

INSTITUTUL POLITEHNIC „TRAIAN VUIA” TIMIȘOARA
FACULTATEA DE CONSTRUCȚII

ING. VIRGIL HAIDA

CONTRIBUȚII LA STUDIUL COMPORTĂRII
PĂMÎNTURILOR SOLICITATE DINAMIC ȘI
FOLOSIRII TEHNICII VIBRĂRII ÎN GEO-
TEHNICĂ-VIBROFORAJE

TEZĂ DE DOCTORAT

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA „POLITEHNICA”
TIMIȘOARA

UNIVERSITATEA POLITEHNICA TIMIȘOARA BIBLIOTECA CENTRALĂ	
LOCATIE:	TA
SCURTĂ:	CON / HAI
NR. INV.:	676.326

CONDUCATOR ȘTIINȚIFIC
Prof. dr. ing. MARIN PĂUNESCU

TIMIȘOARA 1979

P R E F A T A

Potrivit sarcinilor stabilite de Congresul al XI-lea și prevederilor din Programul partidului, întreaga activitate de cercetare științifică și inginerie tehnologică se subordonează obiectivului fundamental al politicii Partidului Comunist Român - continuarea fermă a operei de făurire a societății socialiste multilateral dezvoltate și înaintare a României spre comunism.

În acest context activitatea de cercetare științifică nu trebuie să reprezinte un scop în sine ci un mijloc de accelerare a progresului social și economic, de întrepătrundere a științei cu activitatea practică de producție, ea fiind chemată să dea răspuns atât problemelor teoretice fundamentale, cât și celor legate direct de activitatea productivă. Pentru ramura construcțiilor aceasta înseamnă realizarea investițiilor la cel mai înalt grad de eficiență tehnică și economică, pe seama perfecționării metodelor de proiectare și de realizare a lucrărilor de construcții. De aceea, una din direcțiile prioritare de dezvoltare a cercetării științifice în construcții, e constituie perfecționarea tehnologiilor de execuție, respectiv creerea altora noi, inclusiv a utilajelor și instalațiilor necesare aplicării acestor tehnologii la realizarea diferitelor lucrări de construcții.

Înscriindu-se prin tematica abordată, pe linia creerii și perfecționării unor tehnologii de execuție a lucrărilor geotehnice și de fundații, lucrarea de față contribuie la perfecționarea și aplicarea în practică, pentru prima dată în țara noastră, a două tehnologii noi, bazate pe tehnica vibrării: tehnologia de execuție a forajelor prin metoda vibroforării și tehnologia de compactare a terenurilor de fundare slabe prin metoda vibroînțepării. Totodată prin cercetarea studiilor și cercetărilor efectuate asupra acestor tehnologii, cu unele probleme generale de dinamica pământurilor, autorul aduce și unele contribuții la studiul comportării pământurilor sollicitate dinamic.

Pe tot parcursul efectuării studiilor, cercetărilor experimentale și a elaborării tezei de doctorat, autorul s-a bucurat de sprijinul și îndrumarea competentă a tov.prof.dr.ing. Marin Păunescu, conducător științific al lucrării, motiv pentru care îi exprimă cele mai sincere mulțumiri și întreaga recunoștință. De asemenea, autorul mulțumește tuturor colegilor din cadrul catedrei de Drumuri și fundații - cadre didactice și personal tehnic - pentru ajutorul acordat în desfășurarea activității de cercetare și de elaborare a tezei de doctorat.

CAPITOLUL I

CONSIDERATII PRIVIND COMPORTAREA PAMINTURILOR LA ACTIUNI DINAMICE

1.1. Generalități

La folosirea pământurilor ca teren de fundare sau ca material de construcție, caracteristicile geotehnice ale acestora prezintă mare importanță, deoarece ele condiționează în ultimă instanță capacitatea pământurilor de a prelua diversele acțiuni exterioare, în condiții de siguranță și de stabilitate asigurate.

Studiul caracteristicilor geotehnice, respectiv a proprietăților fizice și mecanice ale pământurilor, în condiții de încărcare statică și mai ales dinamică, constituie o problemă destul de complexă, datorită faptului că acestea depind de foarte mulți factori (compoziția pământului, starea structurală și fizică, condițiile de formare respectiv de depunere naturală, caracterul și parametrii încărcării etc.). După cum se cunoaște, în compoziția pământului sînt prezente toate cele trei faze (solidă, lichidă și gazoasă), acesta fiind un mediu dispers alcătuit din diverse minerale. În depunerea lor naturală, pământurile se prezintă ca niște medii complexe disperse, alcătuite din fragmente nelegate sau cu legături relativ slabe între ele, de diferite mărimi și forme geometrice, cu spații între ele (pori), umplute parțial sau total cu apă sau aer.

Progresele înregistrate de geotehnică și mecanica pământurilor în decursul timpului, au condus la perfecționarea continuă a metodelor de determinare cantitativă și calitativă a caracteristicilor geotehnice ale pământurilor, mai ales în condiții de încărcare statică a acestora.

Asupra pământului, considerat ca teren de fundare sau ca material de construcție, de multe ori pot acționa și încărcări de natură dinamică (vibrații, șocuri seismice, trepidații din circulație, explozii etc.), care modifică uneori radical proprietățile de rezistență și caracteristicile geotehnice ale pământurilor. Această modificare a caracteristicilor geotehnice, poate conduce la o schimbare esențială a condițiilor de rezistență și de stabilitate a maselor de pământ, fapt care de cele mai multe ori are

efecte negative asupra stabilității și exploatării normale a construcțiilor. În literatura de specialitate se citează multe exemple de alunecări de terenuri produse în urma unor cutremure, sau datorate unor alte surse de trepidății și vibrații, care au antrenat deplasarea de mase enorme de pământ producând distrugerea a numeroase construcții. De asemenea este cunoscut faptul că sub efectul acțiunilor dinamice asupra terenului de fundare, au loc tasări suplimentare, de cele mai multe ori diferențiate, care pot modifica esențial starea de eforturi din structura de rezistență a construcțiilor, conducând în unele situații până la pierderea stabilității generale și scoaterea din exploatare a acestora.

Influența solicitărilor dinamice asupra reducerii gradului de stabilitate a masivelor de pământ, rezultă destul de clar din simpla analiză a expresiilor coeficienților de siguranță a stabilității unui taluz (fig.1.1).

Masa m situată pe suprafața taluzului A-B, în condiții de stabilitate statică poate fi supusă la o mișcare de alunecare sub influența forței active T_s de valoare:

$$T_s = mg \sin \beta,$$

unde: g - accelerația gravitațională.

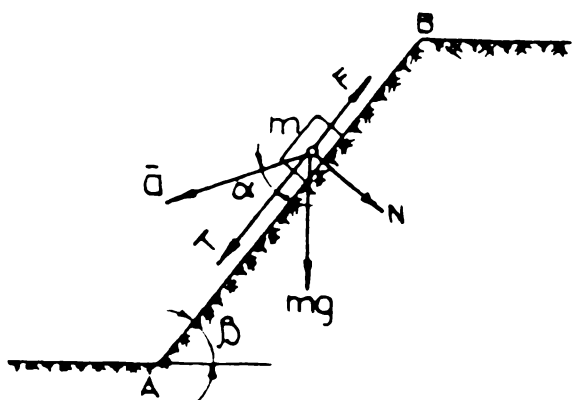


Fig.1.1. Schemă de calcul

Pentru o valoare ϕ a unghiului de frecare interioară, respectiv c , a coeziunii specifice a pământului (determinate în condiții statice), forța pasivă opusă tendinței de alunecare este:

$$F_s = mg \cos \beta \operatorname{tg} \phi + c \cdot S$$

unde: S - suprafața de contact a masei de pământ m , cu suprafața taluzului A-B.

Coeficientul de siguranță a stabilității în condiții statice are valoarea:

$$K_s = \frac{F_s}{T_s} = \frac{mg \cos \beta \operatorname{tg} \phi + c \cdot S}{mg \sin \beta} = \frac{\operatorname{tg} \phi}{\operatorname{tg} \beta} + \frac{c \cdot S}{mg \sin \beta} \quad (1.1)$$

În condiții de solicitare dinamică, când mase de pământ m este supusă și unei acțiuni dinamice de accelerație \bar{a} , forța activă care poate provoca alunecarea, va fi:

$$T_s = mg \sin \beta + m \bar{a} \cos \alpha$$

unde: α - unghiul de înclinare a acțiunii dinamice față de linia taluzului A-B.

Forța pasivă în acest caz va fi:

$$F_d = (mg \cos \beta - m \bar{a} \sin \alpha) \operatorname{tg} \phi + c.S$$

Coeficientul de siguranță a stabilității în condiții dinamice are valoarea:

$$K_d = \frac{F_d}{T_d} = \frac{(mg \cos \beta - m \bar{a} \sin \alpha) \operatorname{tg} \phi + c.S}{mg \sin \beta + m \bar{a} \cos \alpha}$$

Introducând notația: $\eta = \frac{\bar{a}}{g}$, expresia de mai sus se poate scrie sub forma:

$$K_d = \frac{(\cos \beta - \eta \sin \alpha) \operatorname{tg} \phi + \frac{cS}{mg}}{\sin \beta + \eta \cos \alpha} \quad (1.2)$$

Comparând expresiile celor doi coeficienți (K_s și K_d), se observă că valoarea coeficientului de siguranță a stabilității în condiții dinamice, este mai mică decât a celui corespunzător condițiilor statice. De asemenea se constată că valoarea coeficientului K_d depinde și de mărimea unghiului α , deoarece forțele T_d și F_d depind de acest unghi ($T_d = T_d \max$, pentru $\alpha = 0$, iar $F_d = F_d \max$, pentru $\alpha = 90^\circ$).

G.I. Prokovski [94] arată că de multe ori valoarea coeficientului de siguranță K_d , calculată cu relația (1.2), rezultă mai mare decât o valoare admisă pentru proiectare, dar cu toate acestea masivul de pământ își poate pierde stabilitatea. Această neconcordanță se poate datora în primul rând faptului că la calculul coeficientului (K_d) valorile parametrilor rezistenței la forfecare ϕ și c , sînt considerate constante, ori în realitate acestea suferă modificări în timpul acțiunii dinamice. Aceste modificări aproape întotdeauna contribuie la micșorarea valorii reale a coeficientului de siguranță a stabilității în condiții dinamice, influența lor fiind mai mare sau mai mică, în funcție de natura pământului, respectiv de parametrii și durata acțiunii dinamice.

Necesitatea perfecționării continue a metodelor de calcul și de proiectare a fundațiilor de mașini, a construcțiilor situate în zone seismice, a unor construcții hidrotehnice supuse la sarcini dinamice în stadiul de exploatare, precum și executarea unor lucrări de excavații prin tehnica exploziilor, a constituit punctul de pornire a studiilor și cercetărilor privind modul de comportare a

pământurilor supuse la acțiuni dinamice, atât ca teren de fundare, cât și ca material de construcție. Aceste studii și cercetări [2], [13], [14] [44], [51], [54], [64], [108], [125], etc., s-au concretizat în conturarea și dezvoltarea în ultimile patru decenii, a unui nou domeniu al mecanicii pământurilor, de sine stătător, - dinamica pământurilor.

Se poate considera, după cum se arată și în [1], că începutul dezvoltării dinamicii pământurilor, îl constituie studiile teoretice, ulterior completate cu cercetări experimentale, asupra fundațiilor de mașini, respectiv a determinării unor caracteristici ale terenului de fundare și ale parametrilor de care depind acestea, în cazul solicitării dinamice transmise de fundații.

Perfecționarea continuă a modelelor dinamice de calcul ale terenului de fundare, începând cu "modelul Pavliuk-Rausch" și continuând cu altele (Filonenko-Borodici, Voight, Maxwell, Pointning-Tomson, Reissner-Sehter, Rahmatulin etc) [31], au permis stabilirea a o serie de teorii și metode folosite astăzi în practica proiectării și dimensionării fundațiilor de mașini. În totalitate aceste teorii și metode se bazează pe stabilirea și introducerea în calcule, a unor parametri și caracteristici referitoare la comportarea terenului de fundare solicitat dinamic (caracteristici de rezistență, de deformabilitate, disipative, amortizoare etc.).

În dezvoltarea problemelor generale de dinamica pământurilor un rol însemnat l-au avut studiile și cercetările referitoare la dinamica construcțiilor hidrotehnice [140]. Față de fundațiile de mașini, la construcțiile hidrotehnice soluționarea aspectelor dinamice, prezintă un grad de dificultate mai mare, datorită complexității pe care o au sarcinile dinamice în acest caz. După cum se știe asupra unor construcții hidrotehnice (în special cele hidroenergetice), în afară de forțele dinamice provenite de la unele mașini, acționează și presiunea pulsatorie a apei, respectiv forțele de inerție generate de mișcarea continuă a acesteia.

Una din problemele principale care a stat în fața dinamicii pământurilor, constă în studiul deformațiilor elastice și plastice ale terenurilor de fundare supuse la acțiuni dinamice. Această problemă are importanță practică deosebită atât pentru determinarea deformațiilor la fundații de mașini și la explozii în pământ, cât și pentru prelucrarea teoriei compactării pământurilor, respectiv a înfigerii în teren a diverselor elemente (piloți, tuburi, palplanse), prin șocuri sau vibrații.

Rezolvarea teoretică a acestei probleme obținută prin modelarea pământului ca un mediu de "tip winklerian" elastico-linar și viscos-plastic [3], [4], a condus la unele concluzii importante, cum ar fi dependența vitezei de deformare de proprietățile mecanice ale pământului și de presiunea statică exercitată. Totuși, considerarea modelului de "tip winklerian" nu poate asigura rezolvarea unor probleme referitoare la modul de răspândire în adâncime a deformațiilor plastice dinamice, variația lor funcție de intensitatea și cantitatea șocurilor dinamice.

Intregirea acestei rezolvări a fost posibilă pe calea folosirii teoriei undelor elastico-plastice, dezvoltată și prezentată de H.A.Rahmatulin și discipolii săi în mai multe lucrări [95], [120].

Deși în studiul acțiunii exploziilor asupra pământului, problema alegerii unui model reologic adecvat este mai dificilă din cauza valorii mari a presiunii dinamice și a vitezei de deformare, totuși, prin studiile și cercetările întreprinse s-au obținut unele rezolvări teoretice și concluzii practice importante. Astfel a fost stabilită o diferențiere esențială în comportarea la acțiunea exploziilor a pământurilor saturate și nesaturate. În cazul pământurilor nesaturate de regulă predomină deformațiile plastice, cele elastice fiind mici, iar în cazul pământurilor saturate se produc cu preponderență deformații elastice chiar și la presiuni dinamice mari. Aceste concluzii au permis în parte considerarea pământurilor nesaturate ca niște medii, care la încărcare își modifică compactitatea după o lege cunoscută, iar la descărcare își păstrează compactitatea obținută prin încărcare. Modelului caracterizat prin aceste ipoteze i s-a dat în literatura de specialitate denumirea de "gaz plastic" [48].

