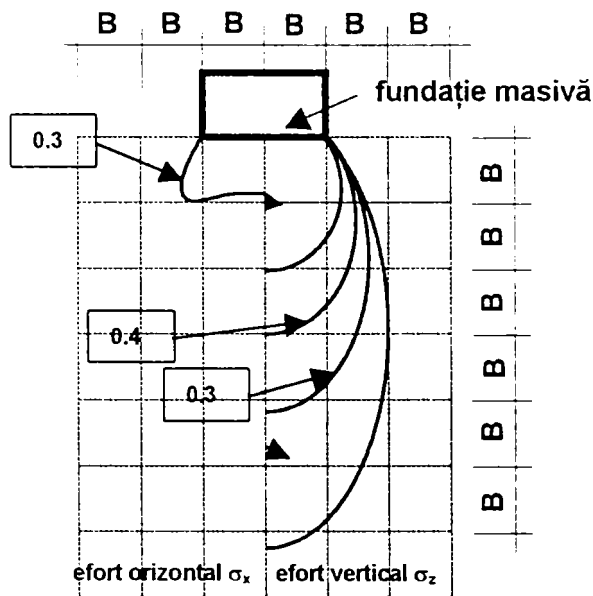


Fig. 7.7 Izobare eforturi în perna elastică

Din condiții asimilate pernelor din balast utilizate pentru solicitări statice, literatura de specialitate recomandă înălțimi minime funcție de :

- *raportul presiunilor* din fundație pe fața pernei și la rezemarea ei pe terenul de fundare. În cazul nostru acesta este foarte mic, constructiv trebuind asigurată o înălțime minimă de cel puțin o lățime talpă fundație.

- dacă perna are și *rol de a se evita tasările din umezire*, înălțimea minimă va trebui să fie 1.6 ori lățimea tălpii fundației.

- din condiția eforturilor în pernă și

presiunilor admise pe teren, ne găsim în situația când efortul din pernă este întotdeauna mai mic decât presiunea admisă pe teren.

Totuși apreciem că în toate cazurile, pentru eforturile verticale izobara de 0.5 trebuie să se găsească în masivul compactat al pernei elastice. Această situație ne conduce la a impune ca înălțimea minimă de pernă elastică să fie de o lățime de talpa de fundație.

Se cunoaște modul de propagare a vibrațiilor prin sol. Astfel vibrațiile se propagă de la sursă, prin unde elastice :

- *longitudinale*, producând numai variații de volum (nu și de formă) având viteza de

propagare 
$$v_L = \sqrt{\frac{2(1-\nu)G}{1-2\nu\rho}} \quad [\text{m / sec.}] \quad (7.3)$$

- *transversale*, numite și de rotație, producând numai modificări de formă nu și de volum și având viteza de propagare.

$$v_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad [\text{m / sec.}] \quad (7.4)$$



În formule s-a notat prin :

$G$  - modulul de elasticitate transversal al solului.

$\rho$  - densitatea solului.

$\nu$  - coeficientul de contracție transversală

$$\text{Vitezele de propagare sunt legate și prin relația : } v_L = v_T \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{1-2\nu}} \quad (7.5)$$

Valorile pentru vitezele de propagare au fost studiate și stabilite experimental fiind publicate în literatură. În tabelul 7.8 de mai jos se dau vitezele funcție de natura solului.

Tab.7.8

teren	$\rho$ kg. / cm <sup>3</sup>	după Barkan		
		$v_L$	$v_T$	$v_L/v_T$
sol compact din pietriș cu nisip	1700	480	250	1.92
nisip mic	1650	300	110	2.73
nisip mare	1650	550	160	2.73
pietriș mijlociu	1800	750	180	4.17

Studiile arată că între presiunile admise pe soluri și viteza de propagare a undelor exista o legătură proporțională, aceasta din urmă fiind cu atât mai mare cu cât presiunea admisă este mai mare. În tab. 7.9 se dau câteva valori din literatura de specialitate.

Tab.7.9

teren	$v_L$ m/sec.	Presiune pe sol KPa
Nisip umed	140	200
Nisip uscat	160	200
Pietriș mare	180	250
Nisip omogen	220	400
Pietriș mare compact	420	450

Experiența arată că există unde elastice, care se propagă numai pe o fâșie superficială a solului studiate de Rayleigh. Viteza de propagare a undelor longitudinale Rayleigh este dată de relația :

$$v_R^2 = p^2 \frac{E_d}{2(1-\nu)\rho} \quad (7.6), \text{ sau relația } v_R^2 = \frac{E_d}{1-\nu^2} \cdot \frac{1}{M \cdot \gamma} \quad (7.7)$$

În aceste relații s-a notat :

$E_d$  - modulul de elasticitate dinamic

$p$  - coeficient funcție de  $\nu$ , cu valori între  $(3.35 - 3.50) \times 10^3$  [s<sup>2</sup> / cm.]

$v$  - coeficient de contracție transversală, cu valori între **0.30 – 0.40**

$\rho$  - densitatea solului

$M$  - coeficient funcție de  $v$ , cu valori între  **$(3.40 – 4.20) \times 10^3$  [ $s^2 / cm.$ ]**

Dacă considerăm unde longitudinale plane, independente de direcția  $o - y$  (reprezentând axa longitudinală a fundației), adâncimile la care deplasările produse de undele elastice vor fi nule, vom avea :

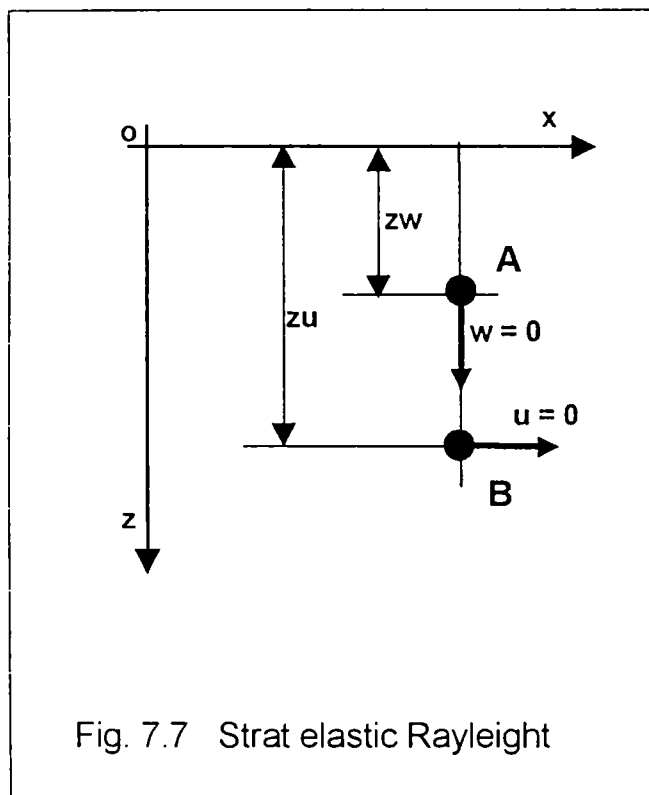


Fig. 7.7 Strat elastic Rayleigh

- deplasarea pe verticală,  $w = 0$  punct A (pentru unde longitudinale, pe direcția  $o - z$ ),

adâncimea în sol  $z_w = 0.56 v_T / \omega$  (7.8)

- deplasarea pe orizontală,  $u = 0$  punct B

(pentru unde transversale, pe direcția  $o - x$ ), adâncimea în sol  $z_u = 1.12 v_T / \omega$  (7.9)

În cazul nostru, putem aprecia gama de frecvențe pentru mașinile mari ca fiind

$n = (700 - 1200) \text{ rot./min.} = (8.33 - 23.33) \text{ Hz.}$   
pulsății proprii  $\omega = (52.339 - 146.608) \text{ sec}^{-1}$ .

Pentru perna elastică din balast compactat apreciem vitezele transversale ca fiind  **$v_T = 250 \text{ m/sec.}$**

Vom avea următoarele înălțimi pe care se propagă undele Rayleigh pentru diferite pulsății proprii ale mașinii în mișcare pe fundație :

Tab.7.10

Frecvență mașină rot. /min.	Pulsăție proprie Hz.	Viteză transv. m. / sec.	Adâncime strat elastic Rayleigh m.	
			Unde long.(vert.)	unde trans.(oriz)
700	73,304	250	1,910	3,820
800	83,776		1,671	3,342
1000	104,720		1,337	2,674
1100	115,192		1,215	2,430
1200	125,664		1,114	2,228

Din analiza celor prezentate în tabelul de mai sus putem trage concluzia că grosimea de strat elastic prin care se produc perturbații datorită deplasărilor orizontale ale fundației scade odată cu creșterea pulsățiilor proprii ale perturbatorului.

În cazul vibrațiilor orizontale, putem aprecia înălțimea acestui strat elastic ca mergând până la de  **$(2.23...3.82)$  ori lățimea talpii fundației masive**. Aici ne referim la

înălțimea totală a pernei elastice, suma tuturor staturilor deci (strat inferior, straturi intermediare și stratul superior).

În cazul vibrațiilor verticale, putem aprecia înălțimea acestui strat elastic ca mergând până la (1.15...1.91) ori lățimea tălpii fundației masive. Aceasta se măsoară de la cota tălpii fundației masive până la cota inferioară a pernei elastice din balast, deci suma grosimii straturilor inferior și intermediar

Concluziile de mai sus au valabilitate mai mult practică, autorul proiectând mai multe tipuri de fundații de mașini mari în astfel de condiții, raportând înălțimile reale de strat la lățimea tălpilor unor fundații executate și gama de frecvențe luată în considerare.

Considerăm că pentru vibrațiile orizontale, stratul elastic va trebui să fie integral acoperit de înălțimea totală a pernei elastice (suma celor trei straturi principale), trebuind să fie executat de minim 3.15 ori lățimea tălpii fundației.

Pentru vibrațiile verticale, care se produc de la nivelul tălpii fundației în jos, înălțimea de strat va trebui să fie egală cu suma straturilor intermediar și inferior, trebuind să fie executat de minim 2 ori lățimea de talii de fundație.

În baza celor menționate mai sus, se pot formula câteva recomandări privind stabilirea înălțimii minime pentru perna elastica din balast natural compactat :

1). Înălțimea totală minimă pentru perna elastică, (suma celor trei straturi) va fi cel puțin egală cu 3.5 lățimi ale tălpii fundației masive.

2). Înălțimea stratului superior va fi aleasă în așa fel încât să se realizeze efectul umpluturilor laterale. Recomandăm ca îngroparea fundației în perna elastică să facă pe cel puțin o înălțime de 0.40  $H_{\text{tălpă}}$ , înălțime de la care efectul începe să devină eficient.

3). Înălțimea stratului intermediar va fi aleasă astfel încât să se asigure :

- o înălțime de minim 2/3 din lățimea tălpii fundației între cota inferioară tălpii fundației și nivelul apelor freactice din amplasament (în situația că acestea există).

- o înălțime de minim 2 lățimi de talpă de fundație între cota de fundare a blocului fundației masive și cota superioară a stratului inferior sau cota superioară a cuzinetului unor fundații cu solicitări statice sau rețele de gospodărie subterană de pe amplasament, *având suprapuneri pe suprafețe mai mari de cca. 20 %* (în proiecție orizontală).

- o înălțime de minim 1.00 m, între cota de fundare a blocului fundației masive și un obstacol local având o suprafață de suprapunere, în proiecție orizontală, cu suprafața tălpii fundației masive de maxim cca. 20 %.

4). Înălțimea stratului inferior se va alege de așa manieră încât să asigure înglobarea completă pe înălțimea lui a fundațiilor cu solicitări statice importante din ampara-

ment sau a unor elemente de gospodărie subterană de mari dimensiuni.

5). Înălțimea totală a pernei elastice, între cota de circulație din zonă (cota de teren amenajat) și cota generală de fundare, va fi de minim 3.00...3.50 lățimi de talpă de fundație masivă. Se va asigura astfel ca transmisia undelor elastice orizontale de tip Rayleigh să poată fi amortizate prin perna elastică.

6.) Înălțimea sumată a stratului inferior și stratului intermediar nu va fi mai mică decât 2 lățimi de talpă a fundației masive, strat necesar amortizării (propagării) undelor verticale Rayleigh.

**7.6.4. Dimensiuni minime în plan pentru perna elastică.** Extinderea în planul orizontal a pernei elastice din balast compactat va trebui să asigure stabilitatea laterală și amortizarea vibrațiilor orizontale pentru aceasta.

Considerând dimensiunile tălpii fundației masive încastrate în perna elastică :

- lățime bloc (talpă) fundație masivă **2B**
- lungime bloc (talpă) fundație masivă **L**
- înălțime bloc (talpă) fundație masivă **HT**

straturile elastice componente ale pernei elastice (stratul superior, stratul intermediar și stratul inferior), vor avea constructiv asigurate următoarele suprafețe :

Stratul superior, va avea înălțimea **HS** care va trebui să fie :

- înălțimea minimă **HS = 0.4 x HF**, **HF** fiind înălțimea blocului fundației sau a tălpii fundației. Pentru realizarea eficienței efectului umpluturilor laterale, acest lucru este absolut necesar.

- înălțimea minimă **HS** să fie mai mare decât adâncimea de îngheț a amplasamentului.