Alături de aspectele prezentate în mod succint mai sus, care se pot considera ca puncte nodale în evoluția și dezvoltarea dinamică a pământurilor, o mare parte din studiile teoretice și în special din cercetările experimentale efectuate, au vizat determinarea cantitativă și calitativă a influenței acțiunilor dinamice asupra modificării caracteristicilor fizice și mecanice ale diferitelor tipuri de pământuri. În această direcție se pot menționa cercetările și rezultatele obținute, privind influența acțiunilor dinamice în general și a vibrațiilor în particular, asupra coeficientului de frecare interioară și exterioară a pământurilor,

asupra rezistenței la forfecare a nisipurilor și a pământurilor argiloase, asupra fenomenului de lichefiere a nisipurilor saturate, etc.

x x x

În perioada de început a dezvoltării dinamicii pământurilor, cercetările teoretice și experimentale au fost canalizate în general numai într-o singură direcție, respectiv aceea de a stabili și de a perfecționa continuu metodele de proiectare și de execuție, prin care stabilitatea masivelor de pământ, respectiv a construcțiilor fondate pe acestea, să fie asigurată și la acțiuni dinamice, generate fie de surse mecanice (mașini), fie de fenomene fizico-geologice naturale (mișcări seismice) sau artificiale (explozii).

Realizarea acestui deziderat s-a făcut și se face în practica inginerescă, după cum se știe pe două căi: prima care constă în adoptarea unor măsuri prin care efectul acțiunii dinamice să se reducă, iar a doua prin dimensionarea și alegerea unei astfel de soluții constructive pentru construcție, încât aceasta să poată prelua solicitarea dinamică în condiții de stabilitate și de funcționare normală, asigurate. Este evident că pentru ambele căi, certitudinea realizării dezideratului propus este condiționată în mare măsură, de modul în care sînt cunoscute și stăpînite proprietățile dinamice ale terenului de fundare, respectiv modificările pe care le suferă acesta sub influența încărcărilor dinamice.

Pe măsura dezvoltării dinamicii pământurilor, cercetările și studiile s-au diversificat din ce în ce mai mult, lucru favorizat pe de o parte de însăși rezultatele obținute și condiționat pe de altă parte, de necesitățile practicii ingineresti de construcții.

Astfel în ultimii 20-25 de ani în cadrul dinamicii pământurilor s-a profilat o nouă direcție de cercetare și de aplicare în practică, aceea a folosirii tehnicii vibrării la executarea diverselor lucrări de fundații și de geotehnică.

Cercetările privind folosirea vibrațiilor la executarea unor lucrări de fundații și de geotehnică în general și la înfigerea piloților în special, au fost amorsate pentru prima dată de către inginerii și cercetătorii sovietici [5].

Prin cercetările efectuate ulterior și de alți cercetători din diverse țări, printre care și din țara noastră [65], s-a dovedit că folosirea tehnicii vibrării este eficientă pentru rezolvarea

multor probleme de geotehnică și fundații, dintre care se pot menționa: foraje executate prin vibroforare pentru diverse scopuri (prospecțiuni geotehnice și hidrologice, drenuri orizontale, ancore pretensionate, subtraversări de terasamente etc), piloți turnați pe loc realizați prin vibropresare, compactări de adâncime cu coloane de nisip și de balast realizate prin vibropresare, compactări de adâncime prin vibroînțepare, compactări de suprafață, etc.

Având în vedere eficiența și avantajele pe care tehnica vibrării le are în realizarea lucrărilor geotehnice și de fundații, în cadrul catedrei de Drumuri și fundații a Facultății de Construcții din Timișoara, în ultimii 10-15 ani, au fost întreprinse o serie de cercetări teoretice și experimentale în această direcție. În cadrul acestor cercetări pe lângă elucidarea unor fenomene și aspecte de dinamică a pământurilor, s-a urmărit atât stabilirea și perfecționarea de noi tehnologii de lucru bazate pe tehnica vibrării, cât și creerea unor utilaje și instalații, prin care aceste tehnologii să poată fi experimentate și aplicate în practică.

Una dintre aceste tehnologii la care autorul și-a adus modestele sale contribuții și pe care se axează în mare parte prezenta lucrare de doctorat, este cea a vibroforării pământurilor, respectiv tehnologia de execuție a forajelor prin metoda vibroforării.

1.2. Influența acțiunilor dinamice asupra unor caracteristici geotehnice ale pământurilor

1.2.1. Influența vibrațiilor asupra rezistenței la forfecare a pământurilor necoezive

Rezistența la forfecare a pământurilor nisipoase este condiționată în cea mai mare măsură de forțele de frecare care se manifestă pe suprafețele de contact ale fragmentelor componente. Coeziunea aparentă care poate să apară în anumite condiții de umiditate, mai ales la nisipurile fine, are un aport destul de redus în ceea ce privește mărimea rezistenței la forfecare, respectiv stabilitatea pământurilor nisipoase.

După cum se cunoaște, în condiții statice rezistența la forfecare a pământurilor variază liniar în funcție de valoarea presiunii normale aplicate. Această dependență este pusă în evidență de legea lui Coulomb, care pentru pământurile necoezive se exprimă prin relația:

$$\tau_s = \sigma \operatorname{tg} \phi_s = \mu_s \sigma \quad (1.3)$$

unde: $\tilde{\tau}_s$ - rezistența la forfecare statică;
 $\tilde{\sigma}$ - presiunea normală;
 ϕ_s - unghiul de frecare interioară pentru condiții de determinare statice;
 $\mu_s = \text{tg } \phi_s$ - coeficientul de frecare interioară pentru condiții de determinare statice.

Primele studii și cercetări experimentale, privind influența vibrațiilor asupra rezistenței la forfecare a pământurilor nisipoase, au fost făcute de D.D.

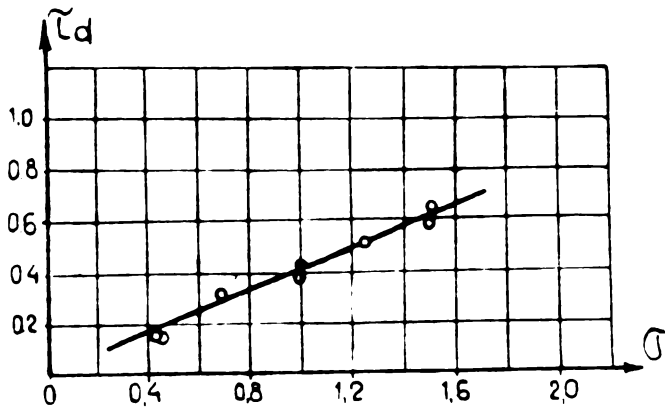


Fig.1.2. Variația rezistenței la forfecare dinamică în funcție de presiunea normală ($f=46$ Hz; $A=0,30$ mm)

Barkan și colaboratorii săi [2], [107]. În mare parte la aceste încercări solicitarea dinamică a constat din vibrații verticale, generate de vibratoare cu mase excentrice. Concluziile rezultate au arătat că la forfecarea nisipurilor în condiții dinamice, adică în prezența vibrațiilor, are loc o reducere a rezistenței la forfecare, respectiv a frecării interioare,

față de condițiile statice. Această reducere este funcție de o serie de parametri, care definesc atât natura pământului, cât și regimul dinamic la care are loc forfecarea.

De asemenea a rezultat tot ca o concluzie de principiu că și în cazul forfecării dinamice, relația de dependență dintre efortul de forfecare și presiunea normală își păstrează caracterul liniar (fig.1.2), ca și la forfecarea statică [107]. Conform acestei ultime concluzii, rezistența la forfecare dinamică a pământurilor nisipoase, se poate exprima printr-o relație de forma:

$$\tau_d = \sigma \text{tg } \phi_d + \tau_o = \mu_d \sigma + \tau_o \quad (1.4)$$

unde: τ_d - rezistența la forfecare dinamică;
 $\tilde{\sigma}$ - presiunea normală;
 ϕ_d - unghiul frecării interioare pentru condiții dinamice de determinare;
 μ_d - coeficientul frecării interioare pentru condiții dinamice de determinare;
 τ_o - rezistența inițială la forfecare, care se poate datora atât unor eventuale forțe de coeziune, cât și rezistențelor parazitare ale aparatului de încercare.

În cadrul cercetărilor care au urmat [8], [16], [17], [21], [63], [67], [129], [134], chiar dacă au apărut și unele neconcordanțe, respectiv diferențieri în modul de interpretare a unor fenomene, s-au elucidat o serie de aspecte legate de influența acțiunilor dinamice în general, și a vibrațiilor în particular, asupra rezistenței la forfecare a nisipurilor. S-au confirmat în bună parte o serie de concluzii referitoare la modul de variație a rezistenței la forfecare dinamică, în funcție de parametrii vibrațiilor.

Astfel studiindu-se modul de variație a rezistenței de forfecare dinamică, respectiv a coeficientului de frecare interioară, în funcție de amplitudinea vibrațiilor la frecvență constantă, a rezultat că acesta descrește monoton, odată cu creșterea amplitudinilor (fig.1.3).

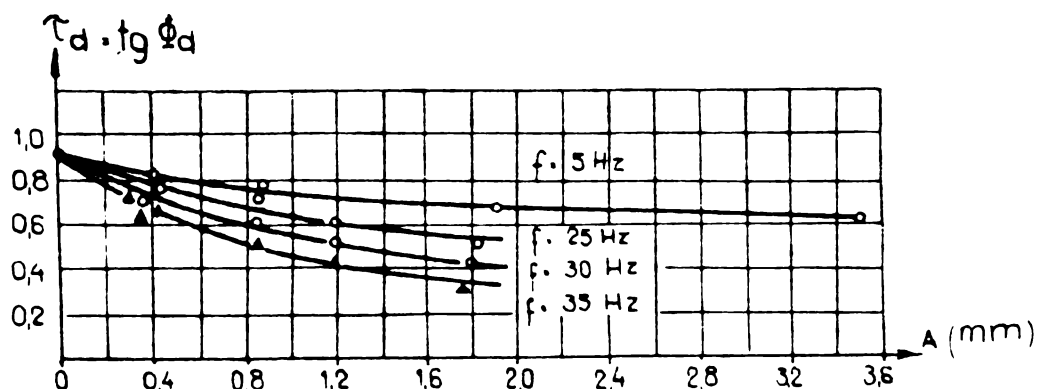


Fig.1.3. Variația coeficientului de frecare (μ_d) în funcție de amplitudinea vibrațiilor

În ceea ce privește variația coeficientului de frecare în funcție de frecvență, pentru o accelerație dată a vibrațiilor, aceasta este mai complexă, depinzând în mare măsură și de compoziția granulometrică a nisipurilor (fig.1.4).

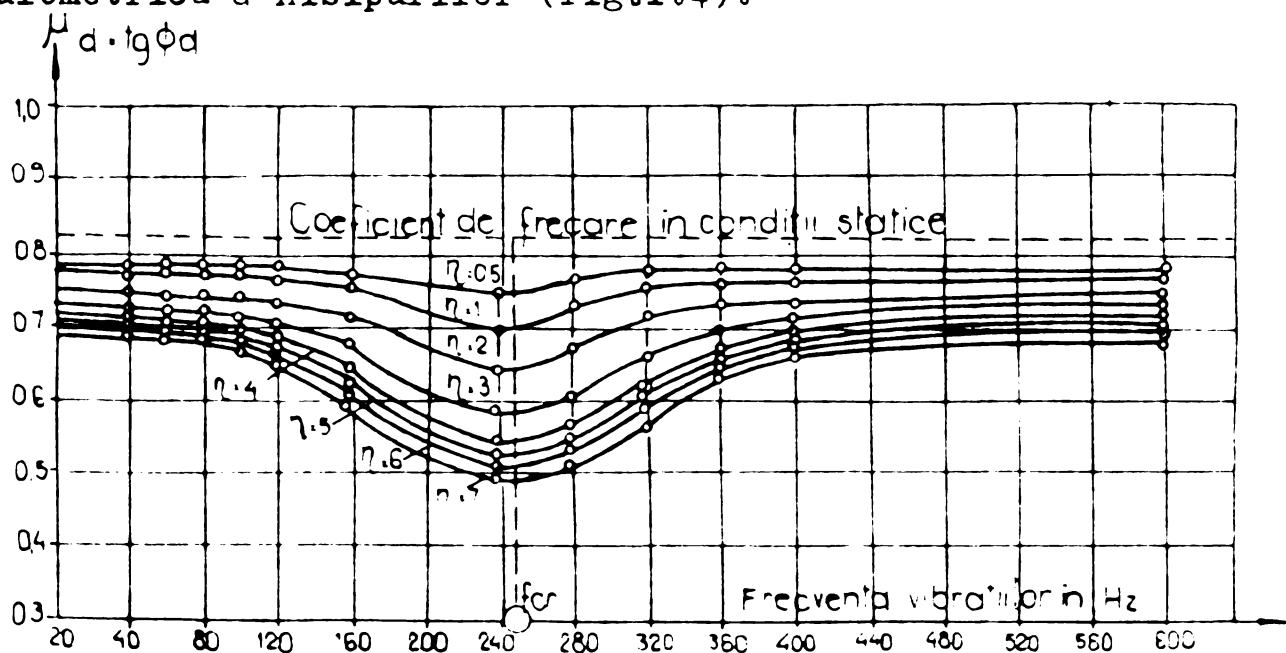
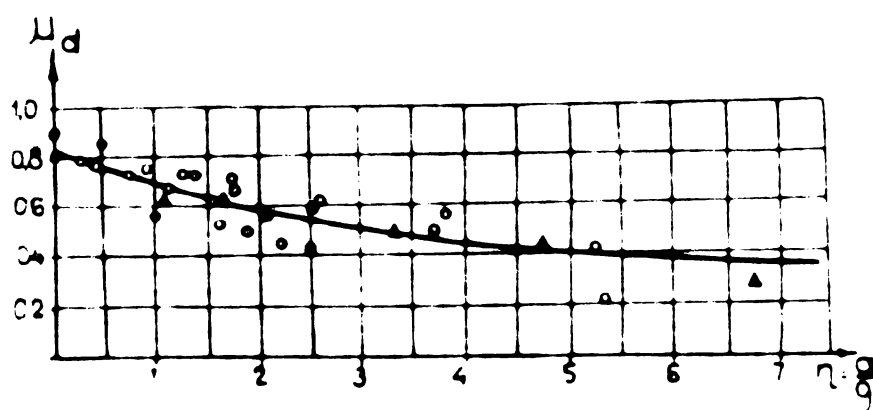


Fig.1.4. Variația coeficientului de frecare (μ_d) în funcție de frecvența vibrațiilor

După cum se poate observa din fig.1.4.(corespunzătoare unui nisip de granulație medie, $d_{med} = 0,75$ mm), pe măsura creșterii frecvenței coeficientul de frecare scade continuu atingând un minim, după care pentru frecvențe mai mari începe să crească din nou, tinzând către o valoare aproximativ constantă. Frecvența pentru care se obține valoarea minimă a coeficientului de frecare, a fost numită "frecvență critică", mărimea ei fiind diferită de la un nisip la altul, funcție de mărimea fragmentelor de nisip.

Cunoașterea "frecvenței critice" pentru anumite fracțiuni granulometrice creează posibilitatea de a stăpîni mai bine fenomenele care au loc în pămînturile necoezive în timpul acțiunilor dinamice, putîndu-le dirija mai ușor în scopurile practice urmărite. Acest lucru este de mare importanță în special la alegerea parametrilor utilajelor vibratoare folosite pentru executarea unor lucrări geotehnice și de fundații (forări, înfigeri de piloți și palplanșe, etc.).



Constatarea legată de variația coeficientului de frecare dinamic (μ_d) în funcție de accelerația vibrațiilor (fig.1.5) arată că acesta scade pe măsura creșterii accelerației vibrațiilor. Pentru valori relativ mari ale accelerației vibrațiilor ($a = 6g \div 7g$), această scădere devine

Fig.1.5. Variația coeficientului de frecare (μ_d) funcție de accelerația vibrațiilor ($\eta = \frac{a}{g}$)

foarte mică, încît se poate considera că valoarea coeficientului de frecare tinde către o limită constantă.

Cercetări în detaliu referitoare la modul de variație a rezistenței de forfecare dinamică a nisipurilor în funcție de accelerația vibrațiilor au fost efectuate și în cadrul catedrei de Drumuri și fundații a Facultății de Construcții din Timișoara, la realizarea cărora a participat direct și autorul prezentei lucrări [67].

Incercările experimentale s-au făcut cu ajutorul unei instalații proiectate și executate în catedră (fig.1.6), compusă dintr-o masă vibrantă echipată cu o casetă de forfecare cu diametrul de 20 cm și înălțime de 4 cm.

Instalația permite schimbarea atât a parametrilor vibrațiilor (amplitudine, accelerație și frecvență), cât și a direcției forței de oscilație față de orizontală, de la 0° la 90°.

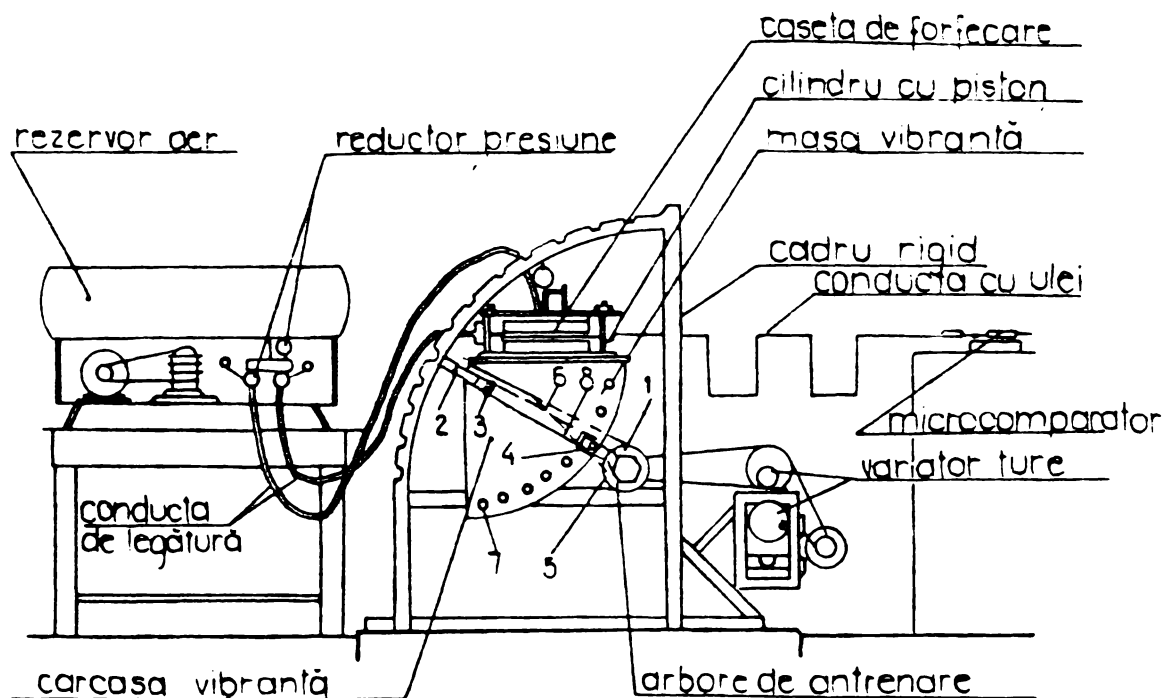


Fig.1.6. Schema instalației de forfecare dinamică

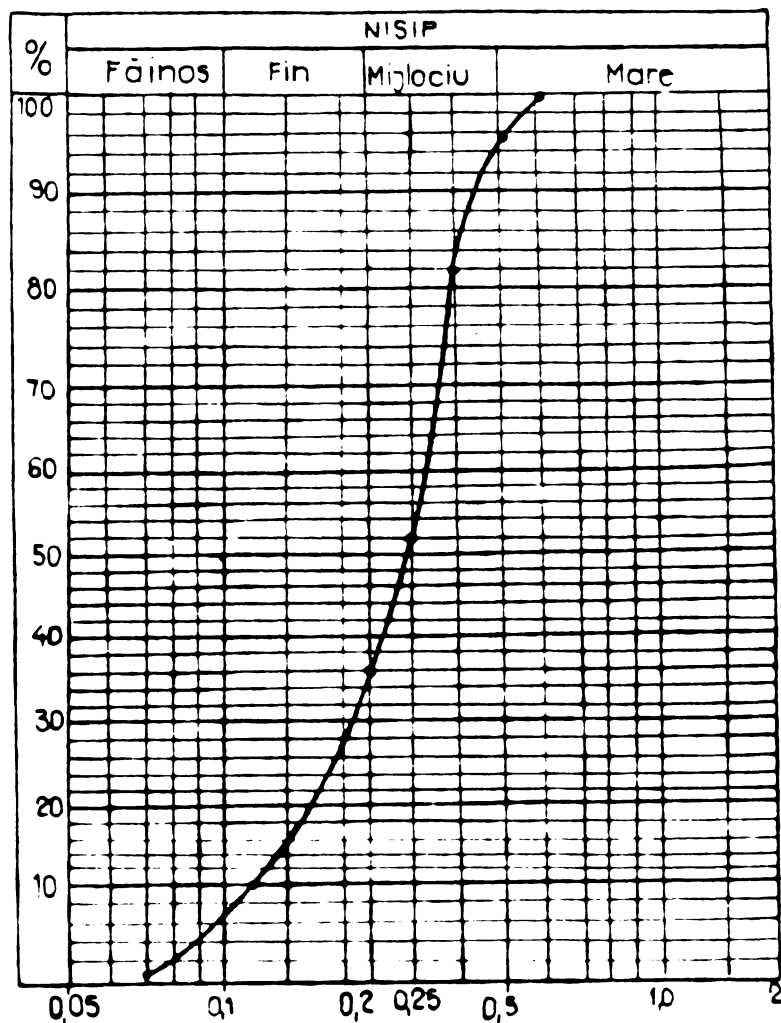


Fig.1.7. Curba granulometrică a nisipului încercat

și timpul în care se desfășoară încercarea.

Pentru cercetare s-a folosit nisip mijlociu (fig. 1.7), uniform ($U_n = 2,6$) de îndesare medie, saturat. La încercările de forfecare efectuate în prezența vibrațiilor s-a urmărit concomitent modificarea deformațiilor pe verticală a nisipului și deplasarea pe orizontală a casetei, în concordanță cu presiunea aplicată. Momentul cedării, care indică presiunea orizontală de forfecare, s-a considerat atunci când s-a constatat o creștere accentuată a deformațiilor orizontale, fără majorarea presiunii pe pistonul de acționare orizontală. În paralel s-a urmărit

Pentru a putea pune în evidență reducerea rezistenței la forfecare dinamică, s-au executat comperativ și încercări statice. În scopul de a creea aceleași condiții de îndesare și la încercările statice, probele pregătite și încărcate cu aceleași presiuni normale au fost supuse aceluiași regim de vibrații, timpul de vibra-re fiind egal cu durata încercării de forfecare dinamică aferentă. După această operație s-a făcut încercarea de forfecare statică, evident fără vibrații.

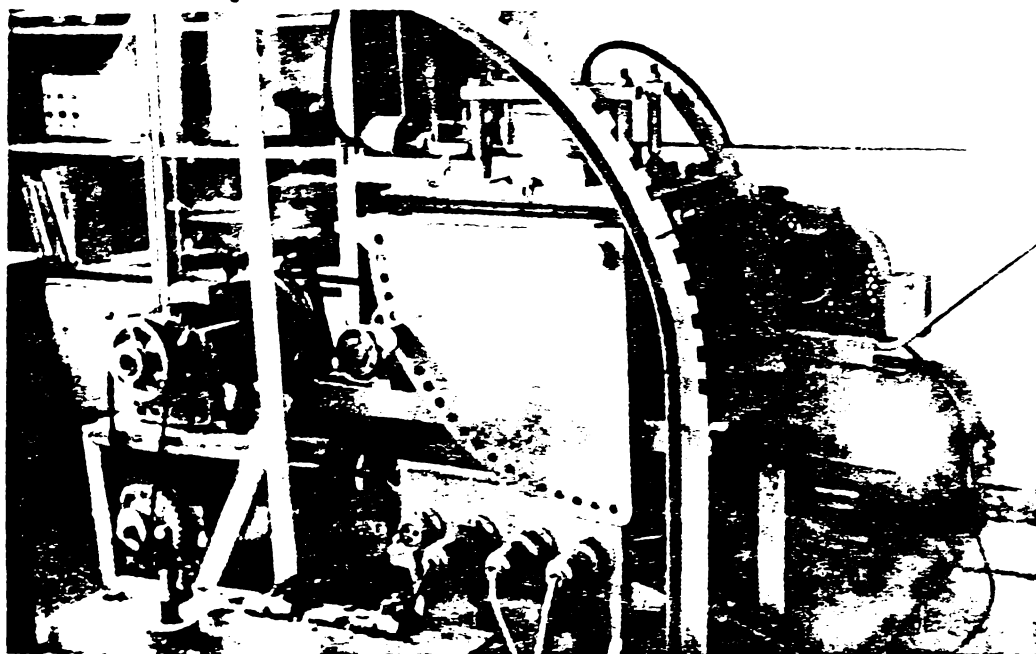


Fig.1.8. Instalația de forfecare dinamică

La o primă serie de cercetări gradul de îndesare a nisipului folosit a fost $I_D = 0,43$ și s-a urmărit variația rezistenței la forfecare dinamică pentru un domeniu de variație a raportului dintre accelerația vibrațiilor și accelerația gravitațională (η), cuprins între 0,10 și 0,40 (adică pentru accelerații ale vibrațiilor $a = 0,10 \text{ g} - 0,40 \text{ g}$). Unghiul direcției forței de oscilație cu orizontala (α), a avut valorile: 0° , 30° , 60° și 90° . Durata încercărilor de forfecare a fost cuprinsă între 25" și 30", presiunea verticală $1,5 \text{ daN/cm}^2$, iar amplitudinea vibrațiilor a fost egală cu 1 mm.

Rezultatele acestei prime serii de cercetări sînt prezentate în figurile 1.9 și 1.10.

În a doua serie de cercetări sistematice efectuate, s-a urmărit variația rezistenței la forfecare dinamică în funcție de accelerația vibrațiilor, pentru valori mai mari ale acesteia, respectiv ale raportului η (0,368; 0,584; 0,862). Unghiul forței de oscilație față de orizontală (α) s-a luat de 0° și 90° , iar amplitudinea a avut valoarea de 1,70 mm.

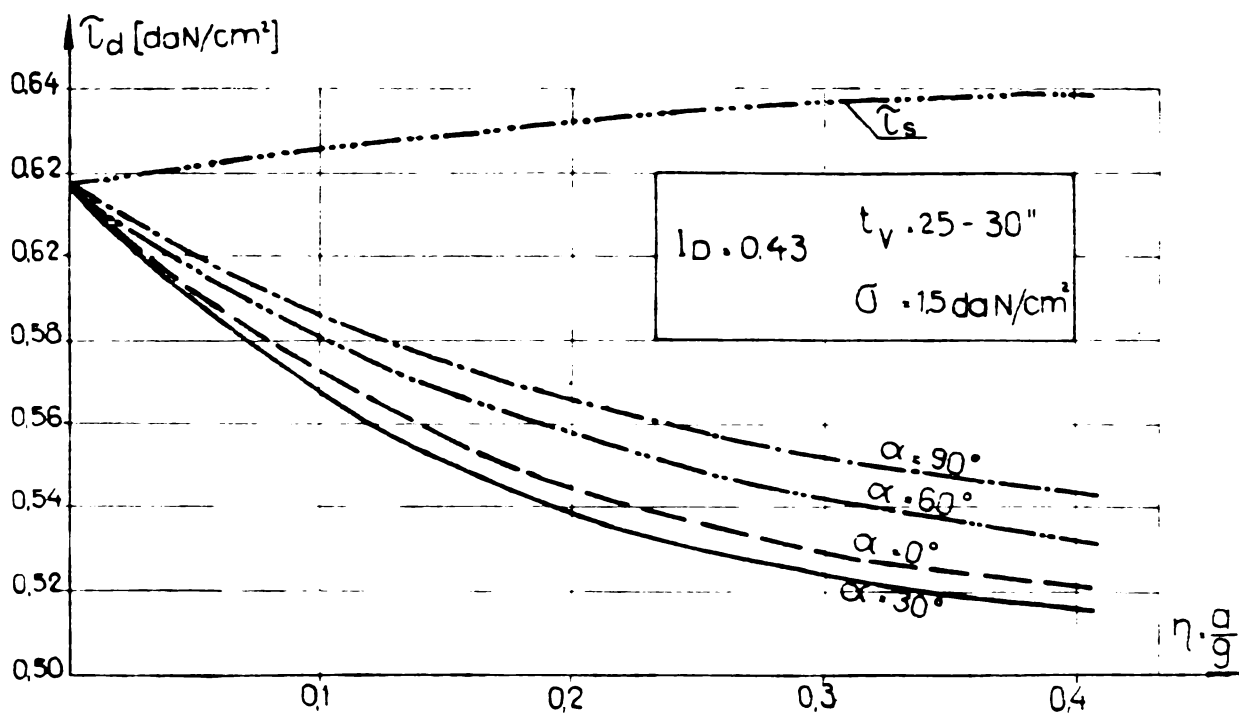


Fig.1.9. Variația rezistenței la forfecare (τ_d) în funcție de accelerația vibrațiilor ($\eta = \frac{a}{g}$) și unghiul (α) de acționare a forței oscilatoare față de orizontală (seria I de încercări)