La cota superioară, (nivelul de circulație pe platformă), pentru a se putea asigura o bună încastrare în strat a blocului (tălpii) fundației, va trebui să se asigure o grosime pe orizontală (perimetral fundației) de minim **1.00 m.**, realizând o suprafață în plan de :

$$(1.00 + 2B + 1.00) \times (1.00 + L + 1.00) \quad (7.8)$$

Panta taluzului de înfrățire cu celelalte umpluturi care se va asigura va fi de 2 : 1 (unghi de **60°**). Prin împingerea pasivă a umpluturii asupra taluzului de înfrățire se asigură suplimentar stabilitatea la deplasări orizontale pentru acest strat. Suprafața orizontală la cota de reazem (încastrare) a fundației masive în perna elastică va fi :

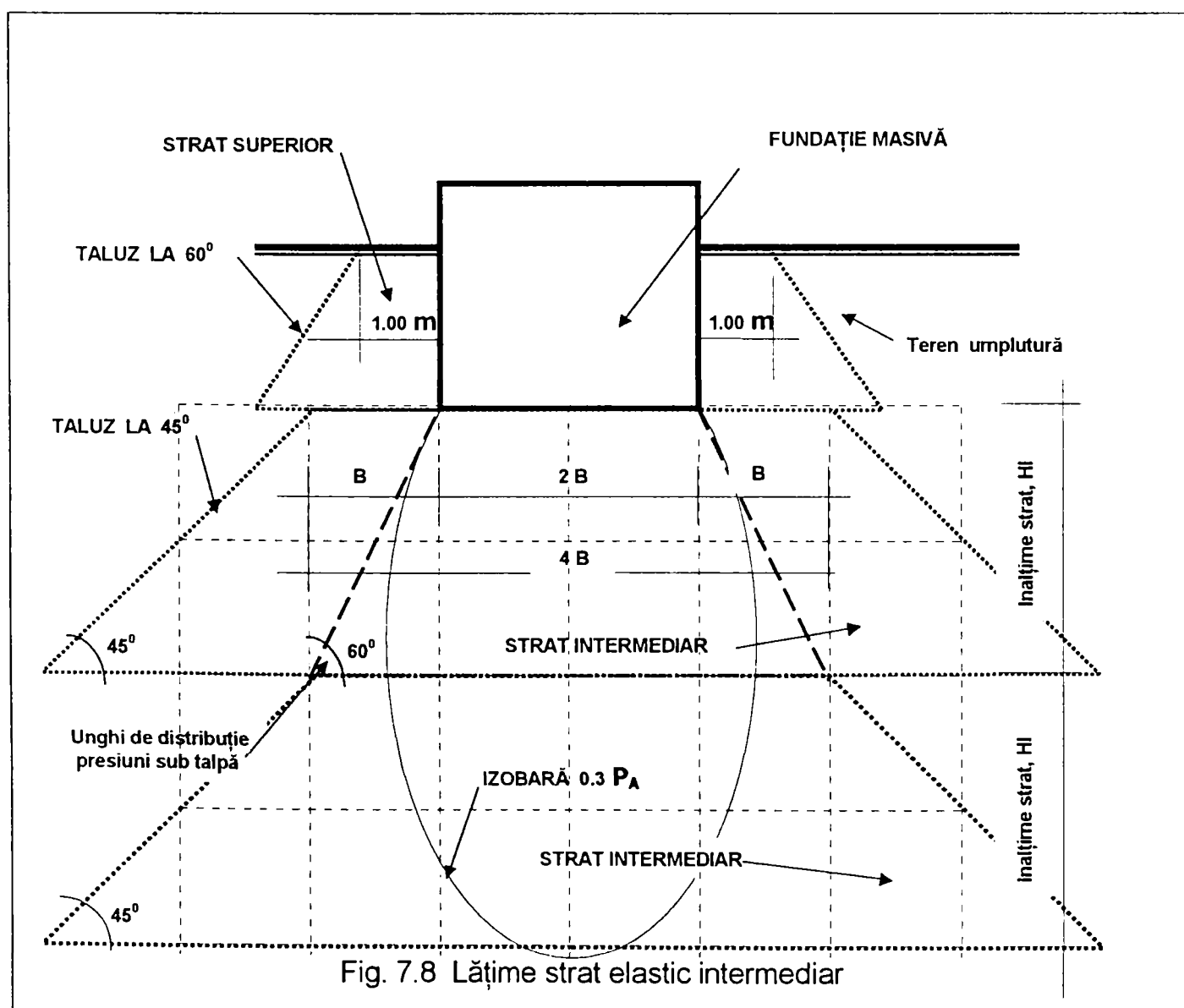
$$[(1.00 + 2B + 1.00) + 2 \times (0.5 \times HS)] \times [(1.00 + L + 1.00) + 2 \times (0.5 \times HS)] \quad (7.9)$$

Stratul intermediar,

Din analiza distribuției presiunilor în interiorul pernei elastice din balast compactat (similar ca în teren, sub fundații solicitate static), ilustrată prin fig. 7.6, se remarcă că izobara

de presiuni  $0.3 p_A$  se dezvoltă pe verticală până la adâncimea de  $2.15 \times (2B)$ . Pentru o presiune maximă sub talpa fundației masive de  $p_A = 200 \text{ KPa}$ , (vezi pct. 7.6.3) efortul vertical realizat pe această izobară va fi de  $60 \text{ KPa}$ , mult mai mic decât presiunea admisă pe stratul terenului bun de fundare,  $p_C = (450...650) \text{ KPa}$ . Apreciem că nu vor fi probleme de rezistență a terenului de fundare și nici de stabilitate (tasare) a acestuia.

Literatura de specialitate [68];[71], recomandă ca în cazul solicitărilor statice, izobara de  $0.2 p_A$  să fie cuprinsă integral în masivul compactat al pernei elastice în cazul solicitărilor statice. Aceasta se întinde pe verticală până la o adâncime de  $3.25$  lățimi de talpă ( $6.50 B$ ). Lățimea bulbului izobarei se desfășoară pe orizontală pe distanța de  $2$  lași de talpă ( $4 B$ ), dimensiune maximă realizată la adâncimea de  $2.15$  lățimi de talpă ( $4.30 B$ ). Apreciem că lățimea suprafeței pernei elastice la cota de reazem a tălpii fundației trebuie să asigure cuprinderea izobarei în pema elastică, deci va trebui să depășească fundația pe fiecare latură cu minim  $1 B$  (o lățime de talpă).



În cazul când înălțimea stratului intermediar (  $H_i$  ) este mai mare și este necesar ca să fie executat din mai multe straturi, suprafața superioară a fiecărui strat va fi identică cu suprafața de la cota de rezervare a fundației masive, dedusă mai sus. Înălțimea fiecărui strat se preferă a fi egală, fiind  $H_i = H / n$  (straturi). Această recomandare are rațiuni economice, reducând mult volumul pernei elastice din balast compactat.

Tangenta la izobara  $0.3 P_A$  face cu verticala care trece prin colțul tălpii fundației un unghi de  $30^\circ$ , unghi acceptat și în calculul distribuției presiunilor sub talpa de fundație la o anumită cotă pe verticală.

Suprafața minimă pe orizontală a stratului la cota superioară (de rezervare a tălpii fundației de mașină) se va calcula deci cu formula (înălțimea stratului intermediar  $H_i$  (  $H_i$  ) :

$$(B + 2B + B + 2 \times 0.5 \times H_i) \times (B + L + B + 2 \times 0.5 \times H_i) \quad (7.10)$$

Pentru stratul intermediar se va asigura un taluz de înfrățire cu panta  $1 : 1$  (unghi de  $45^\circ$ ), stabilitatea laterală a stratului fiind asigurată suplimentar de împingerea pasivă a masivului de umplutură pe suprafața taluzului de înfrățire. Suprafața minimă pe orizontală a stratului la cota de bază a stratului intermediar de înălțime  $H_i$  (  $H_i$  ) va fi :

$$(B + 2B + B + 2 \times (0.5 + 1) \times H_i) \times (B + L + B + 2 \times (0.5 + 1) \times H_i) \quad (7.11)$$

Stratul inferior. Acesta va avea înălțimea stabilită din condiția de a îngloba în strat integral fundațiile cu solicitări statice sau elementele de gospodărie subterană existente în amplasament. Stratul poate fi executat și ca o succesiune de straturi inferioare (procedeu descris mai sus) în cazul unor înălțimi de fundații cu solicitări statice mari. Suprafețele minime superioare strat și a bazei stratului vor avea dimensiunile stabilite mai sus. Panta taluzelor de înfrățire se va executa cu valorile arătate la stratul intermediar.

La înălțimi mari de fundații cu solicitări statice, se poate accepta și executarea taluzelor de înfrățire cu panta  $2 : 1$  (unghi de  $60^\circ$ ), caz în care suprafața de la bază a stratului inferior va fi :

$$(B + 2B + B + 2 \times (0.5 + 0.5) \times H_i) \times (B + L + B + 2 \times (0.5 + 0.5) \times H_i) \quad (7.12)$$

Toate straturile se vor executa la rândul lor din straturi elementare, având elementele stabilite funcție de caracteristicile utilajelor folosite pentru executarea compactărilor, atât pentru perna elastică din balast natural cât și pentru celelalte umpluturi cu teren natural din zonă. Astfel :

- înălțimea stratului elementar se va stabili funcție de performanțele utilajului utilizat la executarea lucrărilor de compactare, așa cum s-a arătat mai înainte.

- suprafața superioară sau inferioară a stratului elementar, încadrându-se în variația suprafețelor stratului pentru suprafața superioară și de bază a stratului care se execută.

### 7.7 Coeficienții elastici ai rezemării pe / în perne elastice din balast compactat.

În lipsa la data proiectării a unor studii speciale privind rezemarea elastică a fundațiilor masive de mașini pe / în perne elastice din balast natural compactat, s-a apelat la date de literatură pentru aprecierea acestora.

Aprecierea acestora s-a făcut după mai multe metode menționate prin literatură, obținând următoarele valori pentru calcul dinamic efectuat cu metodele coeficienților elastici.

Valorile calculate sunt :

Tab.7.11

Metoda de calcul	$C_z$ [KN/m <sup>3</sup> ]	$C_x$ [KN/m <sup>3</sup> ]
Schleicher, coeficienți Schleicher [13];[16]	4.3	6.95
Schleicher, coeficienți Gorbunov – Posadov [54]	4.6	9.82
Savinov, (metoda Barkan) [13];[16];[77]	4.36	4.40
Savinov [52];[54]	4.00	
Buzdugan [14]	18.00	
TU 60 – 49 [13];[16];[52];[54];[77]	4.00	8.00

## CAP 8. Consolidări și modificări de fundații de mașini.

În exploatarea curentă a fundațiilor de mașini, nu puține sunt cazurile când în cadrul retehnologizărilor, utilajele componente ale liniilor tehnologice sunt înlocuite cu unele mai performante. În aceste situații, precum și în cazurile când se constată execuția defectuoasă a fundațiilor sau avarierea lor în urma exploatării incorecte sau ca urmare avarierii utilajelor, se pune problema intervenției asupra sistemului de izolare antivibratorie sau asupra blocului fundației.

### 8.1 Defecte ale blocurilor fundațiilor de mașini.

După natura lor defectele blocurilor fundațiilor de mașini se pot grupa în următoarele clase :

- defecte de proiectare.
- defecte de execuție.
- defecte de exploatare.

Analiza cauzelor producerii defectelor scoate în evidență :

**8.1.1. Defecte de proiectare** - au în principal cauze produse de insuficienta documentare asupra condițiilor tehnice de funcționare și exploatare a mașinii, a necunoașterii la data întocmirii proiectului a tuturor datelor de temă asupra mașinii, a variației în limite mai largi a parametrilor luați în calcule decât cele luate în considerare la întocmirea proiectului, a necunoașterii condițiilor reale de amplasare (date de mediu, vecinătăți, date de studiu geotehnic, caracteristici elastice ale materialelor utilizate, etc.). În mod curent apariția acestor defecte se manifestă prin:

- apariția unor rezonanțe locale în elemente componente ale utilajului sau fundației
- depășirea în exploatarea curentă a valorilor maxim admise pentru amplitudinile mișcării complexului mașină-fundație, apariția stării de rezonanță a fundației în exploatare (sau în elemente ale acesteia).
- descoperirea în faza de montaj a mașinii (utilajului) a unor diferențe de geo-



metrie la blocul fundației față de gabaritele necesare cerute de mașină (la montaj), a lipsei unor piese metalice înglobate în blocul fundației, probleme de poziționare lipsa elementelor de ancorare a mașinii de bloc, în general omisiuni din planurile proiectului de execuție sau execuții eronate ale blocului.

**8.1.2. Defecte de execuție** - produse de nerespectarea prevederilor tehnologiilor de execuție (sau a proiectului fundației). Enumerăm :

**- defecte de calitate de materiale întrebuițate**

Defecte de clasă de beton, neatingerea mărcii prescrise prin proiect pentru betonul executat (turnat) în fundație. Cauzele principale ale defectului sunt generate de defecte de preparare beton (utilizarea unor rețete incorecte de preparare), utilizarea de ciment necorespunzător, a unui factor de amestec apă - ciment neadecvat (prea mare) sau a unei granulometрии neadecvate a agregatele utilizate la prepararea betonului, ne respectarea intervalului maxim de timp admis pentru punerea în operă a betonului.

Defecte de marcă de oțel, la armătura fundației sau piesele metalice înglobate în blocul fundației. Recomandabil este ca să se utilizeze oțeluri pentru construcții. Utilizarea altor oțeluri crează probleme mari prin nerespectarea cerințelor privind comportarea oțelurilor sub sarcină în timp, ne fiind asigurate cerințele privind reziliența, ductilitata, deformațiile garantate , mod de rupere, etc.

**- defecte de execuție a lucrărilor**

Defecte de cofrare, geometrie bloc, realizare goluri tehnologice, poziționare piese metalice și elemente de prindere (ancorare) mașină de fundație, produse în general de slaba conducere și supraveghere a execuției lucrărilor.

Defecte de armare, deficiențe în realizarea armării blocului fundației datorate atât unor cauze produse la confecționarea armăturilor cât și montajului defectuos al acesteia, cum sunt barele de armătură lipsă, ne asigurarea stratului de acoperire cu beton al armăturilor, ne asigurarea poziționării armăturii pe timpul turnării blocului fundației, ne asigurarea ancorării barelor în betonul fundației, etc.

**- defecte de turnare beton**

Segregări . Acestea sunt produse de o multitudine de cauze și au un grad diferit de periculozitate. Remarcăm:

-*segregări de suprafață*, urmare ne compactării betonului la turnare în apropierea suprafețelor cofrajelor (pentru pereți sau pentru goluri necesare în betonul

fundatiei), a utilizării la realizarea blocului a unui beton cu granulometrie necorespunzătoare (agregate cu dimensiuni peste 31 mm, agregate unigranulare sau utilizare de beton având curba granulometrică discontinuă), a utilizării unui beton cu lucrabilitate necorespunzătoare (raport apă/ciment necorespunzător), a cofrajeilor de proastă calitate, cofraje nepregătite pentru turnare (uscate), compactare necorespunzătoare în zonele lângă peretele de cofraj, etc. Defectul este în general remediable prin injecții cu pastă de ciment sau amestecuri pe bază de rășini epoxidice sau prin executarea de tencuieli torcretate sau tencuieli speciale.

- *segregări în masa betonului*, (~ de adâncime), (~ de rost), defect cu atât mai periculos cu cât poate să nu fie depistat și remediat la inspecțiile vizuale ( uzuale) executate curent asupra blocului de fundație. De regulă acest defect se evidențiază numai în situația avarierii blocului fundației ca urmare avarierii majore a utilajului în exploatare. Cauzele producerii defectului sunt:

- betoane cu grave deficiențe de rețetă de preparare (lucrabilitate, granulometrie, plasticitate )
- cauze legate de tehnologia de turnare, înălțime de turnare mare, compactări defectuoase (beton necompactat, compactat insuficient sau peste timpul optim necesar).
- Interruperi ale betonării, ne pregătirea rosturilor de turnare.

#### - **defecte de decofrare**

Decofrarea defectuoasă a blocurilor de fundație. Funcție de timpul de la turnarea betonului când efectuăm decofrarea blocului se pot produce :

- la o decofrare timpurie, executată înainte de împlinirea de către betonul turnat a vârstei când a dobândit rezistențe proprii capabile a suporta solicitările produse prin decofrare, se pot produce defecte care se manifestă prin apariția de fisuri în masa betonului, blocul de beton are geometria deformată (aspect de curgere lentă). Timpul la care se consideră că betonul armat a dobândit rezistențele minime necesare pentru a se putea efectua operațiile de decofrare este de minim 3 zile (pentru o întărire în condiții normale – temperatură peste + 5 °C). Defectul se datorează faptului că la decofrare betonul nu are vârsta necesară încheierii prizei cimentului (întării în urma hidratării complete), deci o rezistență insuficientă la solicitări mecanice. La o decofrare timpurie betonul turnat care nu are priza terminată se comportă plastic deformându-se sub propria greutate.