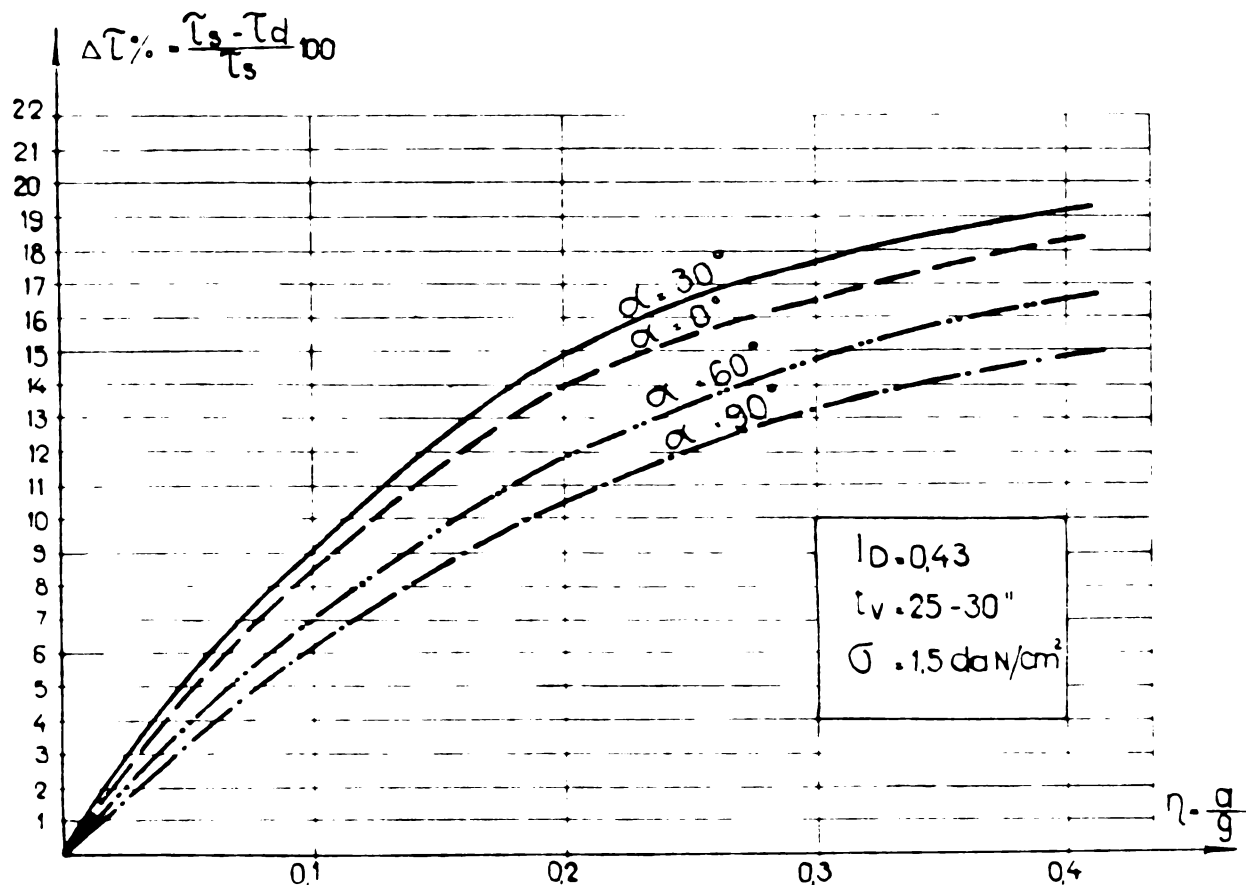


Fig.1.10. Diferența procentuală între rezistența la forfecare statică și dinamică, în funcție de raportul $\eta = \frac{a}{g}$ și unghiul α . (Seria I de încercări).

S-a folosit același nisip, saturat și de astă dată, însă cu o stare de îndesare creată, mai bună ($I_D = 0,62$). Presiunea normală cu care s-au încărcat probele a fost de $0,5 \text{ daN/cm}^2$.

Rezultatele obținute sînt prezentate în graficele din fig. 1.11 și 1.12.

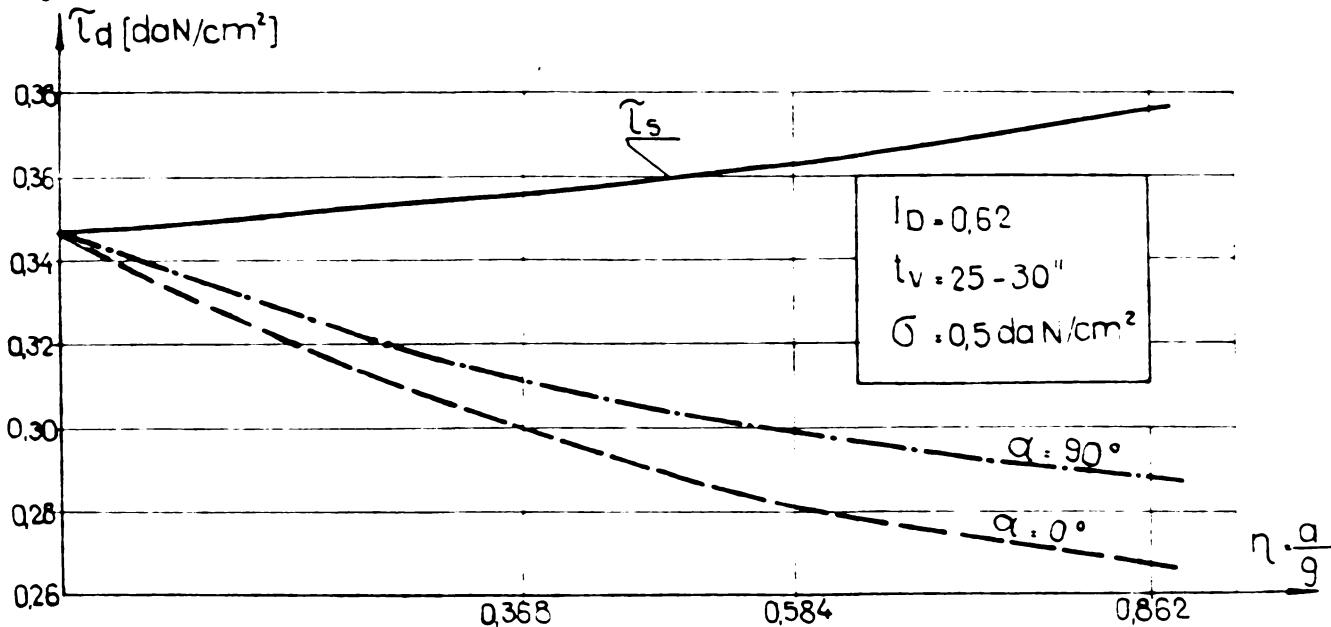


Fig.1.11. Variația rezistenței la forfecare (τ_d) în funcție de accelerația vibrațiilor ($\eta = \frac{a}{g}$), pentru $\alpha = 0$ și 90° (seria II de încercări)

Analiza rezultatelor prezentate în graficele din figurile menționate, conduce la concluzia certă că rezistența la forfecare

determinată în regim dinamic începe să scadă în comparație cu cea corespunzătoare regimului static, chiar și la valori relativ mici ale accelerației vibrațiilor.

O concluzie foarte importantă pentru practică, subliniată doar ca ipoteză de alți cercetători [22], [134], care a rezultat, este aceea că reducerea cea mai accentuată a rezistenței la forfecare dinamică, are loc pentru un unghi de înclinare a direcției de oscilație cu orizontala, apropiat ca valoare de unghiul frecării

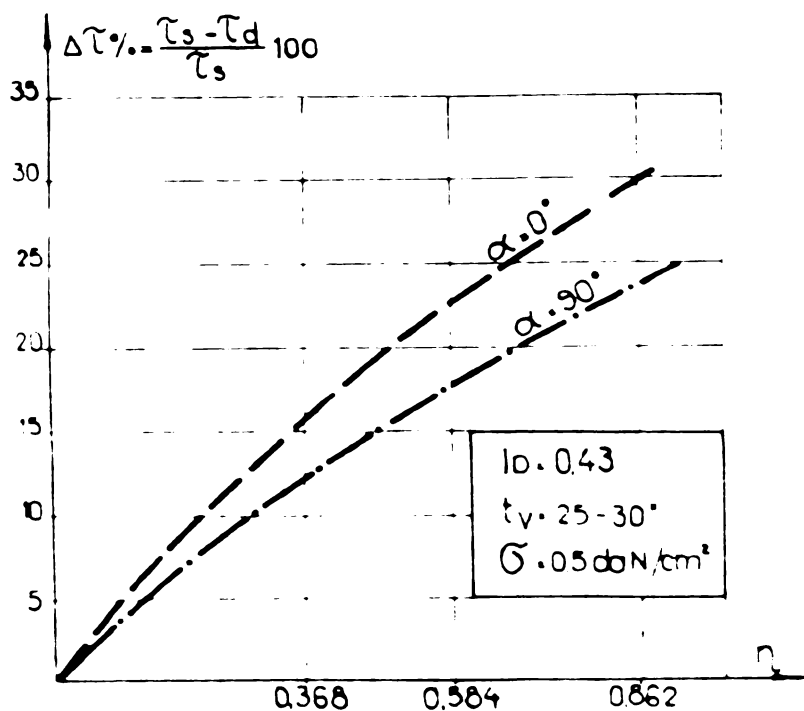


Fig.1.12. Diferența procentuală între rezistența la forfecare statică și dinamică în funcție de ($\eta = \frac{a}{g}$) pentru $\alpha = 0^\circ$ și 90° (seria II de înc.)

interioare a materialului încercat (în cazul de față $\alpha = 30^\circ$).

Se mai poate sublinia și faptul că reducerea mărimii lui τ_d este mai accentuată pentru vibrații orizontale ($\alpha = 0^\circ$), față de cele verticale ($\alpha = 90^\circ$). A rezultat de asemenea că la o valoare mai mare a raportului η , respectiv a accelerației vibrațiilor ($a \approx 1 \text{ g}$), reducerea este mai pronunțată (fig.1.11 - pentru $\eta = 0,862$, $\Delta\tau$ atinge valori de cca 30%).

Urmărind valoarea deformației orizontale în momentul forfecării probei de nisip, a rezultat că aceasta se reduce, pe măsură ce crește raportul η , cu o valoare aproape constantă. Acest lucru se poate explica prin transformarea masei de nisip saturat într-o masă a cărei vâscozitate se reduce pe măsura creșterii intensității vibrațiilor. Din urmărirea deformației pe verticală, a rezultat că în timpul forfecării dinamice de regulă are loc o tasare continuă a nisipului, a cărei intensitate depinde de parametrii vibrațiilor, de starea de îndesare inițială, precum și de valoarea presiunii normale aplicate.

Unii cercetători [21], în urma studiilor și încercărilor experimentale întreprinse asupra rezistenței la forfecare a pământurilor, au ajuns la concluzia că în modul de variație a acesteia în funcție de accelerația vibrațiilor, se pot deosebi trei domenii distincte (fig.1.13). Un prim domeniu corespunde unor valori mici ale accelerației vibrațiilor, apropiate de zero, în care scăderea rezistenței la forfecare dinamică, față de cea statică este relativ redusă, fiind mai puțin importantă din punct de vedere practic.

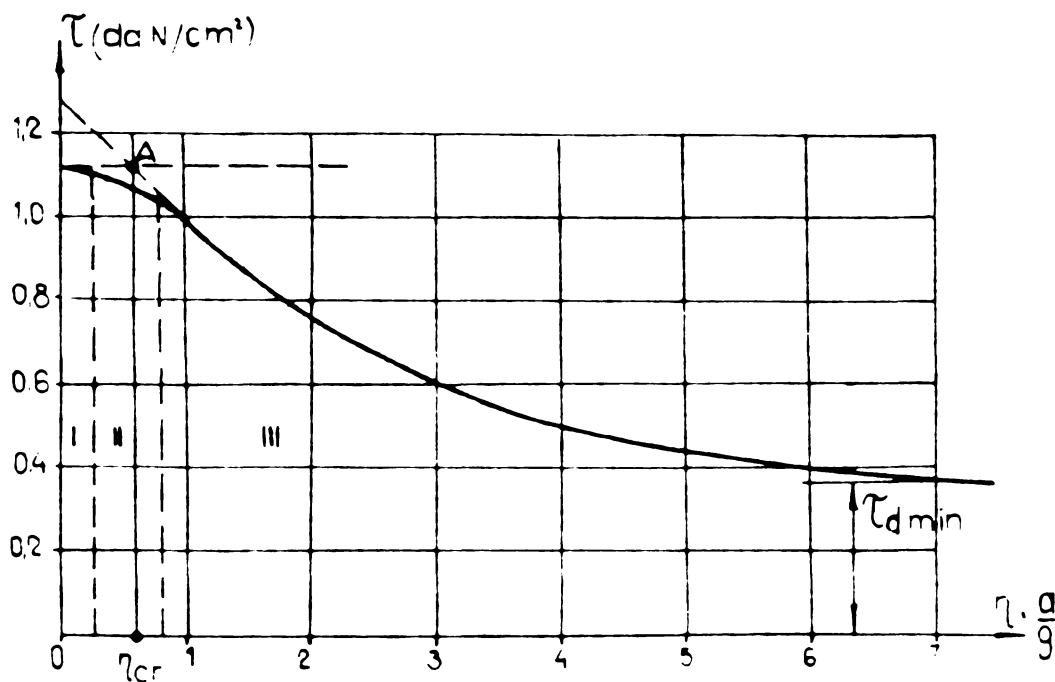


Fig.1.13. Domeniile de variație a dependenței $\tau_d = \varphi(\eta = \frac{a}{g})$ pentru pământuri necoezive ($C = 1,5 \text{ daN/cm}^2$)

În al doilea domeniu corespunzător unor accelerații ale vibrațiilor $a < 1g$ ($0,1g - 0,8g$, funcție de natura pământului și de valoarea presiunii normale σ), reducerea se accentuează, dar în general nu depășește $10 - 25\%$. Începând de la accelerații în jur de $0,8g - 1,0g$, începe cel de al treilea domeniu, în care reducerea rezistenței la forfecare dinamică este pronunțată, atingând o valoare minimă ($\tau_{d \min}$) pentru valori ale accelerației egale cu $6g - 7g$. Din unele experiențe [21], [29], au rezultat reduceri ale rezistenței la forfecare dinamică (în domeniul III) în jur de 50% și chiar mai mult, față de cea statică.