- decofrarea tardivă, produsă datorită aderării betonului la cofragul folosit și manifestată prin ruperi de colțuri, antrenări de beton proaspăt, spărturi în masa blocului, fisuri, goluri din care nu se mai pot extrage cofrajele, etc. Defectul apare la o decofrare târzie, în general la depășirea unei vârste de 7 zile a betonului turnat, când aderența între betonul turnat și suprafețele cofrate devine foarte mare. Acest defect apare și când suprafețele cofrajului nu sunt curățite și tratate copespunzător.

#### **- defecte de protecție a betonului proaspăt**

După turnarea blocului fundației pot apărea defecte și în cazul când betonul proaspăt turnat nu a fost protejat corespunzător împotriva factorilor de mediu. Astfel se poate produce:

- uscarea suprafețelor libere ale betonului în contact cu atmosfera, defect manifestat prin apariția unor microfisuri sau chiar exfolierea unui strat la suprafața betonului turnat datorită uscării acestuia fără ca liantul (ciment) să-și fi efectuat priza. Defectul se poate remedia prin executarea unor tencuieli speciale după înlăturarea stratului afectat.

- înghețul, defect foarte grav care poate compromite total sau parțial blocul fundației. Blocul fundației este fisurat datorită expansiunii (în volum, la îngheț) a apei ne legate chimic sau cantonate în porii, microfisurile sau golurilor existente în masa betonului. Defectul poate merge până la ruperea armăturii blocului fundației (prin solicitarea acersteia la întindere), compromițând complet fundația..

- supunerea la șocuri sau vibrații după turnare în timpul efectuării prizei cimentului până la dobândirea a minim 80 % din rezistențele de marcă ale betonului din blocul fundației. Defectul este semnalat de existența în masa blocului a fisurilor și microfisurilor, a aspectului de beton măcinat, cu multiple armături aparente, goluri masive în bloc, etc. Defectul este foarte grav și compromite total blocul fundației.

Timpu minim la care betonul armat se consideră că a dobândit rezistențele necesare atingerii mărcii este de 28 zile de la turnare. Timpu la care se consideră că betonul armat a dobândit rezistențele necesare pentru a se putea efectua operațiile de decofrare este de minim 3 zile. Timpu minim la care se pot începe lucrările de montaj ale mașinii pe fundație este de 14 zile. Timpu minim la care se pot executa echilibrări statice ale rotoarelor pe fundații este de 21 zile. Timpu minim la care se pot efectua echilibrări dinamice pe fundații sau se poate pune în funcțiune mașina, este de 28 zile.

**8.1.3 Defecte de exploatare** - sunt produse de exploatarea necorespunzătoare a mașinilor montate pe fundații. Menționăm :

-Exploatarea utilajului având amplitudini mai mari decât limitele admise, produce în final ieșirea din exploatare a fundației (sau a unor zone din aceasta) datorită solicitărilor dinamice mari la care este supusă aceasta precum și a apariției fenomenului de oboseală în materialele din care este alcătuită fundația sau izolarea antivibratorie. În situația avarierii utilajului în urma suprasolicitărilor la care este supus se poate produce colapsul total al fundației sau a unor zone a acesteia prin depășirea stării maxime de efort pentru care au fost proiectate.

-Exploatarea utilajului defect pe fundație, având pierderi de lichide agresive chimic față de materialele componente ale fundației sau izolațiilor antivibratorii efectuate sau având părți cu izolarea termică distrusă. Defectul de utilaj conduce la degradarea chimică sau termică a elementelor fundației influențate și poate merge până la totala distrugere a acesteia.

## **8.2 Procedee de remediere a defectelor blocurilor fundațiilor de mașini**

Experiența remedierii defectelor fundațiilor de mașini scoate în evidență faptul că foarte rar producerea avariei blocului are la bază o singură cauză. Cauzele producerii avarierii blocului se agravează reciproc, putând exemplifica cum defecte de preparare beton sunt agravate de defecte de turnare sau de protecție a acestuia, sau/și în final, de cauze legate de proasta exploatare a utilajului conducând în final la colapsul fundației.

Asigurarea cerințelor privind durabilitatea și siguranța în exploatare impun la apariția unei avarii efectuarea unei analize amănunțite (expertizare) a cauzelor care au produs evenimentul, a naturii și extinderii avariei blocului, a gradului de alterare a capacității de rezistență a materialelor din care este alcătuită fundația și izolațiile antivibratorii precum și a modului de exploatare a utilajului pe fundație.

Această analiză se va efectua în comun de către proiectantul fundației, proiectantul mașinii și tehnologul care exploatează mașina amplasată pe fundație. Analiza trebuie să evidențieze toate cauzele (tehnic, economic și social) evenimentului produs și să stabilească cele mai indicate măsuri necesare a fi luate pentru remedierea avariei. Prin caracterul lor, lucrările de remediere sunt cotate ca lucrări de înaltă

tehnicitate, mobilizând pentru efectuarea lor personal de înaltă calificare și controlul tehnic de asigurare a calității lucrărilor pe toate fazele de execuție a lucrărilor

Remedierea defectelor fundațiilor din beton armat se face cu procedee specifice indicate prin Normativul C 149 - 81 . Încadrarea defectelor în procedeele de remediere recomandate prin normativ se va face funcție de întinderea și gravitatea defectului, tipul și cauza producerii lui. După natura lor, defectele constatate se vor remedia

**8.2.1. - microfisuri și fisuri nestrăpunse** cu deschidere de max. 1 mm., segregări în volumul fundației, defecte de rost de turnare (segregări de rost de turnare) de mică întindere, se vor remedia prin injectări sub presiune efectuate cu amestecuri pe bază de ciment sau rășini epoxidice.

**8.2.2. - segregări de suprafață, defecte de suprafață** ca exfolieri, lipsă strat de acoperire cu beton a armăturilor sau distrugerea acestuia ca urmare acțiunii chimice sau termice, îngheț superficial al blocului fundației, se vor remedia prin executarea de tencuieli speciale sau executate prin torcretare (sub presiune). Suprafețele în cauză se vor trata (pregăti) special înainte de executarea lucrărilor, prin înlăturarea prin șpițuire manuală a porțiunilor de beton afectate, fără secționarea (întreruperea) armăturilor, executarea unor armături suplimentare în zonă sudate pentru continuitate cu cele existente, curățirea de praf a rosturilor și udarea (minim 24 ore) a rostului înainte de executarea lucrării. După execuție, suprafețele vor fi protejate (la îngheț sau uscare) corespunzător minim 7 zile.

**8.2.3. - segregări masive (în blocul fundației), fisuri peste 1 mm. deschidere,** defecte de geometrie bloc, zone afectate în urma unor accidente - avarii în exploatarea mașinii (colaps al unor zone a blocului), se tratează de obicei prin înlăturarea prin mijloace manuale (șpițuire sau spargere) a betonului distrus fără secționarea armăturilor existente, refacerea armării blocului și betonare la forma geometrică necesară (inițială). Întotdeauna se va asigura conlucrarea porțiunilor (zonelor) de bloc remediat cu cele ale blocului existent prin:

- introducerea de armături suplimentare și de bare de conlucrare ancorate în blocul existent (în găuri forate în betonul existent cu adâncime care să asigure ancorarea prin aderență a barei) pentru preluarea eforturilor suplimentare în rosturile ce se crează. Aceste armături suplimentare se vor suda pentru continuitate de cele existente.

- pregătirea corespunzătoare a noilor rosturi de turnare (curățire de praf udare timp minim 24 ore, amorsaje speciale) . În unele cazuri rostul se va realiza (prin șpițuire) la o formă (suprafețe) care să asigure preluarea de către beton a solicitărilor (întindere, lunecare).

**8.2.4. - tehnologia de executare a lucrărilor de spargere** a blocului fundației din beton armat, existent, va fi una exclusiv manuală. Folosirea ciocanelor de spart beton acționate mecanic (electric sau pneumatic) este interzisă datorită microfisurării betonului existent în bloc. Poate fi acceptată utilizarea pentru forarea unor găuri de ancorare bare a unor rotopercutante de diametru mic ( maxim 30 mm.) găurile forate în betonul fundației având adâncimea necesară ancorării barelor de armătură.

**8.2.5. - remedieri ale sistemului de ancorare mașină de fundație.** Defectul cel mai des întâlnit este cel al ruperii sistemului de ancorare a mașinii de fundație (buloanele de ancoraj).

Refacerea sistemului de ancorare mașină de blocul fundației impune respectarea următoarelor etape de execuție :

- *demontarea mașinii de pe blocul fundației.*
- *extragerea din blocul de beton al fundației a bulonului de ancoraj defect*

Dacă la utilizarea sistemelor de ancorare mecanică a buloanelor (buloane cu cap ciocan fixate în dispozitive speciale betonate în blocul fundației sau buloane ancorate mecanic în lăcașuri speciale) operația de înlocuire nu pune probleme, la buloanele de ancoraj betonate în găuri speciale executate în bloc această operațiune este mai dificilă. Spargerea betonului de monolitizare a bulonului se va face obligatoriu manual (cu șpițul și dalta).

- *montarea bulonului de ancoraj nou și betonarea acestuia.*
- *remontarea mașinii pe fundație.*

**8.3. Modificarea blocurilor de fundatie existente pentru adaptarea lor la noi tipuri de mașini.**

Retehnologizarea instalațiilor industriale impune înlocuirea frecventă a tipurilor de mașini cu altele mai performante. Din punct de vedere economic, se impune reutilizarea sistemului de fundare sau adaptarea lui la noul tip de mașină, mai ales atunci când poziția mașinii în cadrul fluxului tehnologic rămâne aceeași. Se vor parcurge pentru reutilizarea fundațiilor următoarele etape :

- Studiul fundației existente și a izolării antivibratorii realizate.
- Studiul datelor noii mașini (funcționare, date de geometrie, prindere de fundație, încărcări statice și dinamice produse, nivele de vibrație acceptabile, etc).
- Analizarea și remodelarea dinamică a fundației existente, în condițiile stabilite pentru noua mașină.
- Efectuarea calculelor de dinamică pentru fundația de mașină, stabilirea domeniului de existență a funcționării acesteia pentru încadrarea la parametrii de exploatare ceruți prin norme.
- Stabilirea nivelului de modificare a fundației existente pentru a corespunde noii mașini.
- Întocmirea proiectului de modificare a fundației, remodelarea blocului existent prin spargerii, cămășuiri, creere de zone noi de bloc, asigurând toate cerințele de conlucrare între zonele (elementele) fundației noi ce cele existente.
- Executarea lucrărilor, montarea și punerea în funcțiune a mașinii.

#### **8.4. Remedierea unei fundații masive de mașină pentru un ventilator de gaze arse, grav avariată.**

Între perioada executării blocului fundației (luna noiembrie) și montajul mașinii pe fundație (luna martie) s-a traversat un anotimp friguros, bogat în precipitații (ploi și ninsori), având o oscilație deosebită a temperaturilor medii zilnice (valori maxime între  $+6^{\circ}\text{C}$  și  $-20^{\circ}\text{C}$ ).

La predarea fundației pentru montajul mașinii, s-au constatat pe lângă faptul că mașina aprovizionată nu era cea din proiect ( având modificări de geometrie și cote de nivel în zona de prindere a motorului de acționare de blocul fundației) și defecte grave ale blocului executat pentru fundație ( spărturi cu beton dislocat și fisuri in zona de suprastructură a fundației).

La inspectarea lucrării s-a constatat, ca o primă cauză a producerii defectului, faptul că ne efectuarea unei protecții eficiente împotriva infiltrațiilor de apă meteorică a permis acumularea acestora în golurile pentru buloanele de ancoraj ale mașinii. Înghețarea acestora și avarierea zonelor de suprastructură ale blocului fundației

Amploarea defectelor fundației masive poate fi observată în Fig.8.1 de mai jos.

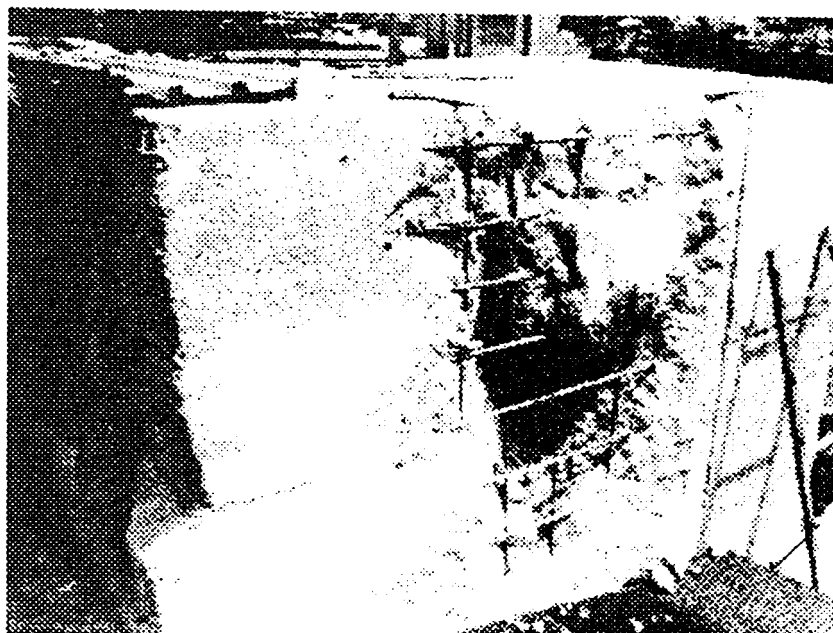


Fig. 8.1 Avarierea în urma înghețului a zonei "motor" a fundației

S-a efectuat o inspectare și investigare tehnică completă asupra fundației și a execuției acesteia, raportul de inspecție tehnică punând în evidență următoarele concluzii :

**8.4.1. - Inspectarea vizuală** asupra blocului fundației scoate în evidență (prin releveul executat) grave defecte de dislocare beton, fisuri de cca. 1 la 6 mm. deschidere, câteva segregări superficiale.

Ca aspect betonul este compact, de buna calitate, acest lucru reieșind și din textura betonului în spărturile existente în masa blocului fundației.

Zonele afectate de defect sunt cele de suprastructură (peste cota + 0.00 m.), suportul existent pe fundație pentru motorul de acționare a ventilatorului și a palierelor de reazem a lagărelor ventilatorului propriuzis

**8.4.2. - Investigările tehnice** asupra calității betonului existent în blocul fundației masive s-au efectuat prin două metode :



- *Încercări nedistructive*, cu un betonoscop ultrasonic, măsurându-se vitezele de propagare a undelor sonice în masa de beton, punându-se în evidență existența (eventuală) a unor defecte în masa betonului. Vitezele de propagare măsurate au fost între 3800 m/sec și 4100 m/sec. atestând atât faptul că betonul existent (ne afectat de îngheț) nu are defecte de interior (fisuri, goluri, caverne, segregări) având asigurată marca (clasa de calitate) cerută prin proiect. S-a certificat betonul existent ca fiind de calitate corespunzătoare proiectului.

- *Încercări distructive*, pe probe prelevate din zonele cu dislocări de beton din fundație, acestea atestând atât clasa de calitate a betonului executat cât și compoziția corespunzătoare a acestuia.

**8.4.3. - Raportul de inspecție tehnică** a permis pe lângă stabilirea mecanismului de producere a avariei și luarea unor măsuri de remediere - consolidare pentru fundația masivă. Acesta scoate în evidență :

- *meccanismul producerii avariei*. Pe un fond de microfisuri de contracție, blocul de beton a fost surprins de îngheț fără ca apa ne legată chimic (prin hidratarea cimentului) și staționată în aceste microfisuri să fie eliminată din masa de beton prin evaporare. Înghețarea apei în microfisuri a majorat deschiderea acestora. Agravant însă a fost efectul înghețării apei acumulate în golurile pentru buloanele de ancoraj, expansiunea în volum a gheții provocând defectele majore de dislocare a zone din blocul fundației cu ruperea locală a armăturilor blocului (prin întindere – alungire).

- *calitatea betonului din zonele neafectate*, în zonele neafectate de dislocări și fisuri importante, betonul nu este afectat, asigurând cerințele de rezistență necesare.

**8.4.4. - Soluțiile de consolidare** aplicate se realizează cumulat cu remodelarea fundației în urma modificării tipului de mașină, după cum urmează :

- înlăturarea prin spargere manuală a tuturor zonelor afectate de defecte, cu păstrarea în zona suport motor a suprastructurii fundației a unui sâmbure central de beton. Spargerea s-a efectuat cu păstrarea tuturor armăturilor existente în zona înlăturată, pentru reutilizarea lor. La fel, s-au corectat toate diferențele de cote de nivel cerute de noua mașină care se montează pe fundație.

- executarea unei cămășuieli din beton armat monolit, armate special, care să cuprindă golurile necesare montării buloanelor de ancoraj ale mașinii pe fundație. Cele două rețele de armătură, cea de la perimetrul fundației (pe suprafața laterală și cea de la suprafața sâmburelui de beton păstrat din fundația existentă), au fost sudate pentru

asigurarea continuității de armătura existentă din blocul fundației. La executarea carcaselor de armătura s-a asigurat ca legarea barelor componente să se facă prin puncte de sudură în locul legării cu sârmă neagră, atât pentru sporirea rigidității carcasei cât și pentru asigurarea unei mai bune conlucrări a barelor carcasei la preluarea eforturilor.

- s-au executat cofrajele necesare, s-au asigurat condițiile de curățire suprafețe rosturi de turnare ale betonului existent, s-au pregătit de turnare cofrajele și rosturile de turnare prin umezire 24 ore și amorsare, iar apoi s-a turnat betonul armat. Clasa de calitate a betonului nou turnat s-a prescris cu o treaptă superioară celei existente în blocul fundației.

În Fig. 8.2. se prezintă detaliul de realizare a carcasei exterioare de armatură pentru cămășuiala executată în zona de amplasare a motorului mașinii pe fundație.

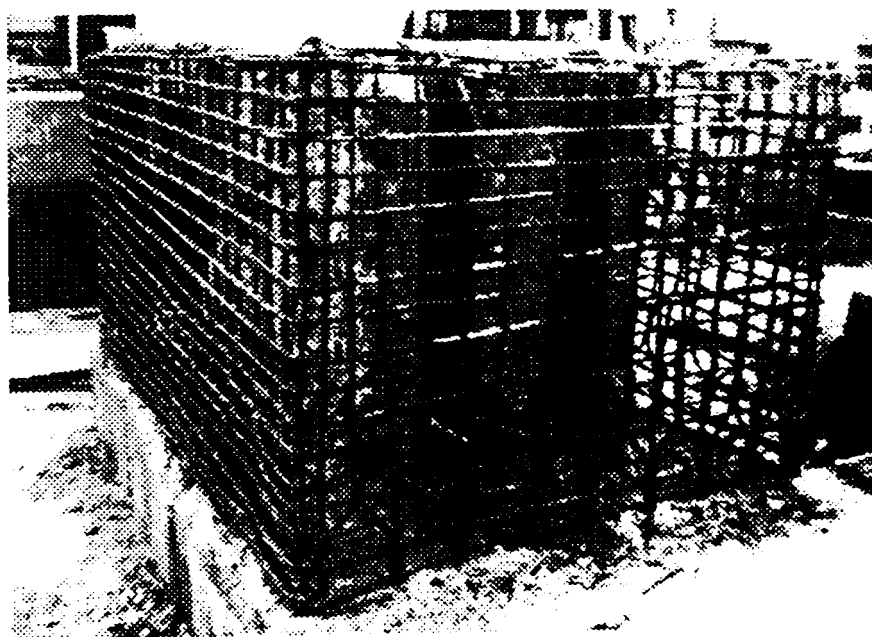


Fig. 8.2 Detalii armare carcasă exterioară cămășuială executată la zona "motor"

## 9. Concluzii finale.

Cu scopul de a evidenția principalele contribuții pe care autorul lucrării de față le aduce la îmbunătățirea soluțiilor practice pentru fundarea mașinilor mari, în cele ce urmează sunt prezentate concluzii rezultate în urma cercetării teoretice, experimentale și practice efectuate în decursul anilor în această direcție.

Fundarea mașinilor mari, analizată în contextul sistemului general de fundații al obiectivelor energetice, reprezintă o problemă inginerescă de mare complexitate. De corecta rezolvare a acesteia depinde atât fiabilitatea în exploatare a întregii instalații cât și eficiența investiției, în costurile generale ale acesteia lucrările de infrastructură (pentru realizarea fundațiilor instalației) având o însemnată pondere.

Caracterizat prin solicitările statice deosebite și prin densitatea mare de amplasare a echipamentelor, sistemul general de fundare al obiectivului trebuie să confere toate garanțiile de rezistență și stabilitate necesare obținerii de către instalație a maximului de randament. Unul dintre criteriile de o deosebită importanță care trebuie asigurat este cel al realizării unui nivel cât mai redus pentru vibrații pe amplasament, vibrații produse de echipamente cu mase importante în mișcare de rotație în exploatare și transmise prin sol (mediu) întregii instalații.

Lucrarea elaborată, este structurată pe direcții vizând atât proiectarea și realizarea practică a unor procedee de fundare eficiente pentru fundațiile masive specifice mașinilor mari, cât și problema reparării și reabilitării fundațiilor de mașini mari ca urmare a unor avarii sau modernizări (înlocuiri) de echipament.

În primele două capitole se face o punere în temă asupra dezideratului eficientizării soluțiilor de realizare a fundațiilor masive împreună cu obiectivele izolării active antivibratorii ale mașinilor mari. Se definesc pentru început noțiuni de bază ale izolării antivibratorii, ale stărilor limită, se fac clasificări ale mașinilor mari – producătoare de vibrații. Este prezentat rolul fundației de mașină împreună cu clasificările acesteia după criterii de rigiditate proprie, formă constructivă, mod de rezemare / încastrare pe / în terenul bun de fundare (sau suport), criterii de dinamică precum și criterii de alegere a unor soluții de fundare specifice cerințelor unor tipuri de mașini mari. Se prezintă și definește obiectul care trebuie izolat antivibratoriu – complexul mașină fundație împreună cu parametri ai acestuia.

În același capitol 2, se prezintă elemente de bază din teoria vibrațiilor, elemente care se vor regăsi uzual în metodele de efectuare a calculelor de dinamică utilizate la proiectare fundațiilor masive de mașini, împreună cu concluzii privind realizarea acordării frecvențelor perturbatoare cu ale complexului mașină fundație. Sunt prezentate concluzii privitor la alegerea parametrilor definatorii pentru plasarea fundației masive de mașină într-un domeniu dorit de frecvențe proprii și / sau amplitudini ale mișcării.

În capitolul 3 sunt prezentate detaliat toate mașinile mari, componente ale unei instalații termoenergetice. După clasificarea acestora pe criterii legate de funcționare, turații, dinamicitate și sensibilitate dinamică sunt analizate cerințele specifice fundării acestora în contextul general al fundațiilor instalației termoenergetice. Sunt analizate criteriile specifice care stau la baza alegerii soluțiilor de fundare, cum sunt condițiile specifice de amplasament, natura terenului bun de fundare, nivelul apelor freatice, criterii necesare asigurării unui nivel redus de transmisibilitate a vibrațiilor. Se face o trecere în revistă a soluțiilor specifice realizate pentru fundarea mașinilor mari din compunerea instalațiilor termoenergetice însoțită de explicații. În încheierea capitolului este prezentată soluția de fundare în / pe perne elastice din balast natural compactat executate în comun (concomitent) cu celelalte umpluturi din teren natural din zonă prin procedeul denumit "înfrățire".

Capitolul 5 prezintă în detaliu modelul matematic de calcul ales - corp rigid având 6 grade de libertate dinamică realizate prin cele 3 deplasări și cele 3 rotiri în lungul sau în jurul principalelor axe ale sistemului de coordonate împreună cu parametri care îl caracterizează, Sunt expuse cele două metode generale de calcul utilizate pentru rezolvarea problemei :

- metoda coeficienților elastici dinamici ai solului, utilizată cu precădere în zonele geografice de influență europeană.
- metoda semispațiului elastic, utilizată cu precădere în zonele geografice de influență americană.

Pentru metoda coeficienților elastici dinamici ai solului sunt detaliate rezolvările propuse de cele două școli, germană (metoda rezonanței) și rusească (metoda amplitudinilor). Se analizează efectele favorizante ale sistemului de fundare directă, cu efectul umpluturilor lateralei asupra comportării dinamice a blocului fundației masive directe (îngropate) în terenul bun de fundare (suport).

Sunt prezentate elemente pentru rezolvarea problemei utilizând metoda semispațiului elastic și element finit.

În capitolul 6 se prezintă elemente caracteristice de dinamică a solurilor pentru început sunt prezentate mărimi fizice ale solurilor care permit aprecierea comportării dinamice ale acestora. După definirea modurilor de elasticitate statice și dinamice ai solului (Young –  $E_{static}$ ,  $E_{dinamic}$ ,  $G_{static}$ ,  $G_{dinamic}$ ) precum și a coeficientului de contracție transversală (Poisson -  $\mu$ ), a vitezelor de propagare a vibrațiilor prin soluri și a undelor de suprafață Rayleigh sunt prezentate date obținute experimental în legătură cu aceștia (publicate prin literatura de specialitate). Sunt prezentate valori pentru coeficienții elastici ai solurilor utilizați în metoda de calcul a coeficienților elastici dinamici ai solului, împreună cu metode recomandate pentru aprecierea (calculul) acestora sau obținute experimental prin măsurători directe (publicate prin literatură). Datele prezentate accentuează asupra unor valori obținute pentru terenuri necoezive, balast natural, pietriș, nisip.

Sunt prezentate valori pentru coeficienții elastici și coeficienții de amortizare masici și geometrici utilizați de metoda de calcul a semispațiului elastic

Partea finală a capitolului 6 prezintă probleme legate de tasarea dinamică a solurilor precum și de presiunile admise pe soluri în cazul solicitărilor dinamice.

În capitolul 7 este prezentat în detaliu *procedeul de fundare directă pe / în perne elastice din balast natural compactat, executate în comun prin procedeul denumit "înfrățire" cu celelalte umpluturi din teren natural din zonă, pernă elastică în care se pot îngloba fundații cu solicitări statice sau elemente de gospodărie subterană existente în amplasament.*

Acest procedeu (metodă) de fundare pentru fundațiile masive de mașini a fost înregistrat ca invenție de către autorul prezentei teze, făcând obiectul brevetului **OSIM nr RO 97466**.

În prima parte a capitolului se face o analiză asupra soluțiilor de fundare practicate în trecut, împreună cu analizarea funcționării mașinilor montate pe acestea. Sunt analizate similitudinile cu metode de fundare apropiate. Se prezintă considerentele avute în vedere la realizarea acestei noi metode, împreună cu tehnologia de execuție completă necesară realizării acestui procedeu de fundare. Sunt date elementele constructive și de calcul în vederea proiectării efective a pernei elastice din balast natural compactat de așa manieră încât volumul pernei să fie minim asigurându-se eficiența economică a noului procedeu de fundare. Sunt precizate valorile coeficienților elastici dinamici care pot fi luați în considerare în calculul constantelor elastice ale rezemării / încastrării pe / în perna elastică.

În finalul capitolului sunt prezentate rezultate obținute în urma măsurătorilor vibrațiilor unor fundații executate cu această metodă de fundare și urmărite în exploatare timp de peste 10 ani, concluzii și recomandări în urma aplicării acesteia,

Capitolul 8 abordează problema consolidării, modificării sau a reabilitării blocurilor fundațiilor masive de mașini în urma re tehnologizării sau ca urmare a unor avarii de exploatare (accidente). Sunt analizate cauzele producerii defectelor blocurilor de fundație (de proiectare, execuție sau de exploatare) și indicate, funcție de natura, amplasarea și întinderea defectelor, procedeele recomandate pentru efectuarea remedierilor. Se indică succesiunea efectuării operațiunilor de investigare, stabilire a lucrărilor de remediere în conformitate cu cerințele normelor de reparații, cerințe la recepția calitativă a lucrărilor. Se prezintă rezolvarea unui caz concret de remediere a unor defecte de execuție combinate cu situația remodelării unei fundații masive de ventilator urmare înlocuirii utilajului la re tehnologizare.

Lucrarea este însoțită de două capitole anexe cuprinzând rezultatele a două programe de calcul automat utilizate în proiectarea curentă și întocmite de autorul tezei.

Programul TITUS pentru calculul și modelarea dinamică a fundațiilor masive rezemate pe teren sau pe pături elastice. Programul, întocmit de autorul prezentei lucrări, calculează prin metoda de calcul a coeficienților elastici dinamici și în condițiile stabilite prin STAS 7206-87, valorile pulsațiilor proprii și valorile deplasărilor (amplitudinilor) efective pentru starea de acordare a pulsațiilor proprii ale fundației de mașină cu perturbatorul. Întocmit ca aplicație a utilitarului EXCEL și rulând sub WINDOWS, programul are o manieră de lucru interactivă, permițând modelarea succesivă a blocului fundației masive și suprafeței de reazem până la obținerea rezultatului dorit. Programul efectuează o analiză completă a domeniului dinamic de existență al blocului de fundație după toate cele 6 grade de libertate dinamică posibile, calculând valorile presiunilor maxime pe suport sub talpa fundației.