Pentru scopuri practice este suficient să se analizeze numai două domenii de reducere a rezistenței de forfecare dinamică, respectiv limita dintre ele, pentru care se folosește denumirea "accelerație critică" sau "prag critic al accelerației relative" ($\eta_{cr} = \frac{a_{cr}}{g}$). Această valoare se poate determina prin abscisa punctului A (fig. 1.13), determinat de intersecția tangentei la curba de variație din domeniul III, cu ordonata corespunzătoare rezistenței la forfecare statică. Un asemenea procedeu conduce la erori neînsemnate din punct de vedere practic în determinarea lui τ_d , deoarece domeniul al doilea se caracterizează printr-o gamă mai restrânsă de accelerații, iar în primul domeniu reducerea este relativ neînsemnată.

Din prelucrarea unor date experimentale, obținute pentru diverse valori ale presiunii normale σ , a rezultat că variația $\tau_d = \varphi(\eta)$ după depășirea pragului critic al accelerației relative (η_{cr}), se poate exprima sub formă unei relații exponențiale de forma:

$$\tau_d = \tau_{d \min} + (\tau_s - \tau_{d \min}) e^{-\beta(\eta - \eta_{cr})} \quad (1.5)$$

unde: $\tau_{d \min}$ - rezistența la forfecare dinamică minimă;
 τ_s - rezistența la forfecare statică determinată pentru aceeași valoare a presiunii normale (σ);
 η_{cr} - pragul critic al accelerației relative;
 β - coeficient exponențial.

Cei trei parametri de bază de care depinde variația, respectiv reducerea rezistenței la forfecare dinamică conform relației exponențiale (1.5), sînt la rîndul lor dependenți de valoarea presiunii normale (fig. 1.14).

Prezența "pragului critic al accelerației relative" (η_{cr}), în procesul de reducere a rezistenței la forfecare sub acțiunea vibrațiilor, din punct de vedere fizic reprezintă limita la care apar

schimbări calitative în structura internă a pământului. S-a stabilit că dependența acestei limite (η_{cr}) de mărimea presiunii normale (σ), răspunde unei legi logaritmice de forma:

$$\eta_{cr} = \eta_0 + k_1 \log\left(1 + \frac{\sigma}{\sigma_0}\right) \quad (1.6)$$

unde: η_0 - pragul critic al accelerației relative, pentru $\sigma = 0$;
 k_1 - coeficient experimental care caracterizează tipul și natura pământului;
 $\sigma_0 = 1 \text{ daN/cm}^2$.

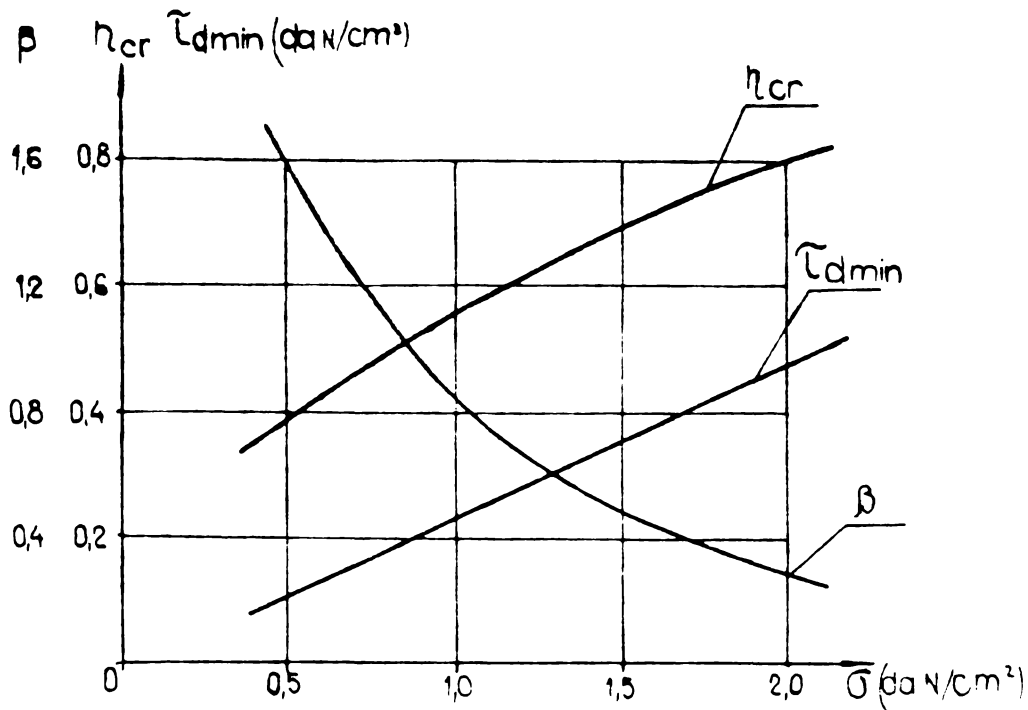


Fig.1.14. Variația parametrilor η_{cr} , β și $\tau_{d \min}$ în funcție de presiunea normală σ .

În ceea ce privește dependența $\beta = \psi(\sigma)$, prelucrarea datelor experimentale au dus la concluzia că aceasta se supune unei legi de variație exponențială, de forma:

$$\beta = \beta_0 \cdot e^{-k_2 \sigma} \quad (1.7)$$

unde: β_0 - coeficient exponențial al rezistenței la forfecare dinamic pentru $\sigma = 0$;

k_2 - coeficient experimental dependent de tipul și natura pământului.

După cum se poate observa și din fig.1.14, influența coeficientului exponențial (β) asupra rezistenței la forfecare dinamică este mai accentuată, decât a pragului critic al accelerației relative (η_{cr}). Prezența acestui coeficient în relația analitică care

G. H. 326

caracterizează variația rezistenței la forfecare dinamică (la vibrații), precum și dependența lui pronunțată de presiunea normală, oglindește faptul că prin comprimarea statică, pe lângă mărirea stabilității legăturilor de contact dintre fragmente (ceea ce condiționează mărirea valorii lui η_{cr}), se schimbă și caracterul proceselor care se desfășoară în structura pământului, după distrugerea în parte a acestor legături. Acest lucru este pe deplin logic, deoarece prin distrugerea legăturilor de contact, mișcarea relativă a fragmentelor depinde de valoarea presiunii normale care acționează asupra lor.

Al treilea parametru de care depinde modul de variație a rezistenței la forfecare este mărimea $\tau_{d \min}$, pentru care dependența $\tau_{d \min} = \varphi(\sigma)$ se poate considera liniară. Existența unei limite minime a rezistenței la forfecare dinamică, demonstrează că prin distrugerea legăturilor inițiale de contact (atunci când accelerația relativă a vibrațiilor atinge valoarea η_{cr}), pe suprafața de forfecare între fragmentele componente ale pământului continuă să existe interacțiuni, a căror intensitate depinde de valoarea presiunii normale.

După cum s-a mai menționat, în interpretarea de către diverși cercetători [23], [37], [89], a proceselor fizice care însoțesc și condiționează reducerea rezistenței la forfecare dinamică a pământurilor în general și a nisipurilor în particular, au apărut și unele mici nepotriviri.

Astfel în [37], referitor la concluzia potrivit căreia sub acțiunea vibrațiilor rezistența la forfecare a pământurilor necoezive se reduce prin micșorarea coeficientului, respectiv a unghiului de frecare interioară, se arată că aceasta nu este în totalitate confirmată. În urma unor cercetări experimentale sistematice privind determinarea coeficientului de frecare exterioară și interioară în condiții dinamice, efectuate în laboratorul de fundații de la Institutul "M.I. Kalinin", s-a tras concluzia că acesta, respectiv unghiul de frecare interioară nu se modifică sub acțiunea vibrațiilor. În special pentru regimuri de vibrații cu accelerații reduse, pînă la care nu apar schimbări pronunțate în starea structurală a nisipurilor se consideră că reducerea rezistenței la forfecare dinamică, nu se produce datorită micșorării unghiului, respectiv a coeficientului de frecare interioară, ci modificării stării tensionale prin suprapunerea peste tensiunile statice constante a unor tensiuni suplimentare vibratorii.

La vibrații intense, cu accelerații care se apropie sau chiar depășesc valoarea accelerației gravitaționale ($\eta \geq 1$), când are loc distrugerea stării structurale și când se produc deplasări reciproce ale particulelor, pământul poate fi considerat ca un mediu vâscos, la care rezistența la forfecare este determinată de frecare interioară de natură vâscoasă și nu uscată, aceasta mai ales la nisipuri umede și saturate, sau la cele cu liant argilos sau prăfos.

În ceea ce privește existența unei dependențe liniare între rezistența la forfecare dinamică și presiunea normală, de asemenea s-au adus unele amendamente [17], [21], în sensul că aceasta se păstrează numai pentru un domeniu limitat de valori ale presiunii normale. Limita inferioară a acestui domeniu este zero, iar limita superioară depinde de o serie de parametri, care se referă atât la natura și starea pământului cât și la regimul dinamic de încercare.

Apariția la o anumită valoare a presiunii normale ($\bar{\sigma}$), a neliniarității dependenței $\tau_d = f(\bar{\sigma})$, se datorește complexității și particularităților specifice care însoțesc procesul de forfecare dinamică, în comparație cu forfecarea statică.

În condiții de forfecare statică, după cum se știe, s-a constatat că independent de starea inițială de îndesare a pământurilor necoezive, în procesul de forfecare are loc un fenomen de reșezare a fragmentelor, astfel încât sub aceeași valoare a presiunii normale, în zona fîșiei de forfecare se realizează una și aceeași stare de îndesare. Acest lucru rezultă prin simpla comparație a dependenței dintre rezistența la forfecare și deformația orizontală (deplasarea pe orizontală a casetei), obținută la forfecarea statică a unui nisip îndesat, cu cea corespunzătoare unui nisip afînat (fig.1.15). Faptul că rezistența la forfecare statică tinde către una și aceeași valoare, comună pentru nisipurile îndesate și pentru cele afînate, denotă că în zona fîșiei de forfecare porozitatea finală este aceeași. Această porozitate poartă denumirea de porozitate critică.

În condiții de forfecare dinamică complexitatea fenomenelor care însoțesc procesul forfecării este mai mare. Astfel prin supunerea unei probe de nisip la început unei forfecări statice care nu se desăvârșește, ci se continuă cu forfecare în condiții dinamice, iar în final din nou în condiții statice [17], pentru

dependența $\tilde{\tau} = \varphi(\Delta h)$ se obține variația din fig.1.16. Din analiza

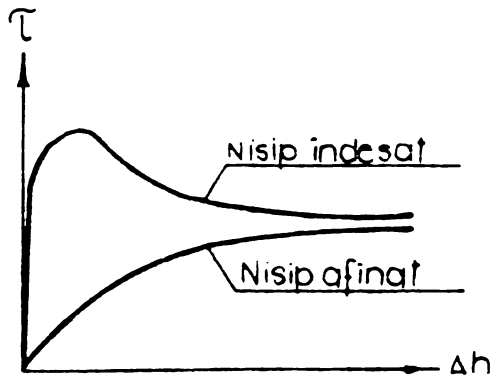


Fig.1.15. Variatia $\tilde{\tau} = \varphi(\Delta h)$ la forfecarea nisipurilor în condiții statice

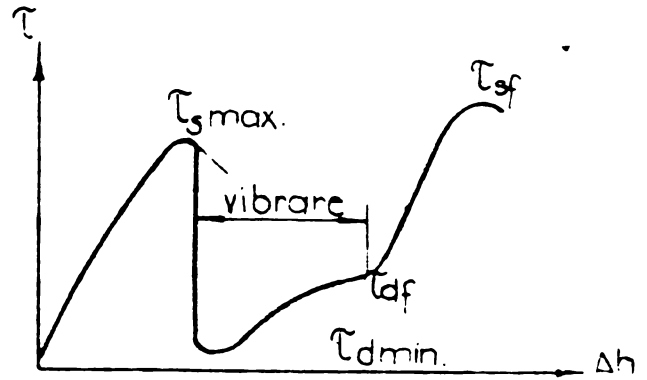
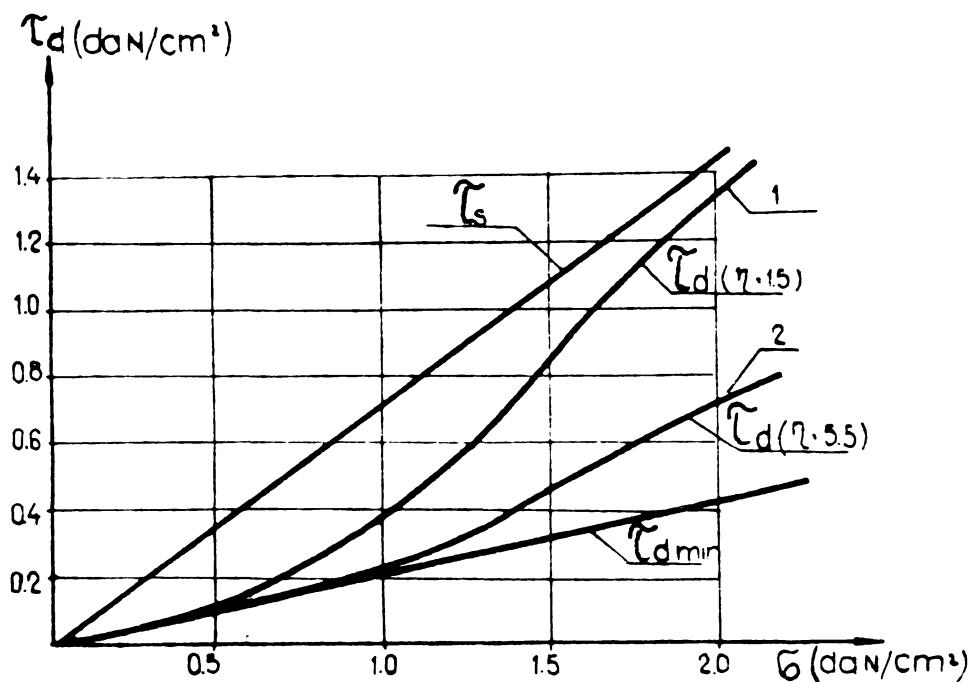


Fig.1.16. Variatia $\tilde{\tau} = \varphi(\Delta h)$ la forfecarea nisipurilor în condiții dinamice

acestei variații se observă că dacă după obținerea valorii $\tilde{\tau}_s \text{ max}$ (rezistența la forfecare maximă în condiții statice), se intervine cu vibrații (evident de o intensitate care depășește pragul de accelerație - η_{or}), atunci în primul moment rezistența la forfecare scade pînă la o valoare minimă ($\tilde{\tau}_{d \text{ min}}$), după care începe să crească din nou. Creșterea atinge o valoare corespunzătoare sfîrșitului perioadei de vibrație ($\tilde{\tau}_{d \text{ f}}$), iar prin continuarea forfecării în condiții statice, se ajunge la o valoare finală $\tilde{\tau}_{s \text{ f}}$, care poate fi chiar și mai mare decît valoarea $\tilde{\tau}_{s \text{ max}}$, obținută prin forfecarea statică efectuată înainte de vibrație. Reducerea rezistenței la forfecare de la $\tilde{\tau}_{s \text{ max}}$ la $\tilde{\tau}_{d \text{ min}}$, se poate considera că se datorește micșorării frecărilor interne prin acțiunea vibrațiilor care distrug starea structurală a nisipului, însă creșterea acesteia în condiții dinamice pînă la valoarea $\tilde{\tau}_{d \text{ f}}$, nu poate fi explicată decît prin îndesarea care se produce în timpul vibrării. Intensitatea, respectiv preponderența unuia sau altuia din fenomenele fizice, care imprimă această complexitate procesului de forfecare dinamică, este funcție atît de valoarea presiunii normale (σ) și de starea de îndesare inițială a pămîntului necoeziv, cît și de intensitatea regimului dinamic (al vibrațiilor). Astfel la nisipuri cu porozitate ridicată și pentru regimuri de vibrații nu prea intense, dar suficiente pentru provocarea mișcării oscilatorii a fragmentelor, se produce o îndesare mai pronunțată, concretizată într-o diferență mai mare între $\tilde{\tau}_{d \text{ f}}$ și $\tilde{\tau}_{d \text{ min}}$.

Acest lucru face ca neliniaritatea dependenței $\tau_d = \varphi(\sigma)$, să apară de la valori mai reduse a presiunii normale (curba 1 din fig.1.17), iar rezistența la forfecare dinamică are tendința de apropiere mai pronunțată de cea statică, pentru valori mai mari ale presiunii normale. La regimuri de vibrații foarte intense, caracterul

neliniar al dependenței $\tau_d = f(\sigma)$ apare la valori mai ridicate a presiunii normale (curba 2). Acest lucru este explicabil dacă se



are în vedere că în ultimă instanță comportarea nisipurilor în timpul forfecării dinamice, este determinată de suprapunerea a două tendințe contrarii provocate de efectul vibrațiilor: una de „îndesare” sub acțiunea presiunii normale și alta de „afînare” datorită presiunii de agitație,

Fig.1.17. Variația $\tau_d = f(\sigma)$ pentru nisipuri

respectiv mișcării oscilatorii intense a fragmentelor de nisip. Cum la vibrații de mare intensitate ($\eta > 5$), presiunea de agitație este pronunțată, îndesarea la presiuni mici este redusă, ea începînd să se resimtă doar de la presiuni normale de valoare mai ridicată, fapt ilustrat și de curba (2) din fig.1.17.

Din cele prezentate rezultă că variația rezistenței la forfecare dinamică în funcție de presiunea normală, are un caracter mai complex, putînd fi exprimată [21] sub forma:

$$\tau_d = \psi \sigma \tag{1.8}$$

unde: ψ poate fi considerat drept coeficient de frecare dinamic, variabil după următoarea lege exponențială:

$$\psi = \mu_{d \min} + (\mu_s - \mu_{d \min}) e^{-\beta(\eta - \eta_{cr})} \tag{1.9}$$

în care notațiile folosite au aceleași semnificații ca și în relațiile (1.3), (1.4) și (1.5).

O mare parte din cercetările teoretice și experimentale privind caracteristicile și comportarea pămînturilor necoezive la acțiunii dinamice, în special cele legate de înfigerea și extragerea din pămînt a diverselor elemente (piloți, palplane, tuburi), prin vibrare sau vibra-percuții [5], [64], [68], [69], [70], [89], [90], [91], [126], se referă la influența vibrațiilor asupra forțelor de frecare exterioară. Din sintetizarea constatărilor și observațiilor făcute în cadrul acestor cercetări rezultă destul de clar concluzia, verificată și de practică, că sub influența vibrațiilor, forțele, respectiv

coeficientul real de frecare exterioară, se reduc în mod substanțial în comparație cu valorile corespunzătoare condițiilor statice. Această reducere se datorează distrugerii totale a stării structurale a nisipului din imediata vecinătate a elementului vibrant, fragmentele de nisip fiind supuse unor mișcări intense de rostogolire. De asemenea se poate sublinia și conturarea ideii că, pentru studiul rezistenței la forfecare dinamică, la nisipurile uscate este mai corespunzătoare ipoteza frecării uscate, iar la nisipurile umede, saturate, precum și la cele cu conținut argilos, ipoteza frecării vâscoase.

x x x

In studiul influenței vibrațiilor asupra rezistenței la forfecare a pământurilor necoezive, așa după cum s-a văzut și din aspectele prezentate sintetic în acest paragraf, au apărut și unele neconcordanțe atât în ceea ce privește metoda de cercetare, cât și a interpretării unor fenomene fizice și aspecte teoretice, pe baza rezultatelor obținute din cercetări și încercări experimentale. Cu toate acestea, se poate menționa că rezultatele tuturor cercetărilor, pun în evidență concluzia generală de reducere a rezistenței la forfecare a pământurilor nisipoase supuse acțiunii vibrațiilor, fapt care evident contribuie la micșorarea rezistenței și stabilității lor.

Apariția unor neconcordanțe între opiniile și concluziile formulate de diverși cercetători, se datorește în cea mai mare parte complexității problemei, respectiv luării sau neluării în considerare în cadrul cercetărilor, a unor factori importanți, cum ar fi: fenomenul de îndesare care are loc la forfecarea în regim dinamic, efectul încărcării exterioare, viteza de forfecare, starea de îndesare inițială, regimul de vibrații, modificarea stării tensionale sub acțiunea vibrațiilor etc. In același timp ele dovedesc și faptul că studiul acestei probleme încă nu reprezintă un domeniu încheiat al dinamicii pământurilor.

Deși prin cercetările întreprinse nu s-a reușit încă stabilirea cu certitudine a limitelor de aplicabilitate a ipotezelor de frecare uscată și vâscoasă în studiul rezistenței la forfecare dinamică, totuși ele oferă unele concluzii utile din punct de vedere teoretic și practic, în această direcție.

Astfel în primă aproximație se poate considera că la vibrații de intensitate relativ redusă ($\eta < 0,1 \div 0,2$), când încă starea structurală a pământului nu este distrusă, reducerea rezistenței la forfecare dinamică este determinată în mare parte de modificările

periodice de scurtă durată ale stării tensionale ale mediului. Din punct de vedere practic în această situație, coeficientul de frecare respectiv unghiul de frecare interioară se pot considera cu o oarecare aproximație ca fiind constante.

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

1.2.2. Influența vibrațiilor asupra rezistenței la forfecare a pământurilor coezive

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

$$\tilde{\tau}_s = \text{tg } \varnothing + c_c + c_p + c_w \quad (1.10)$$

unde: $\tilde{\tau}_s$ - rezistența la forfecare statică;

σ - presiunea normală;

\varnothing - unghiul de frecare interioară;

c_c - coeziunea specifică secundară (de cimentare);

c_p - coeziunea specifică primară (datorată forțelor intermoleculare);

c_w - coeziunea specifică aparentă (datorată capilarității).

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

În ultimul timp tot mai mult își face drum ideea că teoria Coulomb-Mohr, referitoare la rezistența la forfecare a pământurilor, folosită pe scară largă în calculele ingineresti, nu reflectă condițiile și fenomenele reale care apar la cedarea prin forfecare a pământurilor. Parametrii rezistenței la forfecare, unghiul de frecare

interioară și coeziunea specifică, determinată prin metodele de laborator cunoscute, reprezintă niște valori convenționale, care oglindesc mai mult modificările care au loc în structura probelor de pământ în timpul încercărilor de forfecare. Teoria clasică Coulomb-Mohr nu ține seama de toți factorii care influențează asupra rezistenței la forfecare a pământurilor argiloase.

Astfel, după W.E.Schmid [111], unul din factorii importanți care trebuie luați în considerare este timpul, știut fiind că proprietățile de rezistență și de stabilitate a pământurilor argiloase variază mult în funcție de timp. Dezavantajul cel mai mare al teoriei Coulomb-Mohr, după părerea prof.W.E.Schmid constă tocmai în lipsa includerii și a efectului în timp a tensiunilor de consolidare, respectiv a efectului variației coeficientului de porozitate sau a conținutului de apă.

Referitor la natura rezistenței la forfecare a pământurilor argiloase, W.E.Schmid își exprimă părerea că din punct de vedere fizic nu ar exista o deosebire esențială între frecarea interioară și coeziune. Singura diferență ar consta în faptul că, în cadrul încercărilor de forfecare, coeziunea apare ca rezultat al unei pre-comprimări reziduale în procesul de consolidare naturală a straturilor de pământ, iar frecarea internă ca un rezultat al modificării stării de îndesare (compactare) sub acțiunea presiunii exterioare aplicate. Este evident că această părere se deosebește principial de concepția cunoscută și acceptată pînă în prezent, potrivit căreia se face o distincție netă între rezistența la forfecare datorită frecării interne și cea datorită coeziunii.

Sub aspectul legăturilor care se pot stabili între particulele de pământ, de tip solid-solid, sau solid-lichid-solid, iar la pământurile cu coeziune de cimentare și legături de tip solid-liant-solid, se pare că ideea subliniată mai sus referitoare la rezistența la forfecare, ar fi mai justă. Prin prisma tipurilor de legături menționate, este evident că prezența fiecărui tip de legătură contribuie la sporirea rezistenței la forfecare a pământurilor. Proporția în care rezistența la forfecare este influențată de fiecare formă de legătură între particule, depinde de compoziția granulometrică, compoziția mineralogică, de natura liantului, etc., precum și de starea de îndesare (compactare) și de umiditate.

Dat fiind faptul că și la ora actuală, cu toate progresele înregistrate în domeniul geotehnicii și mecanicii pământurilor, metodele de cercetare și de încercare încă nu permit stabilirea cantitativă a influenței diferitelor tipuri de legături asupra rezistenței

la forfecare a pământurilor, se acceptă în continuare convenționalitatea parametrilor ϕ și c , stît pentru condiții statice de încercare, cît și pentru condiții dinamice.

Acceptarea acestei convenționalități și la încercările de determinare a rezistenței la forfecare a pământurilor argiloase în condiții dinamice, oferă posibilitatea comparării rezultatelor cu cele obținute în condițiile statice de încercare.

Deși problema influenței solicitărilor dinamice, fie sub formă de vibrații, fie sub formă de cicluri pulsatorii, asupra rezistenței la forfecare a pământurilor argiloase, este poate chiar mai puțin elucidată în comparație cu pământurile necoezive, din o serie de cercetări întreprinse, [17], [21], [29], [56], [57], [71], [92], [112], [130], [137] ș.a, a rezultat că și în acest caz are loc în general o reducere a rezistenței la forfecare.

Astfel N.N.Maslov [56], în urma unor încercări experimentale, ajunge la concluzia că prin vibrarea unei probe de argilă cu structură nederanjată, aceasta își pierde o parte din rezistența sa la forfecare. Această reducere a rezistenței la forfecare este pusă mai ales pe seama distrugerii legăturilor structurale, emițîndu-se totodată și presupunerea că la pământurile argiloase scăderea forțelor de frecare sub influența vibrațiilor ar fi neînsemnată.

Analizînd rezistența la forfecare dinamică a pământurilor argiloase, prin prisma fenomenelor de interacțiune dintre faza solidă (scheletul) și fața lichidă, s-a încercat să se explice natura fizică a proceselor care au loc în timpul forfecării dinamice.

În acest sens s-a concluzionat [17], că sub influența vibrațiilor particulele solide efectuează mișcări oscilatorii dezvoltînd forțe de inerție, care fac ca în punctele de contact să apară în mod alternativ, eforturi de compresiune și de întindere. Aceste eforturi sînt preluate prin rezistența peliculelor de apă legată fizic și numai după învingerea acestei rezistențe, particulele solide pot oscila liber, se pot ciocni, producînd și la pământurile argiloase fenomene apropiate ca natură de cele corespunzătoare nisipurilor. Rezistența legăturilor este slăbită datorită faptului că sub influența vibrațiilor o parte din apa legată fizic poate deveni apă liberă [21].

Ca urmare a slăbirii sau distrugerii legăturilor are loc pe de o parte micșorarea frecării interioare, iar pe de altă parte reducerea coeziunii. În acest caz frecarea internă se micșorează mai ales datorită rolului de lubrifiant între particule, pe care-l joacă apa devenită liberă, spre deosebire de nisipuri unde rolul preponderent îl are, așa după cum s-a menționat în paragraful anterior, presiunea de agitație. Se poate sublinia de asemenea că modificarea

rezistenței la forfecare, respectiv a parametrilor acesteia (ϕ și c), sub influența vibrațiilor, se produce fără o schimbare a umidității pământului argilos în ansamblul ei.

În cadrul diverselor cercetări și încercări experimentale referitoare la rezistența la forfecare dinamică a pământurilor argiloase, s-a urmărit evidențierea modului de variație a acesteia, în funcție de parametrii principali ai vibrațiilor (frecvență, amplitudine, accelerație), în strânsă corelație cu valoarea presiunii normale și cu conținutul de apă.

Metodica de cercetare, respectiv de efectuare a încercărilor experimentale, în principiu a constat din prepararea unor probe de pământ argilos, urmată de consolidarea lor la diferite trepte de presiune cu controlarea umidității și porozității după consolidare. Probele astfel preparate au fost supuse forfecării la diverse presiuni normale, în prezența vibrațiilor, pentru care un parametru a fost variat, iar ceilalți au fost menținuți constanți.

Deși în principiu modul de variație al rezistenței la forfecare dinamică a pământurilor argiloase, în funcție de parametrii vibrațiilor (accelerație, frecvență, amplitudine), este asemănător cu cel de la nisipuri, se pot sublinia totuși și unele diferențe, atât de ordin calitativ cât și cantitativ.

Astfel analizând dependența rezistenței la forfecare dinamică a pământurilor argiloase, în funcție de accelerația vibrațiilor, s-a ajuns la concluzia [21], că ea se supune aceluiași legi de variație, ca și la nisipuri (relația 1.5), cu mențiunea că valoarea "pragului critic al accelerației relative" (η_{cr}), este de regulă mai ridicată. Acest lucru este în concordanță și cu relația (1.6), unde valoarea lui η_0 , care corespunde cazului când presiunea normală lipsește ($\sigma = 0$), evident că este mai mare la pământurile argiloase, decât la nisipuri, datorită coeziunii.