Programul PRES-M, calculează valorile presiunilor sub talpa fundațiilor izolate solicitate static, la cerințele STAS 3300/1, /2 –85 și normativului P 10-86. Întocmit în limbajul BASIC PRAE-M, programul rulează interactiv, permițând modelarea tălpii fundațiilor cu asigurarea realizării unor presiuni maxime (medii pe talpă și maxime pe colț) în limitele acceptate de norme, asigurând și zona activă minimă cerută de acestea.

Ambele programe sunt în exploatarea curentă a ISPE Sector Timișoara.

Întocmitorul prezentei tezei de doctorat este autorul a :

- 13 lucrări publicate la simpozioane la nivel național și internațional, (4 în colaborare)
- 2 brevete de invenție OSIM (în colaborare)
- 2 lucrări (în colaborare), - una publicată și una sub tipar

Temele abordate prin lucrările menționate, au ca subiect probleme legate de domeniul proiectării execuției și exploatării fundațiilor masive de mașini.

## Cap.10 Bibliografie

1. Apostolescu, Vi. *Basic concepts governing the roumanian code of practice for maschine foundation design*. Dy.F.Bc.1985
2. Bieber, R.E. Hovland, H.J. *Seismic Dynamic Response by Approximate Methods*. EEandSD vol. (1980)
3. Bratu, P. *Izolarea și amortizarea vibrațiilor la utilaje de construcții*. INCERC Buc.1982
4. Bratu, P. *Sisteme elastice de rezemare pentru mașini și utilaje*. Editura Tehnică 1990
5. Brîndeu, L. *Vibrații. Mecanica analitică, vibrații mecanice*. Inst.Polit.Traian Vuia Timișoara 1978
6. Brîndeu, L. *Mecanică. Dinamică*. Inst.Politehnic.Traian Vuia Timișoara 1982.
7. Brîndeu, L. Tămășan, L. Angelescu, V. Tămășan, M. *Metode și tehnici de calcul în teoria vibrațiilor. probleme*. Timișoara 1992.
8. Brîndeu, L.. Tămășan, C. Tămășan, M. *Mecanică și vibrații. Culegere de probleme pentru calculator*. Timișoara , 1993
9. Brîndeu, L. Buzilă, T. *Considerații privind calculul și construcția fundațiilor masive de mașini*. Simpozion "Zilele academice Timișene - 1991". (nepublicat)
10. Brîndeu, L. Buzilă, T. Herșanu, N. *Vibrații - Teme și exemple de calcul*. Timișoara 1992.
11. Buzdugan, Gh. *Studiu comparativ între diverse metode pentru calculul fundațiilor masive de mașini*. Studii și cercetări de mecanică aplicată. Tom VIII, nr. 2 1957.
12. Buzdugan, Gh. Hamburger, L. Wernscher, V. *Fundații de mașini*. Editura Tehnică 1958. București.
13. Buzdugan, Gh. *Dinamica fundațiilor de mașini*. EARSR 1968, București.
14. Buzdugan, Gh. Radeș, M. *Coefficienți elastici ai solului folosiți în calculul fundațiilor de mașini*. Rev.Construcții nr.6/1977.
15. Buzdugan, Gh. și colectiv. *Realizarea unei instalații pentru determinarea coeficientului elastic dinamic al solului,  $C_z$ , folosit în proiectarea fundațiilor de mașini*. Rev.Construcții nr. 5/1978.
16. Buzdugan, Gh. *Izolarea antivibratorie a mașinilor*. EARSR 1980 București.
17. Buzdugan, Gh. Fetcu, L. Radeș, M. *Vibrații mecanice*. Ed.Didactică și dagogică București 1982.
18. Buzdugan, Gh. Mincă, I. *New elements regarding the definition of spring constants and the elastic coefficients of the foundation - soil interaction*. Dy.F.Bc 1985.
19. Buzdugan, Gh. Mincă, I. *Experimental values of the dynamic coefficients of subgrade reaction  $C_z$ ,  $C_x$ ,  $C_\varphi$ ,  $C_\psi$*  Dy.F.Bc 1985
20. Buzdugan, Gh. *Dinamica sistemului mașină - fundație - sol : o trecere în revistă a stadiului actual al problemei*. Studii și Cercetari de mecanică Aplicată, tom 50 nr 1-2/1991.
21. Buzdugan, Gh. *Izolarea antivibratorie*. E.A 1993, București.
22. Buzilă, T. Fiat, N. Nistor, Ghe. *Considerații privind proiectarea fundațiilor pentru preîncălzitorii de aer și ventilatoarele de aer și gaze arse la CTE Anina*. MEE - MCInd Simpozion CTE Anina 1986.
23. Buzilă, T. *Proiectarea fundațiilor masive solicitate dinamic pentru pompe de mare putere și ventilatoare de aer cu debit mare*. MEE - ISPE 1974 nepublicat.

24. Buzilă, T. *Procedee moderne de fundare pentru mașini grele*. Simpozion ISPE 1987.
25. Buzilă, T. *Procedee de remediere a defectelor fundațiilor masive de mașini*. INCERC a 7-a ediție a simpozionului "Comportarea în situ a construcțiilor", Arad, 1988.
26. Buzilă, T. *Program pentru modelarea tălpilor fundațiilor izolate prin calculul terenului de fundare pe baza presiunilor convenționale*. Al VI-lea simpozion național de informatică în construcții, 1988.
27. Buzilă, T. *Noi procedee de realizare a fundațiilor masive de mașini*. MEE-ISPE Simp. A VI-a conf. naț. a termoeneticienilor. 1988.
28. Buzilă, T. *Block foundations on gravel sand layers*. A VIII-a Conf. Naț. de geot. și fundații, 1988.
29. Buzilă, T. *Fundații masive de mașini realizate în condiții dificile de amplasament sau de teren de fundare*. Conf. Națională de inginerie tehnologică Cluj-Napoca 1988
30. Buzilă, T. *Modificarea și remedierea defectelor fundațiilor masive de mașini*. A VIII - a Conf. Naț. de geotehnică și fundații. 1992.
31. Buzilă, T. Drăgănicea, I. *Remedierea defectelor unor fundații masive de mașini*. A VIII-a Conferința Națională de geotehnică și fundații, 1992.
32. Buzilă, T. *Soluții noi pentru fundarea mașinilor mari, fundații masive în perme elastice din balast natural compactat*. Buletinul ISPE nr. 3 / 1998.
33. Caquot, A. Kerisel, J. *Tratat de mecanica pământurilor*. Editura Tehnică București 1968.
34. Chiriacescu, S. T. *A dynamic model of the antivibratory isolation system of machine tools*. Dy. F. Bc.
35. Fiat, N. Buzilă, T. *Block foundation on gravel sand layers for the ventilators of the power boilers*. Dy. F. Bc. 85
36. Gazetas, G. *Analyses of machine foundations : State of art*. SDEE, vol. 2, nr. 1, 1983
37. Gane, N. *Calculul fundațiilor de mașini*. Editura Tehnică București, 1951.
38. Genta, G. *Vibrationi della strutture e delle machine*. Levrotto & Bella, 1996.
39. Géréb, T. *Asupra metodelor de proiectare pentru fundațiile turbogeneratoarelor*. RCMC, vol. 21, nr. 8/1967.
40. Géréb, T. Apostolescu, V. *Despre metodele de proiectare a fundațiilor de turbogeneratoare*. RCMC, vol. 21, nr. 1/1967
41. Géréb, T. *Efectul umpluturilor laterale la fundațiile masive de mașini*. RCMC, vol. 20, nr. 12/1966.
42. Hamburger, L. Buzdugan, Gh. *Combaterea vibrațiilor în întreprinderi*. EARSR, 1953.
43. Harris, C. Crede, C. E. *Șocuri și vibrații. volumele I - III*. Editura Tehnică București, 1969.
44. Holzöhner, U. *Behaviour of dynamically loaded buildings on the soil*. ICSMFE, Stokholm, 1981.
45. Holzöhner, U. *Vibrations of the elastic half - space due to vertical surface loads*. EE and SD, vol. 8 1980
46. INCERC filiala Timișoara. *Perfecționarea metodelor de calcul și proiectare a fundațiilor de mașini Faza II. Studii și experimentări pentru determinarea și verificarea parametrilor dinamici ai ansamblurilor fundație - mașină și ai terenului de fundație*. Contract 301/78, nepublicat.
47. Krämer, E. *Dynamics of rotors foundations*. Springer Verlag 1993.
48. Krey, H. *Erddruck, Erdwiderstand*. Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1936.
49. Lateș, M. Zaharescu, E. *Stabilitatea malurilor și taluzurilor*. Ed. Ceres, București, 1977.
50. Lehr, H. Stănescu, E. Andrei, S. Manoliu, I. *Metode noi în proiectarea și executarea fundațiilor*. Editura Tehnică București, 1963.
51. Lehr, H. *Fundații, exemple de calcul*. Editura Tehnică București, 1967.



52. Lipiński, J. *Fundamente und Tragkonstruktionen für Maschinen*.  
Bauverlag GmbH Wiesbaden, 1972
53. Maior, N. Păunescu, M. *Geotehnică și fundații*. Editura didactică și pedagogică Buc. 1973
54. Major, A. *Dynamics in Civil Engineering. Analysis and Design. Vol. I - IV*.  
Akadémiai kiado Budapest, 1980.
55. Manciu, C. Iliescu, I. Grigorescu, D. *Determinarea "in situ" a parametrilor terenurilor slabe pentru fundarea utilajelor cu solicitări dinamice în industria chimică*. Rev. Construcții nr. 5/1980.
56. Mangeron, D. Irimiciuc, N. *Mecanica rigidelor cu aplicații în inginerie. Vol I - III*. Ed. Tehnică 1981.
57. MCInd.-ICCPDC *Îndrumător pentru proiectarea fundațiilor de mașini. Redactarea 1986*.  
proiect, nepublicat.
58. MCInd.-ICCPDC *Îndrumător pentru proiectarea fundațiilor de mașini. Redactarea 1989*.  
proiect, nepublicat.
59. MEE - ISPE. *Instrucțiuni pentru proiectarea și executarea fundațiilor solicitate dinamic*.  
*II Fundații masive. Redactarea I – 1968*, nepublicat
60. MEE - ISPE. *Instrucțiuni pentru proiectarea și execuția fundațiilor solicitate dinamic*.  
*Revizuire ediția 1978*, nepublicat.
61. Meck, J.W. Wolf, J.P. *Cone models for Soil layer on Rigid Rock, II*. JGE vol.118 no.5, May 1992..
62. Wolf, J.P. *Aproximate Green's Function for Surface Foundations*.  
JGE vol.119 no.10 oct.93.
63. Meck, J.W. Wolf, J.P. *Cone models for Embedded Foundation*. JGE vol.120 no.1, January 1994
64. Meck, J.W. Wolf, J.P. *Cone models for marly incompressible soil*. EEandSD vol.22 (1993)
65. Meck, J.W. Wolf, J.P. *Material damping for lumped parameter models of foundations*.  
EEandSD vol.23 (1994).
66. Păunescu, M. *Tehnica vibrații în realizarea fundațiilor*. Facla Timișoara 1979.
67. Păunescu, M. *Îmbunătățirea terenurilor slabe de fundare în vederea fundării directe*. Ed. T. 1980.
68. Păunescu, M. Pop, V. Siliu, T. *Geotehnică și fundații*. Ed. Didactică și Pedagogică, 1982.
69. Păunescu, M. Butuman, V. *On the possibility of tuning the foundation - machine assembly*.  
Dy.F.Bc.85
70. Păunescu, M. Jurca, A.. *Coefficients of elasticity for improving the soil by ballast plots, determined in situ*. Dy.F.Bc.85.
71. Pop, V. Popa, A. *Geotehnică și fundații*. Institutul Politehnic Cluj Napoca, 1982.
72. Popa, A. și colectiv. *Geotehnică și fundații - exemple de calcul*. Univ. Tehn. Cluj Napoca, 1993.
73. Rădoi, M. Deciu, E. Voiculescu, D. *Elemente de vibrații mecanice*. Editura Tehnică București.
74. Rausch, E. *Maschinenfundamente und andere beanspruchte Baukonstruktionen*.  
Kommisionsverlag, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 1959
75. RENEL - ISPE, *Studiu pentru elaborarea unei noi tehnologii de proiectare a fundațiilor de mașini*.  
*cu considerarea interacțiunii mașină - fundație - teren de fundație*. dec.1994, nepublicat.
76. Richart, F.E. *Vibration of soil and foundations*. Prentice - Hall. Englewood, Cliffs, N J. 1970.
77. Savinov, O.A. *Sovremennii konstrukții fundamentov pod mașini i ih rasciot*. Stroizdat, 1979.
78. Savidis, S.A. Richter, T. *Dynamic interaction of rigid foundations*.
79. Silaș, Gh. *Mecanica, vibrații mecanice*. Ed. Didactică și pedagogică, Buc. 1968
80. Silaș, Gh. *Sisteme vibropercutante*. Editura Tehnică, 1986.

81. Snitko, N.K. *Dinamica construcțiilor*. Editura Tehnică, 1962.
82. Stan, A. Unele nomograme utile referitoare la protecția mașinilor împotriva vibrațiilor. Buletinul Institutului Politehnic București, tom XXVI, fascicol 2 / 1964.
83. Tomlinson, L.J. *proiectarea și executarea fundațiilor*. Editura Tehnică, 1974.
84. Weisner, D. *New aspects regarding the design of machine foundations*. Dy.F Bc.85
85. Wolf, P.J. Meck, J.W. *Dynamic soil structure interaction*. Prentice-Hall Inc, Englewood, NJ, 1985.
86. Wolf, P.J. Meck, J.W. *Cone models for a pile foundation*. Sesion proc./ASCE National Conv. 1992
87. Wolf, P.J. Peronesso, A. *Lumped - parameter model for a rigid cylindrical foundation embedded in a soil layer on rigid rock*. EEandSD vol.21 (1992).
88. Wolf, P.J. Meck, J.W. *cone models for a soil layer on a flexible rock half - space*. EEandSD, vol.22 (1993).
90. Wolf, P.J. Meck, J.W. *Insight on 2D - versus 3D modelling of surface foundations via strenght - of - materials solutions for soil dynamics*. EEandSD, vol.23 (1994).
91. Wolf, P.J. Meck, J.W. *Rotational cone models for a soil layer on flexible rock half - space*. EEandSD, vol.23 (1994)
92. Wolf, P.J. Meck, J.W. *Dynamic stiffnes on foundation on layered soil half - space using cone frustums*. EEandSD, vol. 23 (1994).
93. Brevet OSIM nr. RO 90269 / 1986, Fundații pentru mașini,  
Autori : ing.M.Păunescu, ing.V.Butuman, ing.T.Buzilă.
94. Brevet OSIM nr. RO 97466 / 1989, Procedeu de fundare pentru mașini,  
Autori : ing.T.Buzilă, ing.N.Fiat.
95. STAS 7206 – 87, Fundații de mașini.
96. STAS 3300 / 1, / 2 – 85, Teren de fundare, principii de calcul și calculul terenului de fundare.
97. STAS 6910 – 87, Agregate energetice, vibrații admisibile.
98. P 121 – 83, Instrucțiuni tehnice pentru proiectarea și executarea măsurilor de protecție acustică și antivibratilă la clădiri industriale. ICCPDC, Buletinul Construcțiilor nr. 6 / 1984.
99. C 149 – 87, Instrucțiuni tehnice privind procedeele de remediere a defectelor pentru elementele de beton și beton armat. ICCPDC, Buletinul Construcțiilor nr. 5 / 1987.
100. C 241 – 92, Metodologia de determinare a caracteristicilor dinamice ale terenului de fundare la solicitări seismice. MLPAT – DCCSRTpC, Buletinul Construcțiilor nr. 9 / 93.
101. GERB, *Schwingungsisolierungen (schtzgebühr)*. 6 Auflage Berlin 1976
102. GERB, *Schwingungsisolierungen (schtzgebühr)*. 9 Auflage Berlin 1992
103. DIN 4024, Stutzkonstruktionen für rotierende Maschinen.
104. VDI 2056 – Richtlinien, Beurteilung für mechanische Schwingungen von Maschinen.
105. TEV 541 – 01, Bauwerksgründungen – Maschinenfundamente – Technische Grundlage.  
Ausgabe 79

Prescurtări utilizate :

- EEandSD, Earthquake Engineering and Structural Dynamics.
- JGE, Journal of Geotechnical Engineering.
- RCMC, Revista construcțiilor și Materialelor de Construcții.
- Dy.F.Bc.85, Simposium Dynamics of Maschine Foundation, Academy of the RSR, Bucharest, 1985
- SDEE, Soil Dynamics and Earthquake Engineer.



4a) greutatea din masina actionand dinamic, rotatii in jurul axei o - x si/sau translatii in lungul axei o - y introduceti valoarea zero pentru frecventa pe tipul de miscare care nu se produce

											frecvente in rpm			
											Moment dinamic in jurul ax. o - x, $M_x =$		total greutate,	
element				x	y	z	$G_i$	$x_i \cdot G_i$	$y_i \cdot G_i$	$z_i \cdot G_i$	G	in jur ax		
												$o-x, n_x =$		
												0,0		
												$p_x =$		
												0,0		
												in lung ax		
												$o-y, n_y =$		
				0,0				0,0	0,0	0,0	0,0			
								0,000	0,000	0,000				

4 b) greutatea din masina actionand dinamic, rotatii in jurul axei o - y si / sau translatii in lungul axei o - x introduceti solicitarile cerute numai in zonele marcate colorat

rotatie in jurul axei o - y ; [ b ] (lungime rotor), [ d ] (diametru rotor), [ G ] (greutate rotor)

translatie in lungul axei o - x ; valori zero [0] pentru [ b si d ], [ G ] (greutatea in translatie)

											frecvente in rpm		
Fora dinam.oriz.in lungul o - x, $F_x =$				Moment dinamic in jurul ax. o - y, $M_y =$				total greutate,					
element	gr.tran.	b	d	x	y	z	$G_i$	$x_i \cdot G_i$	$y_i \cdot G_i$	$z_i \cdot G_i$	G	in jur ax	
												$o-y, n_y =$	
1		2,300	1,400	3,450	1,750	9,300	135,90	468,9	237,8	1263,9	135,90	$o-y, n_y =$	
2		1,000	0,600	2,750	4,250	9,410	30,00	82,5	127,5	282,3	30,00	480,0	
												$p_y =$	
												50,2	
												in lung ax	
												$o-x, n_x =$	
												480,0	
												$p_x =$	
												50,2	
												rad/sec	
				0,0				551,4	365,3	1546,2	165,9		
				coordonate punct de aplicatie rezultanta fortelor gravitationale =				3,323	2,202	9,320			

4 c) greutatea din masina actionand dinamic, rotatii in jurul axei o - z si / sau translatii in lungul axei o - z introduceti solicitarile cerute numai in zonele marcate colorat

translatie in lungul axei o - z ; valori zero [0] pentru [ c si d ], [ G ] (greutatea in translatie)

											frecvente in rpm	
Fora dinam.oriz.in lungul o - z, $F_z =$				Moment dinamic in jurul ax. o - z, $M_z =$				total greutate,				
element	gr.transl.	c	d	x	y	z	$G_i$	$x_i \cdot G_i$	$y_i \cdot G_i$	$z_i \cdot G_i$	G	in jur ax
												$o-z, n_z =$
												0,0
												$p_z =$
												0,0
												in lung ax
												$o-z, n_z =$
												480,0
												$p_z =$
												50,2
												rad/sec
				0,0				0,0	0,0	0,0	0,0	
								0,000	0,000	0,000		



## 6.) Valori pentru calcule de dinamica conform cerintelor STAS 7206 - 87

Suprafata de fundare =	29,43	[ m <sup>2</sup> ]	inaltime bloc fundatie =	8,250	[ m ]
Moment de inertie I <sub>x</sub> =	72,85	[ m <sup>4</sup> ]	distanța talpa - centru masic =	3,706	[ m ]
Moment de inertie I <sub>y</sub> =	71,51	[ m <sup>4</sup> ]	distanța centru masic - suprafata bloc =	4,544	[ m ]
latura talpa pe dir. o - x =	5,400	[ m ]	inaltime umplutura in jurul blocului =	1,500	[ m ]
latura talpa pe dir. o - y =	5,450	[ m ]	presiune statica admisa sub talpa =	250	[ kPa ]

coord. centre de greutate		supraf. rezem.	bloc+mas.	disanta c-tru masic fundatie				
bloc fundatie	pe dir. o - x	2,700	2,760	p-ct de aplic.	pe dir. o - x	0,000	0,564	0,000
	pe dir. o - y	2,725	2,691		pe dir. o - y	0,000	-0,488	0,000
cu masina :	pe dir. o - z		3,706	rezultan. forte dinamice.	pe dir. o - z	0,000	5,614	0,000

## Echilibrare dinamica bloc fundatie

presiune dinamica admisa sub talpa = 200 [ kPa ]

presiune efectiva pe suport, pe suprafata de reazem a fundatiei, [ kPa ] 79

excentr. max. admisa = 5%

excentr. realiz. pe dir o - x = -0,060 [ m ], = 1,1% cerinta respectata fundatia echilibrata dinamic

excentr. realiz. pe dir o - y = 0,034 [ m ], = 0,6% cerinta respectata fundatia echilibrata dinamic

fundatia echilibrata dinamic conform cerintei STAS 7206-87

## Greutati actionand fundatia cu masina

valori p-tru calculul pulsatiilor proprii

pulsatii perturbatoare de	rad / sec	val medii	(coef. incarc.)	minime	(coef. incarc.)	maxime
rotatie in jurul axei o - x =	0,00 [rad/sec]	0,00	1,15	0	0,85	0
transl. in lungul axei o - x =	50,24 [rad/sec]	0,00	1,15	0	0,85	0
rotatie in jurul axei o - y =	50,24 [rad/sec]	165,90	1,15	190,785	0,85	141,015
transl. in lungul axei o - y =		0,00		0		0
rotatie in jurul axei o - z =	0,00 [rad/sec]	0,00	1,15	0	0,85	0
transl. in lungul axei o - z =	50,24 [rad/sec]	0,00	1,15	0	0,85	0
masina actiune, statica =		172,60	1,05	181,23	0,95	163,97
total greutati din masina =		338,50	1,0990	372,015	0,9010	304,965
greutate bloc fundatie =		1994,78	1,10	2194,25	0,90	1795,30
<b>total greutate, bloc fundatie cu masina [ kN ] =</b>		<b>2333,28</b>	<b>1,0999</b>	<b>2566,27</b>	<b>0,9001</b>	<b>2100,28</b>
<b>masa , bloc fundatie cu masina [ t ] =</b>		<b>237,85</b>		<b>261,60</b>		<b>214,10</b>

## Momente de inertie de greutate si masice

momente de inertie masice	J <sub>x</sub> =	3619,8	[ t m <sup>2</sup> ]	3981,30		3258,37
fata de centrul masic	J <sub>y</sub> =	3643,5	[ t m <sup>2</sup> ]	4007,36		3279,70
(de greutate) al fundatiei cu masina	J <sub>z</sub> =	1367,7	[ t m <sup>2</sup> ]	1504,23	coef. g	1231,09
momente de inertie masice	J <sub>cx</sub> =	6887,1	[ t m <sup>2</sup> ]	7574,86	0,5256	6199,41
fata de centrul elastic	J <sub>cy</sub> =	6910,8	[ t m <sup>2</sup> ]	7600,92	0,5272	6220,74
(de greutate) al suprafetei de reazemare	J <sub>cz</sub> =	1367,7	[ t m <sup>2</sup> ]	1504,23		1231,09

## Constante elastice ale reazemarii pe / in teren

variatie a coef. elastici conform STAS 7206-87, (- / +)

50%

C <sub>z</sub> =	65 ( MN / m <sup>3</sup> )	K <sub>z</sub> = S * C <sub>z</sub> [ kN/m ] =	956475	1912950	2869425
C <sub>x</sub> = C <sub>y</sub> =	43 ( MN / m <sup>3</sup> )	K <sub>x</sub> = K <sub>y</sub> = S * C <sub>x</sub> [ kN/m ] =	637650	1275300	1912950
C <sub>cx</sub> =	130 ( MN / m <sup>3</sup> )	K <sub>cx</sub> = I <sub>x</sub> * C <sub>cx</sub> [ kN m ] =	4734950	9469900	14204849
C <sub>cy</sub> =	130 ( MN / m <sup>3</sup> )	K <sub>cy</sub> = I <sub>y</sub> * C <sub>cy</sub> [ kN m ] =	4648469	9296937	13945406
C <sub>v</sub> =	98 ( MN / m <sup>3</sup> )	K <sub>v</sub> = (I <sub>x</sub> + I <sub>y</sub> ) * C <sub>v</sub> [ kN m ] =	7037564	14075127	21112691

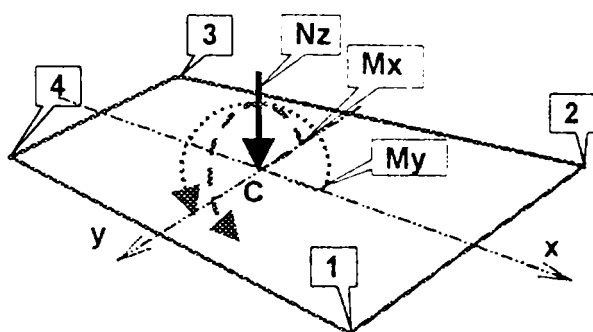
## Pulsatii perturbatoare actionand asupra complexului masina - fundatie

directie misc.	translatii in lungul axelor			rotatii in jurul axelor		
	o - x	o - y	o - z	o - x	o - y	o - z
pulsatie pert.						
nx	50,24					
ny						
nz			50,24			
nfx						
nfy	50,24		50,24		50,24	
nfz						
puls. minima	50,24		50,24		50,24	
puls. maxima	50,24		50,24		50,24	

**Forțe și momente dinamice perturbatoare acționând asupra fundației masive [ kN ], [ kNm ]**

	forțe dinamice acționând în jurul axelor			momente dinamice acționând în jurul axelor		
	o - x	o - y	o - z	o - x	o - y	o - z
transl. o - x	103,00					
transl. o - y						
transl. o - z			103,00			
rotatie. o - x						
rotatie. o - y	13,25		13,25			
rotatie. o - z						
total solicitari	116,25	0,00	116,25	0,00	0,00	0,00

**Presiuni maxime / minime sub talpa de fundație**



**forțe și momente dinamice pentru rototranslații [ kN , kNm ]**

	rotatie în jurul axului o - x translație în lung ax o - y		rotatie în jurul axului o - y translație în lung ax o - x	
	forțe [ o - y ]	mom. [ o - x ]	forțe [ o - x ]	mom. [ o - y ]
nx			103,00	
ny				
nz				
nfx				
nfy			13,25	
nfz				

**solicitări în centrul elastic C al suprafeței de rezemare pe suport a fundației masive**

	solicitări la talpa			presiuni pe colt conform STAS 2300/1.2 - 85 [ kPa ]			
	Nz	Mx	My	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>
forța axială maximă	2682,52	92,44	590,71	117	110	65	72
				pres. maximă	117	pres. minimă	65
forța axială minimă	1984,03	92,44	590,71	87	80	47	54
				pres. maximă	87	pres. minimă	47

**rezemarea pe suport corespunzătoare**

presiune maximă realizată (pe colt) pe talpa fundației	$p_{max} = 117$ [ kPa ]
presiune maximă admisă pe colțul talpii fundației	$p_{adm} = 350$ [ kPa ]

**7.1) mișcare de translație în lungul axei verticale o - z**

	pulsatii minime	frecvența	pulsatii maxime	frecvența
masina :	60,24 rad/sec	= 479,10 rpm		
fundația :	60,47 rad/sec	= 576,63 rpm	115,77 rad/sec	= 1104,00 rpm
	ecart minim fundație / masina = 20,4%		ecart maxim fundație / masina = 130,4%	

acordare dinamică a fundației cu masina, : Nu există posibilitatea unor rezonanțe cu masina, fundație supraacordată  
 amplitudine orizontală calculată pentru situația de exploatare normală = 303,53 [ microni ] 65,00

**7.2) mișcare de translație în lungul axei orizontale o - y**

	pulsatii minime	frecvența	pulsatii maxime	frecvența
masina :				
fundația :	49,37 rad/sec	= 470,82 rpm	94,53 rad/sec	= 901,41 rpm

acordare dinamică a fundației cu masina, : Nu există solicitare dinamică a fundației pe această (aceste) direcție

## 7.3 ) miscare de translatie in lungul axei horizontale o - x

	pulsatii minime		frecventa		pulsatii maxime		frecventa
masina :	60,24	rad/sec =	479,10	rpm			
fundatia :	49,37	rad/sec =	470,82	rpm	94,53	rad/sec =	901,41 rpm
	ecart minim fundatie / masina = -1,73%				ecart maxim fundatie / masina = 88,15%		

acordare dinamica a fundatiei cu masina, : Fundatia se gaseste in rezonanta cu masina, pe pulsatii minime

amplitudine orizontala calculata pentru starea de rezonanta = 455 [microni]

## 7.4 ) miscare de rotatie in jurul axei o - x si translatie orizontala in lungul axei o - y

	pulsatii minime		frecventa		pulsatii maxime		frecventa
masina :							
fundatia :	23,42	rad/sec =	223,30	rpm	139,08	rad/sec =	1326,34 rpm

acordare dinamica a fundatiei cu masina Nu exista solicitare dinamica a fundatiei pe aceasta (aceste) directie

## 7.5 ) miscare de rotatie in jurul axei o - y si translatie orizontala in lungul axei o - x

	pulsatii minime		frecventa		pulsatii maxime		frecventa
masina :	60,24	rad/sec =	479,10	rpm			
fundatia :	23,20	rad/sec =	221,20	rpm	138,88	rad/sec =	1324,40 rpm
	ecart minim fundatie / masina = -53,83%				ecart maxim fundatie / masina = 176,44%		

acordare dinamica a fundatiei cu masina Fundatia se gaseste in rezonanta cu masina, pe pulsatii minime