După depășirea "accelerației critice", rezistența la forfecare descrește odată cu mărirea accelerației vibrațiilor (fig.1.18) tinzând să se stabilizeze la o mărime minimă, pentru o anumită valoare limită a accelerațiilor vibrațiilor (η_{lim}) [17], [21], [57], [92]. Cele două valori ale accelerației, "critică" (η_{cr}) și respectiv "limită" (η_{lim}), sînt funcție de mărirea umidității. Cu cât umiditatea este mai mare, cu atât cele două valori sînt mai reduse.

La umidități apropiate de limita de curgere (w_L) porțiunea orizontală a curbei de variație $\tau_d = \varphi(\eta)$ dispăre (fig.1.19), ceea ce

arată că vibrații de intensitate foarte redusă, sînt suficiente pentru slăbirea și distrugerea legăturilor structurale dintre particule.

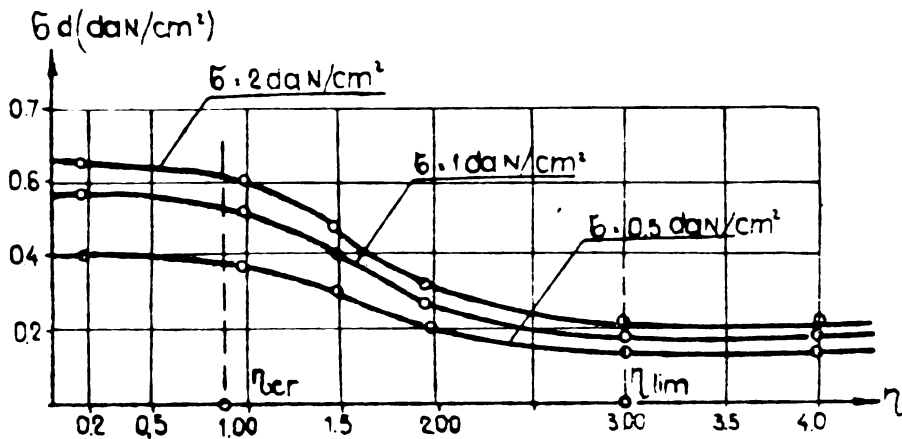


Fig. 1.18. Variația $\tau_d = \varphi(n)$ pentru argilă grasă cu umiditate $w \approx 0,5 w_L$

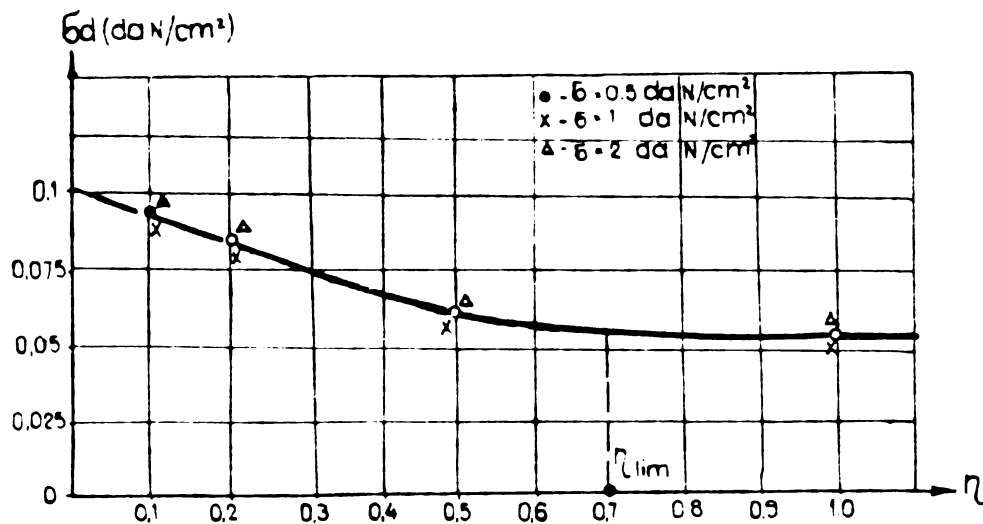


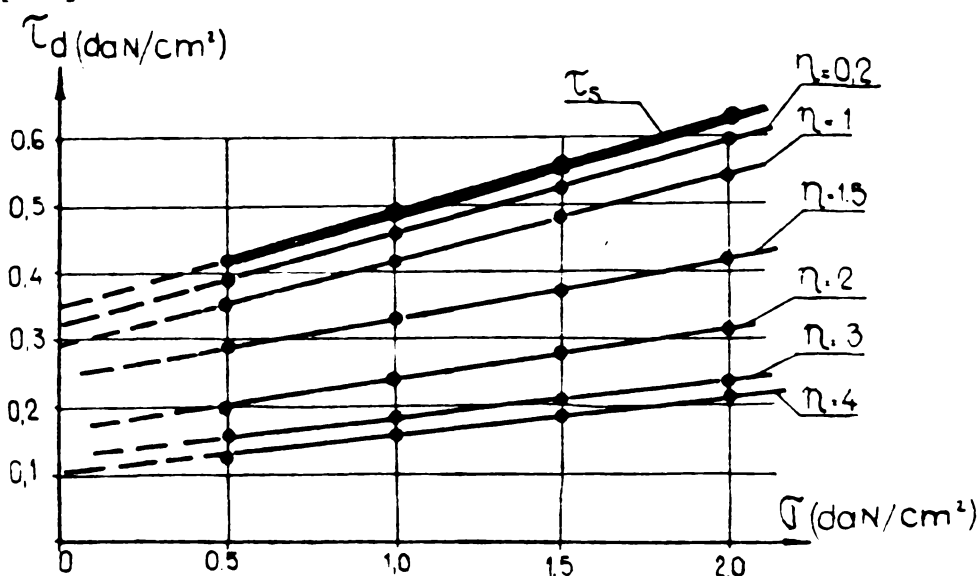
Fig. 1.19. Variația $\tau_d = \varphi(n)$ pentru argilă grasă cu umiditate $w \approx 0,8 w_L$

și să se suprapună în final (fig. 1.19). Aceasta înseamnă că la umiditate ridicată, rezistența la forfecare devine independentă de presiunea normală, ceea ce se poate explica prin faptul că în condiții de umiditate ridicată, frecarea devine foarte mică, iar reducerea rezistenței la forfecare se produce prin micșorarea coeziunii sub influența vibrațiilor.

Modul și proporția în care se modifică cei doi parametri ai rezistenței la forfecare (ϕ și c), în funcție de intensitatea vibrațiilor pentru stări diferite de umiditate, reiese mai clar dacă se admite o dependență liniară a variației $\tau_d = \varphi(\sigma)$ [17], [71], [92], și se analizează dreptele intrinseci corespunzătoare forfecării dinamice la diferite regimuri de vibrații și umidități. Din fig. 1.20 se observă că dreptele intrinseci corespunzătoare forfecării dinamice

S-a constatat de asemenea că pentru o anumită valoare a presiunii normale (σ), caracterul dependenței dintre rezistența la forfecare dinamică a pământurilor argiloase și accelerația vibrațiilor, se modifică mult în funcție de starea de umiditate a pământului. Cu cât umiditatea este mai ridicată ca valoare apropiindu-se de limita de curgere, cu atât curbele de variație $\tau_d = \varphi(n)$ distincte în fig. 1.18, pentru diverse valori ale presiunii normale (σ), tind să se apropie

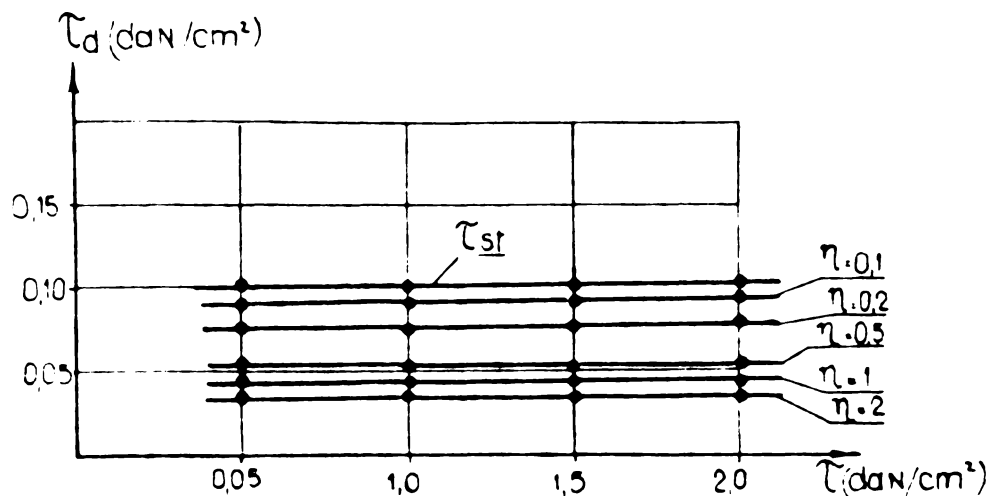
la regimuri de vibrații cu accelerații reduse ($\eta < 1$) sînt foarte apropiate atît ca ordonate, cît și ca înclinare, de dreapta intrinsecă corespunzătoare forfecării statice.



Acest lucru arată că la vibrații slabe, influența acestora asupra modificării parametrilor ϕ și c este nesemnificativă. Dreptele intrinseci obținute pentru forfecări dinamice la regimuri de vibrații intense ca accelerație, sînt atît trans-

Fig.1.20. Variatia $\tau_d = \varphi(\eta)$ pentru diverse valori ale accelerației vibrațiilor (η) (argilă grasă cu umiditate $w = 0,5 w_L$) latate cît și rotite față de dreapta intrinsecă corespunzătoare forfecării statice, indicînd o micșorare atît a coeziunii cît și a unghiului de frecare interioară.

Sub aspect cantitativ, unele cercetări au arătat [17], că în cazul forfecării dinamice a pămînturilor argiloase, influența vibrațiilor se resimte mai puțin asupra unghiului de frecare interioară și mai mult asupra coeziunii, care se poate reduce în unele situații cu peste 50 % [17], [21], [29], reducere care este funcție de accelerația vibrațiilor și de starea de umiditate a pămîntului.



Pe de altă parte cu cît umiditatea este mai ridicată, cu atît influența vibrațiilor asupra unghiului de frecare interioară este mai redusă. Acest lucru rezultă și din analiza graficelor din fig.1.21, unde dreptele intrinseci corespunzătoare for-

Fig.1.21. Variatia $\tau_d = \varphi(G)$ pentru diverse valori ale accelerației vibrațiilor (η) - (argilă grasă cu umiditatea $w \approx 0,8 w_L$)

fecării dinamice a unei argile grase cu umiditate apropiată de limita de curgere ($w_L = 70 \%$), au aceeași înclinare ca și dreapta intrinsecă corespunzătoare forfecării statice, fiind doar translatate

față de aceasta.

În ceea ce privește influența celorlalți doi parametri ai vibrațiilor (frecvență și amplitudine) asupra modificării rezistenței la forfecare, s-a constatat [92] că ea provoacă de asemenea descreșterea monotonă a rezistenței la forfecare a pământurilor argiloase pe măsura creșterii frecvenței respectiv a amplitudinii vibrațiilor.

În completarea aspectelor referitoare la rezistența la forfecare dinamică a pământurilor argiloase, în tabelul 1.1 se prezintă valorile medii ale parametrilor ϕ și c , obținute pe baza unor cercetări efectuate cu concursul autorului în cadrul catedrei de Drumuri și fundații a Facultății de Construcții Timișoara. Aceste cercetări s-au efectuat în baza unui contract încheiat cu ISPH București și s-au referit la studiul influenței vibrațiilor asupra unor pământuri, destinate a fi folosite ca material de umplură în corpul unor baraje și diguri de pământ, prevăzute a se construi în zone seismice de gradul VIII (scara MKS).

Tabelul 1.1.

Valori medii ϕ și c determinate în condiții statice și dinamice

Tip. Denumirea pământului	Ipoteza	Static		Dinamic		$\Delta\phi$ [%]	Δc [%]
		ϕ_s [°]	c_s [$\frac{daN}{cm^2}$]	ϕ_d [°]	c_d [$\frac{daN}{cm^2}$]		
A Praf argilos nisipos	I	25	0,24	21	0,19	16,0	20,8
	II	20	0,17	16,5	0,13	17,5	23,4
B Argilă nisipoasă	I	24	0,35	20,5	0,28	14,5	20,0
	II	18	0,20	15	0,15	16,5	25,0
C ₁ Amestec 7/3 din nisip praf. și marnă	I	20	0,55	16	0,42	20,0	23,6
	II	14	0,38	11	0,27	21,4	29,0
C ₂ Amestec 5/5 din nisip praf. și marnă	I	16	0,80	12,5	0,61	21,8	24,0
	II	9	0,55	7	0,35	22,2	36,4

Atât încercările de forfecare statică cât și de forfecare dinamică s-au făcut cu instalația prezentată în fig.1.6, valorile ϕ și c determinându-se prin trasarea dreptelor intrinseci, pentru valori ale presiunii normale de : 0,5; 1,0 și 1,5 daN/cm².

Având în vedere concluziile cercetărilor proprii anterioare privind forfecarea dinamică a pământurilor [67], conform cărora reducerea cea mai accentuată a rezistenței la forfecare dinamică

se obține atunci când unghiul dintre direcția vibrațiilor și cea a planului de forfecare, este apropiat ca mărime de unghiul frecării interioare, în cazul de față valoarea acestui unghi s-a luat de $20^{\circ} \div 25^{\circ}$. De asemenea parametrii vibrațiilor (amplitudinea și frecvența) au fost astfel aleși încât accelerația relativă $\eta_1 = A\omega^2/g$, să fie identică cu valoarea coeficientului de seismicitate, corespunzător unui cutremur de gradul VIII. Pentru umiditatea probelor supuse încercărilor de forfecare statică și dinamică s-au considerat două ipoteze: ipoteza I-a corespunzătoare fazei de execuție când ($w = w_{opt}$) și ipoteza a II-a corespunzătoare fazei de exploatare, când $w = w_{sat}$.