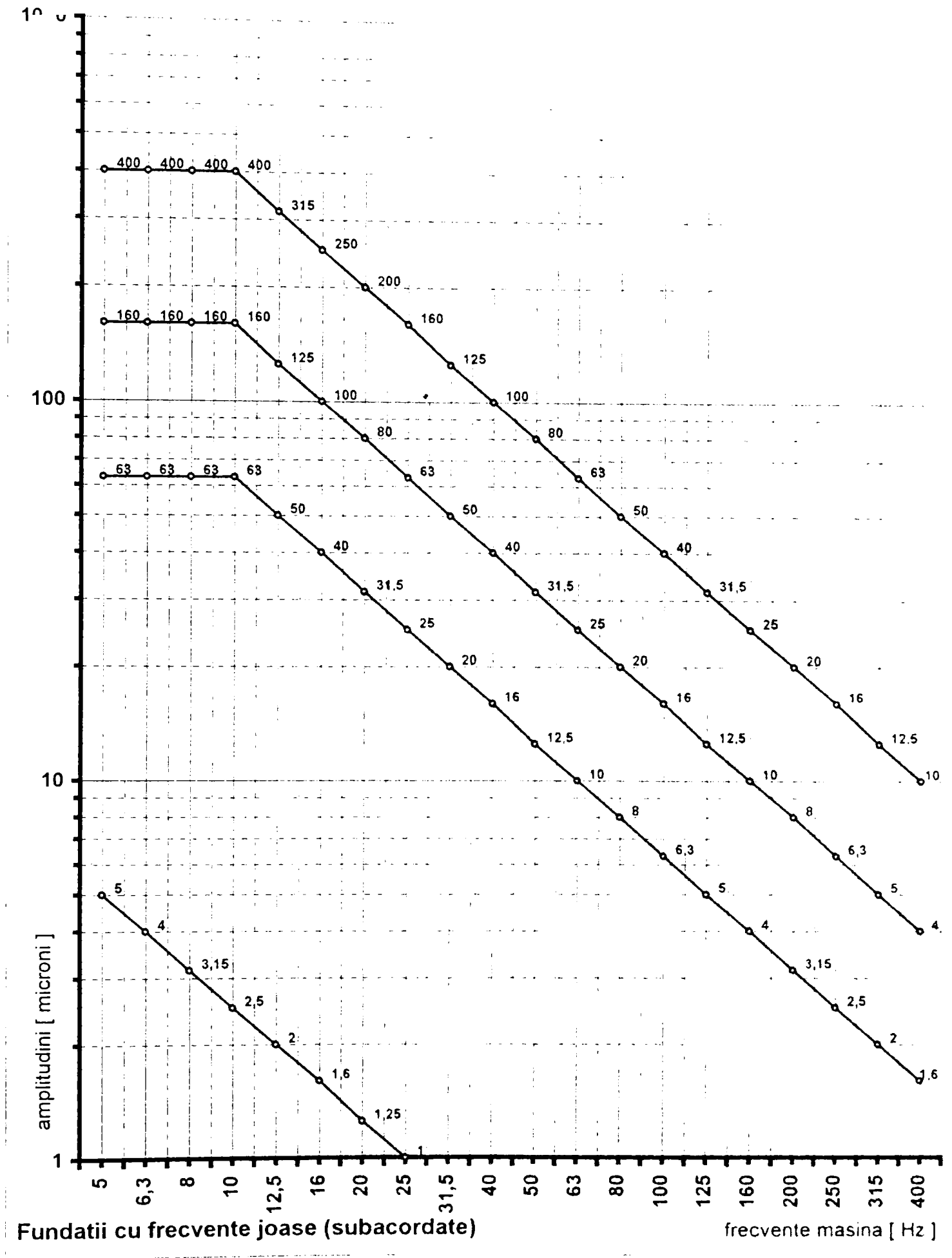
amplitudine orizontala calculata pentru starea de rezonanta = 4094 [microni]

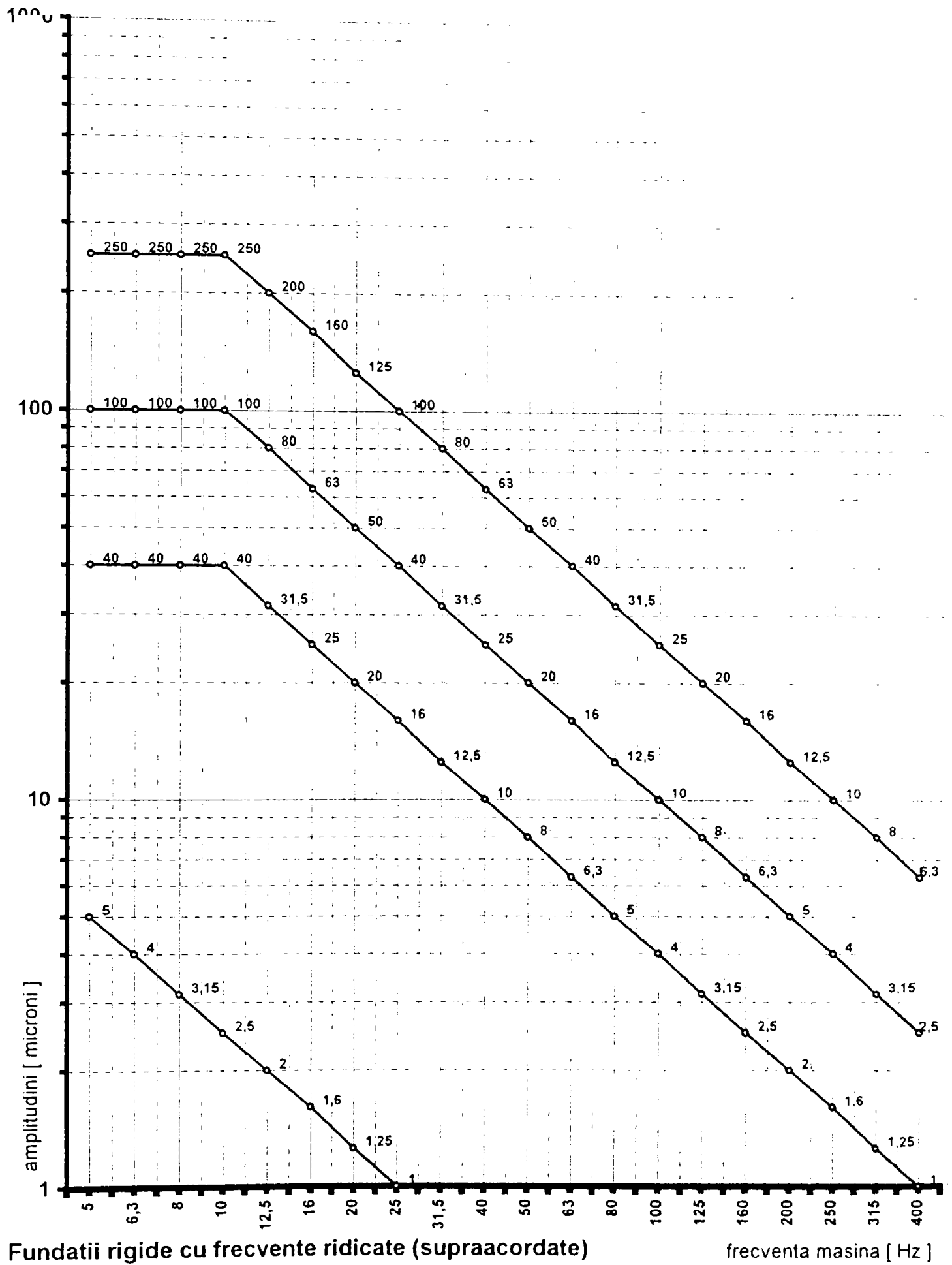
## 7.6 ) miscare de rotatie in jurul axei verticale o - z

	pulsatii minime		frecventa		pulsatii maxime		frecventa
masina :							
fundatia :	68,40	rad/sec =	652,27	rpm	130,96	rad/sec =	1248,83 rpm

acordare dinamica a fundatiei cu masina Nu exista solicitare dinamica a fundatiei pe aceasta (aceste) directie













**9.3 ) translatii horizontale in lungul axei o - x**

transl. in lung ax. o - x, nx=	50,24	[ rad/sec ]
rotatii in jurul axei o - y, ny=	50,24	[ rad/sec ]

pulsatie proprie minima fundatie = **49,37**  
 ecart minim fundatie / masina = **-1,73%**

fundatie	49,37	73,22	94,53
masina	40,19	50,24	60,29

masina, pulsatie = 50,24 [ rad/sec ]

pulsatie proprie maxima fundatie = **94,53**  
 ecart maxim fundatie / masina = **88,15%**

**Fundatia se gaseste in rezonanta cu masina, pe pulsatii minime**

amplitudine orizontala calculata pentru starea de rezonanta = 455,3 [microni]

637650	1912950	2,17155	1,17258	103,00	118,45	637650	403	403
261,60	214,10	0,00000	0,00000	0,00	0,00	0	0	0
455	455	0,00000	0,00000	0,00	0,00	0	0	0
2,700		0,00000	0,00000	0,00	0,00	0	0	0
2,725		2,17155	1,17258	13,25	15,24	637650	52	52
		0,00000	0,00000	0,00	0,00	0	0	0
		2,17155	2,17155					
		0,00000	0,00000					
		0,00000	0,00000					
		0,00000	0,00000					
		2,17155	2,17155					
		0,00000	0,00000					

**9.4 ) translatii verticale in lungul axei o - z**

transl. in lung. ax. o - z, nz=	50,24	[ rad/sec ]
rotatii in jurul axei o - y, ny=	50,24	[ rad/sec ]

pulsatie proprie minima fundatie = **60,47**  
 ecart minim fundatie / masina = **20,36%**

fundatie	60,47	89,68	115,77
masina	40,19	50,24	60,29

masina, pulsatie = 50,24 [ rad/sec ]

pulsatie proprie maxima fundatie = **115,77**  
 ecart maxim fundatie / masina = **130,43%**

**Nu exista posibilitatea unor rezonante cu masina, fundatie supracordata**

amplitudine orizontala calculata pentru situatia de exploatare normala = 303,5 [microni]

956475	2869425	0,00000	0,00000	0,00	0,00	0	0	0
261,60	214,10	0,00000	0,00000	0,00	0,00	0	0	0
304	304	2,17155	1,17258	103,00	118,45	956475	269	269
2,700		0,00000	0,00000	0,00	0,00	0	0	0
2,725		2,17155	1,17258	13,25	15,24	956475	35	35
		0,00000	0,00000	0,00	0,00	0	0	0
		0,00000	0,00000					
		0,00000	0,00000					
		2,17155	2,17155					
		0,00000	0,00000					
		2,17155	2,17155					
		0,00000	0,00000					

## 9.5 ) rotatii in jurul axului horizontal o - x si translatii horizontale in lungul axului o - y

	fundatie	23,42	81,25	139,08
	masina	0,00	0,00	0,00
	AL	AM	AN	AO
	masina, pulsatie =			0,00 [ rad/sec ]

pulsatie proprie minima fundatie = 23,42

pulsatie proprie maxima fundatie = 139,08

Nu exista sollicitare dinamica a fundatiei pe aceasta (aceste) directie

ag	ah	ai	aj	ak	al	am	an	ao
4734950	14204849	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	
637650	1912950	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00
7574,86	6199,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00
2566,27	2100,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	
2437,52707	8935,007314	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	
623,831721	2290,066726	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	
3061,358791	11225,07404	0	0	0,00	0,00	0,0	0,0	261,60
3196887,392	43018323,99	0	0	0,00	0,00	0,0	0,0	214,10
548,3299971	2012,504336	0	0	0,00	0,00	0,0	0,0	3,706
5276,238891	19344,42293	0	0	0,00	0,00	0,0	0,0	8,25
23,42	44,86	0	0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,5256
72,64	139,08	0	0	0,00	0,00	0,0	0,0	

## 9.6 ) rotatii in jurul axului horizontal o - y si translatii horizontale in lungul axului o - x

transl. in lung. ax. o - x, nx=	50,24	50,24	[ rad/sec ]	fundatie	23,20	81,04	138,88
				masina	40,19	50,24	60,29
rotatii in jurul axei o - y, ny=	50,24	50,24	[ rad/sec ]	masina, pulsatie = 50,24 [ rad/sec ]			

pulsatie proprie minima fundatie = 23,20

pulsatie proprie maxima fundatie = 138,88

ecart minim fundatie / masina = -53,83%

ecart maxim fundatie / masina = 176,44%

Fundatia se gaseste in rezonanta cu masina, pe pulsatii minime

ag	ah	ai	aj	ak	al	am	an	ao
amplitudine orizontala calculata pentru starea de rezonanta =								4094,0 [microni]
4648469	13945406	118,45	0,00	10,34	4,23	45,2	3627,3	
637650	1912950	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	51,04
7600,92	6220,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	4093,99
2566,27	2100,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	
2437,52707	8935,007314	15,24	0,00	1,33	0,54	5,8	466,7	
610,3153273	2240,509514	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	
3047,842397	11175,51683	6,62004E+13	8,2536E+11	829,12	339,17	103,0	0,0	261,60
3127621,295	42087404,3	0	0	0,00	0,00	0,0	0,0	214,10
538,0205326	1974,721798	0	0	0,00	0,00	0,0	0,0	3,706
5260,831943	19287,91747	0	0	0,00	0,00	0,0	0,0	8,25
23,20	44,44	6,62004E+13	8,2536E+11	106,68	43,64	13,3	0,0	0,5272
72,53	138,88	0	0	0,00	0,00	0,0	0,0	

Nu exista posibilitatea unor rezonante cu masina, fundatie supraacordata in jurul axei  
 Fundatie subacordata Posibila rezonanta tranzitorie la pornire / oprire masina" in lungul axei  
 Fundatia se gaseste in rezonanta profunda cu masina, o - x  
 Fundatia se gaseste in rezonanta cu masina, o - y  
 pe pulsatii minime o - z  
 pe pulsatii maxime rotatie  
 Nu exista solicitare dinamica a fundatiei pe aceasta (aceste) directie translatie

### Efect al umpluturilor laterale asupra fundatiei de masina in exploatare

coef.de amortizare vibratii de rasucire in jurul axei o - x	<b>O<sub>fx</sub></b> =	27,26482509	52,20059441
		0,49784224	0,49784224
		1,090516771	1,090516771
		25,00174762	47,8677594
	<b>R<sub>x</sub></b>	0,820709387	0,820709387
	<b>O<sub>fy</sub></b> =	27,03192761	51,75469436
		0,501669565	0,501669565
		1,091212648	1,091212648
		24,77237379	47,42860564
	<b>R<sub>y</sub></b>	0,820571999	0,820571999

### forte si momente dinamice pentru rototranslatii

	rotatie in jurul axului o - x translatie in lung.ax.o - y		rotatie in jurul axului o - y translatie in lung.ax.o - x	
	forte [o - y]	mom. [o - x]	forte [o - x]	mom. [o - y]
nx			103,00	
ny				
nz				
nfx				
nfy			13,25	
nfz				

### pulsatii proprii de rototranslatie

	rotatie in jurul axului o - x translatie in lung.ax.o - y		rotatie in jurul axului o - y translatie in lung.ax.o - x	
	in lung [o - y]	in jur. [o - x]	in lung [o - x]	in jur [o - y]
nx			50,24	
ny				
nz				
nfx				
nfy			50,24	50,24
nfz				



PROGRAM PENTRU MODELAREA TALPILOR FUNDATIILOR IZCLATE  
PRIN CALCULUL TERENULUI DE FUNDARE IN BAZA PRESIUNILOR  
CONVENTIONALEI

Programul PRES M rezolvă o problema curentă de proiectare, modelarea suprafeței talpilor fundațiilor izolate prin calculul terenului de fundare pe baza presiunilor convenționale conform prescripției STAS 3300/2-85 și normativului P 10-86. Acest calcul este recomandat și prin STAS 7206-78 "Fundații de mașini", la verificarea presiunilor maxime sub talpa fundației masive (pe teren sau suport).

Intocmit pentru a fi utilizat cu calculatorul personal cu ajutorul unui limbaj foarte răspândit (Q-BASIC, TURBOBASIC), programul a fost testat pe calculatoare personale PRAE M cu bune rezultate în proiectarea curentă a fundațiilor cu solicitări statice precum și la verificarea presiunilor pe suport/teren la fundații masive de mașini. Programul este dotat cu subrutine de grafică care permit vizualizarea spațială a diagramelor de presiuni pe teren/suport: (calculate conform ipotezei Navier din rezistența materialelor), accesul imediat în subrutinele de modelare ale elementelor de geometrie ale talpii de fundație, reluarea calculelor pentru ipoteza/combinatia de solicitare aflată în rulare, fiind realizat într-un sistem conversational deosebit de facil.

Dupa lansare și afisarea sistemului acceptat pentru unitati de

efectelor acestor solicitări convenționale 1:

- a) - nivelul introducere solicitărilor pe fundație (nivel superior cunoscut sau nivel  $t$  la fundație).
- b) - tipul de tulpină care cuspinelului pe fundație (centric sau excentric).
- c) - elemente geometrice ale fundației (înălțimea predimensionării), (înălțimea fundației, dimensiunile la tulpinilor tulpinii, excentricitățile cuspinelului față de centrul de simetrie și suprafeței tulpinii fundației).
- d) - creșterile proprii (de caboul) pentru cuspinel ( $t_0$ ) și pentru tulpina fundației ( $t_0/t_p$ ), cuspinel te pentru grupările de solicitări maxime și minime.
- e) - valoarea presiunii convenționale la cota de fundare a tulpinii, calculată conform STAS 3300/2-85.
- f) - declararea numărului și tipului de ipoteze (combinații) care urmează a fi evaluate, 99 pentru un calculator de 48 Kbit capacitate memorie sau 30 pentru 16 Kbit capacitate.

După afișarea suprafeței de fundare realizate, a datelor introduse și valorilor maxime acceptate conform STAS pentru presiunile medii, pe linie și pe colț calculate pentru grupările fundamentale și specială, dialogul continuă solicitându-se solicitările pentru numărul de ipoteze (combinații) declarat, după cum urmează:

- forțe axiale, forțe torsiune și momente încovoietoare corespunzătoare celor două axe de simetrie ale fundației.
- caracterul ipotezei (combinații), maxime sau minime.
- gruparea din care face parte ipoteza (combinația), fundamentală sau specială.

Se reiau solicitările introduse la centrul de simetrie al suprafeței tulpinii și se afișează valorile calculate. În situația existenței unor erori există posibilitatea corectării datelor introduse și reluării calculului.

Blocul de calcul, realizează calculul presiunilor maxime pe colțuri și medii pe latură în situația unei secțiuni ideale (ipoteza Navier din rezistența materialelor). În situația când în secțiunea de calcul (talpa fundației) apar eforturi de întindere (care nu pot fi preluate de terenul de fundare), se intră automat în subrutina de calcul a presiunilor maxime pe colț sau pe linie și se afișează rezultatele respective conform

prescripțiilor normativului P 10-86, cu ajutorul coeficientului de majorare a presiunilor medii pe talpa fundației. Asigurarea zonei active minime de 30% pentru gruparea fundamentală și 50% pentru gruparea specială se face prin limitarea valorii coeficientului, conform precisărilor normativului. Condiția realizării zonei active este limitativă, nerealizarea ei conducând automat la intrarea în subrutina de modelare a suprafeței tălpilor fundației (la noi dimensiuni pentru cele două laturi, stabilite de utilizator), calculul reluându-se de la nivelul calculului suprafeței tălpilor fundației și reducerea solicitărilor la centrul de simetrie a tălpilor fundației.

Pentru afișarea rezultatelor ipotezei (combinației) rulate, utilizatorul are la dispoziție (opțional).

- afișare tabelară

- afișare grafică, prin vizualizarea diagramei spațiale de eforturi într-o secțiune ideală asimilată tălpilor fundației (ipoteza Navier) și afișarea valorilor maxime calculate pentru presiunile din teren conform normativului P 10-86 și indicarea punctului sub care apar.

Ambele moduri de afișare a rezultatelor cuprind.

- subrutină de sesizare a situației când valorile maxime ale presiunilor realizate (medii, pe latură sau pe colț) în teren depășesc valorile acceptate prin STAS. Acestei subrutine nu i-a fost fixat un caracter limitativ (ca celelalte utilizate în determinarea zonelor active ale suprafeței fundației), în scopul extinderii utilizării programului și pentru calculul terenului de fundare la stări limită - alt procedeu din STAS 3300.

- subrutină de acceptare a rezultatelor obținute, permițând accesul direct în subrutina de modelare a tălpilor fundației, ieșire din program sau trecere la ipoteza (combinația) următoare, după caz funcție de rezultatele obținute.

După caz, în situația epuizării numărului declarat de ipoteze (combinații) sau a ieșirii din program utilizatorul are la dispoziție posibilitatea vederii tuturor rezultatelor ipotezelor (combinațiilor) rulate pe displayul unității de calcul sau a listării acestora (când la unitatea de calcul se găsește cuplată o imprimantă de tip SCMP), opțional, funcție de dotarea tehnică de care dispune.

Fig. 1 prezintă schema logică a programului PRES K.

## SCHEMA BLOC PROGRAM ,PRES ii'

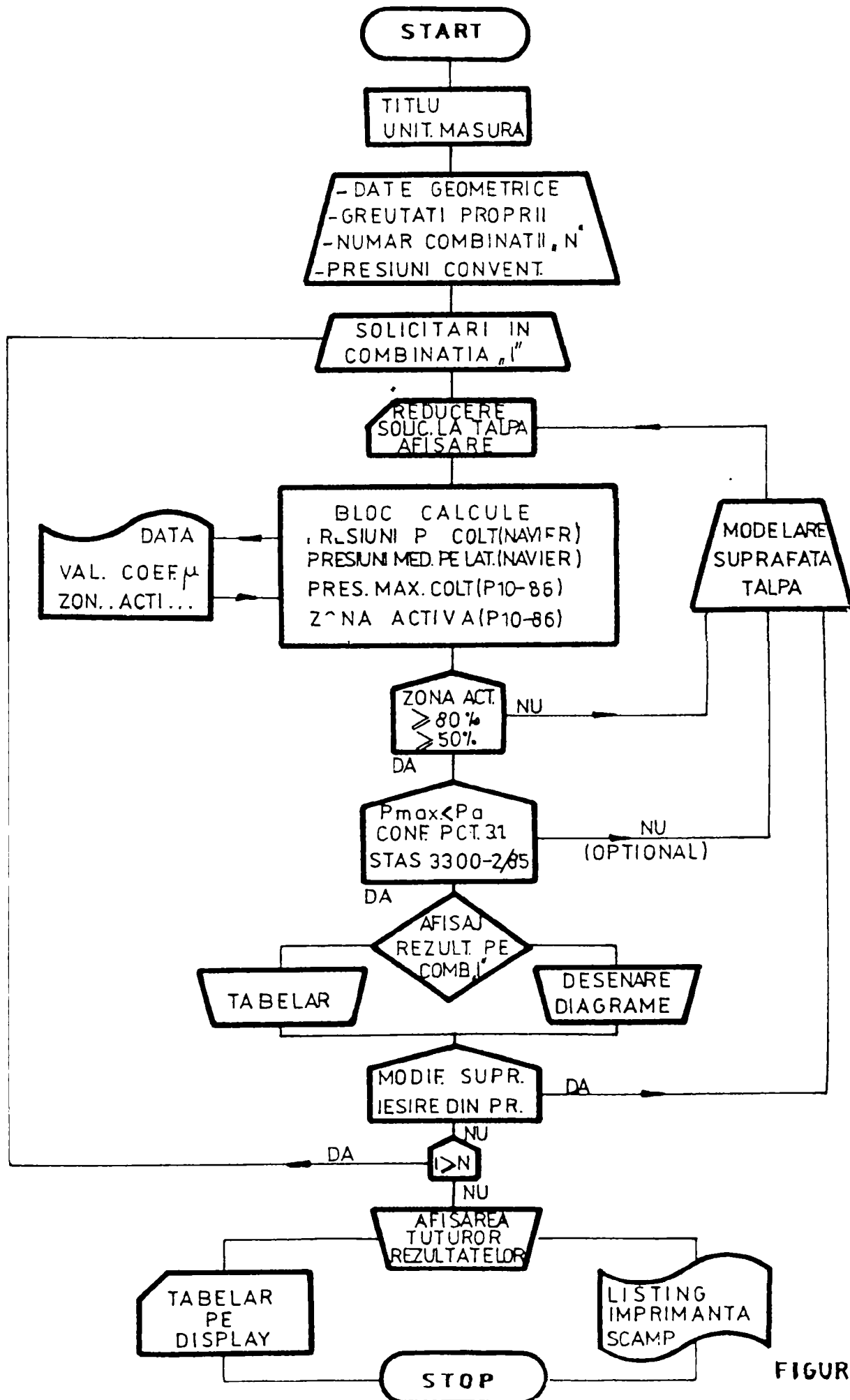


FIGURA 1

LUCRARE : TEST PROGRAM  
 TIP FUNDATIE : EXEMPLU  
 UNITATI DE MASURA UTILIZATE  
 DISTANTE: METRI FORTE AXIALE: TONE MOMENTE: TONE METRI PRESIUNI: TONE PE METRU PATRAI  
 DATE INITIALE INTRODUSE :  
 GREUTATE CUZINET (MAXIM/MINIM) 100.00 / 50.00 TO  
 GREUTATE TALPA (MAXIM/MINIM) 10.00 / 5.00 TO/MP  
 IMALTIME FUNDATIE HF=2.00 M.  
 PRESIUNE CONVENTIONALA STAS 3300/2 PC= 250 KPA = 25.00 TO/MP  
 PRESIUNI MAXIME  
 GRUPARE FUNDAMENTALA : MEDIE 25.00 PE LINIE 30.00 PE COLT 35.00 (TO/MP)  
 GRUPARE SPECIALA : MEDIE 30.00 PE LINIE 35.00 PE COLT 40.00 (TO/MP)

REZULTATE: PRESIUNILE MAXIME PE COLT SI MEDII PE LATURA DUPEA IPOTEZA 'NAVIER'; PRESIUNEA MAXIMA PE COLT DUPEA NORMATIVUL P10-06

J	A	B	S	N	MX	MY	P 1	P 2	P 3	P 4	P12	P23	P34	P41	EX/A	EY/B	MIU	P	MAX	COLT
1	5.00	4.00	20.00	420.00	96.00	96.00	34.0	19.6	8.0	22.4	26.8	13.8	15.2	28.2	0.00	0.00	0.00	0.00	33.96	1
2	5.00	4.00	20.00	270.00	96.00	96.00	14.9	0.5	12.1	26.5	7.7	6.3	19.3	20.7	0.00	0.00	0.00	0.00	26.46	4
3	5.00	4.00	20.00	270.00	96.00	-96.00	12.1	26.5	14.9	0.5	19.3	20.7	7.7	6.3	0.00	0.00	0.00	0.00	26.46	2
4	4.00	3.00	12.00	230.00	-96.00	-96.00	-8.8	23.2	47.2	15.2	7.2	35.2	31.2	3.2	0.10	0.13	2.41	2.41	46.19	3
5	3.80	2.80	10.64	326.40	96.00	-96.00	25.6	64.3	35.8	-2.9	44.9	50.0	16.4	11.3	0.07	0.10	2.02	2.02	61.97	2
6	3.80	3.20	12.16	230.80	96.00	-96.00	16.6	46.2	21.3	-8.3	31.4	33.8	6.5	4.2	0.10	0.12	2.34	2.34	44.41	2
7	3.80	3.20	12.16	230.80	96.00	-96.00	16.6	46.2	21.3	-8.3	31.4	33.8	6.5	4.2	0.10	0.12	2.34	2.34	44.41	2
8	3.80	3.20	12.16	230.80	-96.00	96.00	21.3	-8.3	16.6	46.2	6.5	4.2	31.4	33.8	0.10	0.12	2.34	2.34	44.41	4
9	3.60	3.40	12.24	342.40	-96.00	-96.00	1.1	28.7	54.9	27.2	14.9	41.8	41.0	14.1	0.10	0.12	0.00	0.00	54.89	3
10	3.50	3.20	11.20	332.00	96.00	96.00	60.4	28.3	-1.1	31.0	44.3	13.6	14.9	45.7	0.08	0.09	2.02	2.02	59.88	1

PROGRAM PRES M DATA KULARE: 15.03.88 TIP FUNDATIE: EXEMPLU SFIRSIT KULARE

TABEL 1

Tab. 1 cuprinde listinrul realizat la rularea unui exemplu test cu programul PMS ...

Programul PMS II se află în exploatare curentă în activitatea de proiectare din ISPE Timișoara împreună cu alte programe întocmite pentru specialitatea construcții - rezistență (pentru calcule statice, dimensionări elemente de beton armat și metal, calcule de stabilitate, etc.) sau de tehnologie (specialitate electric, etc.), utilizând calculatoare personale de tip PMS II capacitate de memorie 48 K RAM. rezultatele obținute în exploatarea programelor sau dovedit bune, nivelul de precizie pentru calcule fiind satisfăcător.

Determinantă în rapida integrare în activitatea de proiectare a calculatoarelor personale a fost pe lângă facilitățile deosebite oferite de limbajul utilizat (variantă a limbajului BASIC), „faptul că pentru exploatarea programelor și utilizarea calculatoarelor, utilizatorii nu au nevoie de o pregătire deosebită în domeniul informaticii.