Concluzia generală desprinsă din analiza făcută în acest paragraf, respectiv aceea că și la pământurile argiloase, prin forfecarea lor în regim dinamic (în prezența vibrațiilor) are loc o reducere a parametrilor rezistenței la forfecare ϕ și c , în comparație cu forfecarea statică, este confirmată și de datele prezentate în tabelul 1.1. Se observă că pentru starea de umiditate corespunzătoare primei ipoteze ($w = w_{opt}$), reducerile datorită influenței vibrațiilor, sînt de $14,5 \div 21,8 \%$ pentru ϕ și de $20 \div 24 \%$, iar pentru cea de a doua ipoteză ($w = w_{sat}$), de $16,5 \div 22,2\%$ pentru ϕ și de $23,4 \div 36,4\%$ pentru c . De asemenea rezultatele obținute confirmă în parte și constatarea subliniată în [17], în sensul că pe măsura creșterii umidității, influența vibrațiilor se resimte în mai mare măsură asupra reducerii coeziunii și mai puțin asupra unghiului de frecare interioară. Comparînd reducerile corespunzătoare celor două ipoteze, rezultă pe baza valorilor prezentate în tabelul 1.1, că pentru $w = w_{sat}$ (ipoteza a II-a), reducerea unghiului frecării interioare este doar cu maxim 2 % mai accentuată față de prima ipoteză ($w = w_{opt}$), în schimb reducerea coeziunii este mult mai substanțială ($36,4 \%$ față de $24,0 \%$ la pământul de tip C_2 , adică cu cca 12% mai mare). Sub aspect cantitativ, se observă de asemenea că în cazul pământurilor argiloase cu coeziune mare și conținut de apă ridicat, reducerea datorită influenței vibrațiilor, atât a unghiului frecării interioare, dar mai ales a coeziunii, este mai pronunțată ($22,2 \%$ respectiv $36,4 \%$ la pământul de tip C_2 alcătuit din amestec de marnă argilooasă și nisip prăfos în proporție egală, în cazul de față).

Așa cum s-a menționat pe parcursul acestui paragraf, studiile și cercetările experimentale efectuate de diverși autori, inclusiv cele proprii, referitoare la influența vibrațiilor asupra rezistenței la forfecare, au arătat că în general are loc o reducere a acesteia, respectiv a parametrilor ϕ și c și în cazul pământurilor argiloase. Totuși se poate sublinia că datorită diferenței care există între pământurile argiloase și cele nisipoase, atât sub aspectul legăturilor structurale, cât și a interacțiunii dintre faza solidă și cea lichidă, pentru aceeași parametri ai vibrațiilor, influența acestora asupra modificării caracteristicilor de rezistență și de stabilitate este mai redusă la primele, în comparație cu cele din urmă. În cazul pământurilor argiloase pentru distrugerea legăturilor structurale, după care începe reducerea rezistenței și stabilității, sînt necesare vibrații intense, caracterizate prin accelerații, frecvențe și amplitudini mult mai mari ca valoare decît la nisipuri. Cu cît starea de consolidare și de consistență a pământurilor argiloase este mai ridicată, cu atît influența vibrațiilor, de o anumită intensitate, asupra proprietăților de rezistență și de stabilitate a acestora, se manifestă într-un grad mai redus.

Constatarea acestor aspecte legate de influența acțiunilor dinamice (vibrații sau vibropercuții) asupra rezistenței la forfecare a pământurilor argiloase, a făcut ca în problema folosirii tehnicii vibrării la executarea diverselor lucrări geotehnice și de fundații (vibroforare, infigerea și extragerea diverselor elemente din pămînt, etc.), pentru această categorie de pămînturi atenția să fie îndreptată spre creerea unor instalații și tehnologii de lucru, bazate pe vibropercuție și cu pe vibrații [66].

Pe de altă parte se poate considera că alături de alte cauze, aceste aspecte au contribuit și la dezvoltarea, cu precădere în ultimul timp, a unor metodici și tehnici de cercetare și studiu a caracteristicilor dinamice ale pământurilor, în special a celor argiloase, bazate pe diverse încercări, la care solicitarea dinamică se realizează sub formă de impulsuri de scurtă durată, cu intensitate mai mare sau mai mică.

1.2.3. Compresibilitatea pământurilor solicitate la vibrații

Cercetarea compresibilității pământurilor, în special a celor nisipoase, supuse acțiunii vibrațiilor, prezintă interes atât pentru evaluarea tasărilor construcțiilor fundate pe astfel de pământuri, asupra cărora pot să acționeze încărcări dinamice sub formă de vibrații, cât și pentru probleme de consolidare a terenurilor de fundare nisipoase prin anumite tehnologii bazate pe tehnica vibrării.

Din încercări experimentale [2], [56], [109], a rezultat că prin schimbarea amplitudinii sau a frecvenței în limitele unei valori constante a accelerației vibrațiilor, influența acestora asupra procesului de compactare, se menține și ea constantă. Din acest motiv în studiile și cercetările întreprinse în această direcție, în calitate de caracteristică principală a procesului de compactare prin vibrare a pământurilor nisipoase, s-a considerat tot accelerația vibrațiilor, respectiv raportul dintre accelerația vibrațiilor și accelerația gravitațională (η).

După D.D.Barkan[2], procesul de îndesare sub acțiunea vibrațiilor a unui nisip caracterizat de o porozitate inițială (e_0), poate avea loc numai atunci când accelerația relativă a vibrațiilor depășește o anumită valoare minimă (η_0). Această valoare minimă a accelerației relative a vibrațiilor (η_0) a fost denumită "prag al vibroîndesării" sau "prag al vibrocompactării", iar în baza definiției date de D.D.Barkan, ea depinde numai de porozitatea inițială a materialului. În jurul unei surse de vibrații, îndesarea are loc numai în punctele în care accelerațiile relative (η) sînt mai mari sau cel puțin egale cu η_0 , adică într-o zonă delimitată de o suprafață de egală accelerație ($\eta = \eta_0$).

Deși caracterul dependenței $e = \varphi(\eta)$ este neliniar, prin considerarea în primă aproximație a unei dependențe liniare, D.D.Barkan stabilește și expresiile matematice, atât pentru curba de vibroîndesare, adică variația indicelui porilor (e) în funcție de accelerația relativă a vibrațiilor (η), cât și pentru suprafața care delimitează zona de vibroîndesare.

O.A.Savinov [109] și alți cercetători [16], [17], [37], [56], [132], arată că atât definiția dată de D.D.Barkan pragului de vibroîndesare, cât și expresiile matematice deduse pentru curba de vibroîndesare și suprafața de delimitare a zonei de vibroîndesare, au

un domeniu de valabilitate limitat. Neluarea în considerare a variabilității pragului vibroîndesării (η_0) cu presiunea normală, face ca domeniul de valabilitate a ecuației curbei de vibroîndesare să fie limitat doar la acele cazuri la care încărcarea exterioară lipsește, iar valoarea presiunii din sarcina geologică poate fi neglijată, ceea ce este posibil numai când grosimea stratului supus vibrațiilor este redusă. De asemenea aceeași cauză conduce și la faptul că zona vibroîndesării apare ca fiind delimitată de o suprafață, de egală accelerație. În realitate, nici porozitatea nisipului și nici presiunea normală nu sînt, în general, constante pe grosimea stratului. Acest lucru conduce la o modificare a valorii pragului vibroîndesării și în consecință, nici definiția și nici expresia matematică dedusă de D.D.Barkan pentru suprafața care delimitează zona de vibroîndesare, nu exprimă limita reală a acestei zone.

Concluziile rezultate din studiul vibroîndesării pămînturilor nisipoase, cu luarea în considerare a stării de eforturi din masiv, se pot rezuma la următoarele aspecte principale:

- valoarea pragului vibroîndesării depinde de porozitatea inițială a nisipului, graficul dependenței $e = \psi(\eta)$ prezentînd un palier pînă cînd accelerația relativă atinge valoarea η_0 , după care porozitatea începe să scadă (fig.1.22);

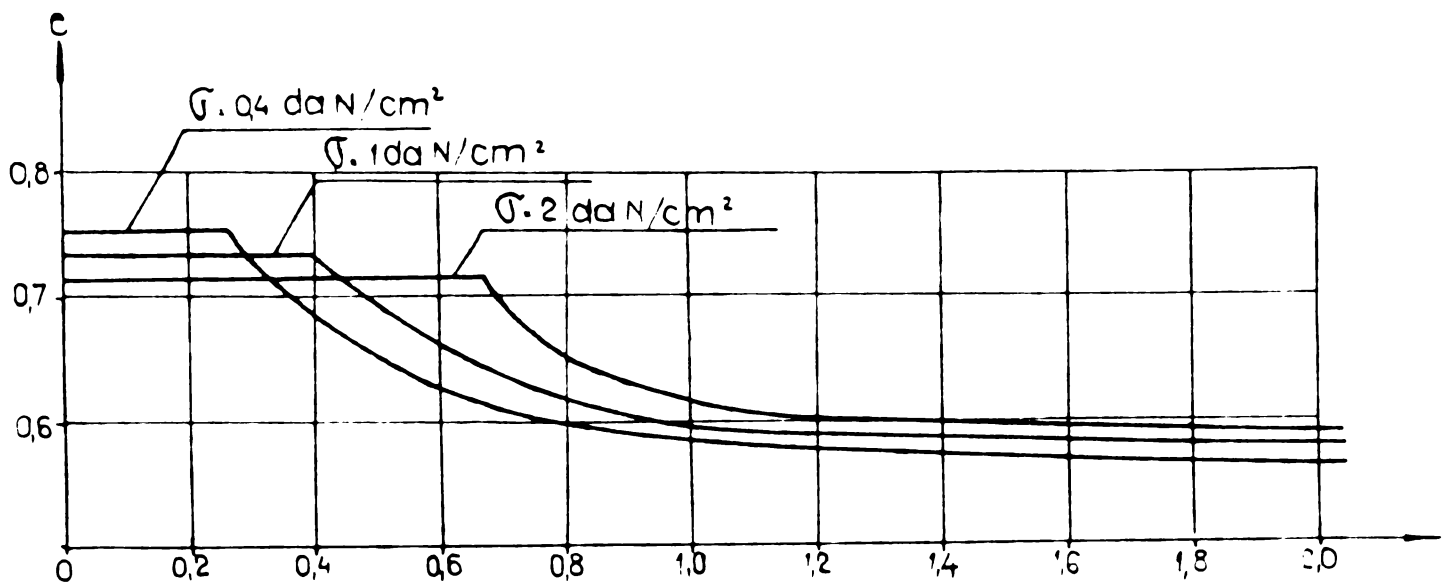


Fig.1.22. Variația $e = \psi(\eta)$ pentru diverse valori a presiunii normale (σ).

- pentru porozități aproximativ egale, valoarea pragului de vibroîndesare depinde de mărimea presiunii normale aplicate; în prima aproximație această dependență fiind liniară, mai ales pentru nisipuri de îndesare redusă [109];

- există o valoare limită a accelerației relative a vibrațiilor (η_{lim}), de la care vibroîndesarea corespunzătoare unei anumite presiuni normale de încărcare, practic rămâne constantă;

- pentru porozități inițiale aproximativ egale și accelerații relative $\eta > \eta_{lim}$, vibroîndesarea realizată este aproximativ aceeași pentru un domeniu relativ larg de valori ale presiunii normale.

Din aspectele prezentate mai sus rezultă că valoarea minimă a accelerației relative a vibrațiilor, respectiv "pragul de vibroîndesare", de la care începe procesul de îndesare a unui pământ necoeziv, depinde nu numai de porozitatea inițială (e_0), ci și de starea de eforturi, la care este supus pământul respectiv, adică presiunea normală (σ). Prin urmare definiția completă a noțiunii de prag al vibroîndesării, ar fi: "accelerația relativă minimă a vibrațiilor (η_0) pentru care un pământ necoeziv (nisip) începe să se îndese, în condițiile unei încărcări determinate".

În mod critic se poate menționa faptul că în literatura de specialitate se studiază în general în mod separat modificarea rezistenței la forfecare și procesul de compactare, sub acțiunea vibrațiilor. Cele două aspecte sînt însă interdependente și se condiționează reciproc în cazul pământurilor necoezive, deoarece reducerea frecărilor interioare sub efectul vibrațiilor permite îndesarea sub acțiunea greutății proprii și a presiunii de încărcare exterioară (σ), iar această îndesare la rîndul său conduce la sporirea ulterioară a frecării dintre fragmente. Așa cum de altfel a rezultat și din aspectele prezentate în subparagraful 1.2.1, fenomenele sînt legate între ele și separarea lor în mod artificial, nu este indicată.

Un alt aspect critic, sesizat foarte bine de O.A.Savinov [109], este că în cazul pământurilor nisipoase supuse acțiunii vibrațiilor, terminologiile de "compresibilitate dinamică" sau "proprietăți vibrocompresionale" sînt mai puțin potrivite. După cum se știe una din caracteristicile distinctive a acestei categorii de pământuri este compresibilitatea lor relativ redusă la încărcări statice și dinamice, atît timp cît nu se produce distrugerea structurii și reșezarea fragmentelor componente. La acțiunea sarcinilor dinamice sub formă de vibrații (cu $\eta > \eta_0$), compactarea care se produce este condiționată în principal de distrugerea structurii nisipurilor și de reșezarea fragmentelor, fiind însoțită de modificări însemnate a densității în sens de mărire a acesteia. De aceea se consideră că în cazul nisipurilor

este mai corect să se vorbească despre "compactabilitatea" sau "îndesarea" pământurilor nisipoase sub acțiunea vibrațiilor, decât de "compresibilitate dinamică" sau "vibrocompresibilitate".

Pentru studiul proprietăților dinamice de rezistență și de stabilitate a pământurilor, în special a rezistenței la compresiune dinamică, în ultimul timp se acordă o atenție din ce în ce mai mare metodelor și tehnicilor de cercetare bazate pe aplicarea acțiunii dinamice sub formă de impulsuri individuale de scurtă durată, sau de serii limitate de impulsuri [14], [38], [39], [57], [60], [114], [115], [130], [139]. În principiu acestea constau în studiul rezistenței la compresiune în funcție de viteza sau ritmul de încărcare sub formă de impulsuri, încercările efectuându-se în diverse aparate, de tip "monoaxial" și în special de tip "triaxial". Cîteva concluzii și constatări desprinse din astfel de încercări, se expun pe scurt în cele ce urmează.

Astfel A. Casagrande și V. Z. Schanon [14], studiind proprietățile mecanice ale pământurilor, la încărcări statice și dinamice asemănătoare cu prima undă a tensiunilor provocate de explozii, au efectuat o serie de încercări monoaxiale și triaxiale pe argile de diferite consistențe, la care durata minimă de încărcare sub formă de impulsuri individuale a fost de 0,01 secunde. În urma cercetărilor efectuate a rezultat că rezistența la compresiune dinamică a pământurilor, pentru o durată a încărcării de 0,02 sec., este mai mare decât rezistența la compresiune statică (corespunzătoare unei perioade de încărcare de 10 minute). La argile slabe (slab consolidate) valoarea rezistenței la compresiune dinamică depășea aproape de două ori pe cea statică. Cu cât pământul argilos analizat era mai rezistent (mai compact) această depășire a scăzut ca valoare, iar la nisipuri depășirea a fost doar de 10%.

În urma unor cercetări analoage R. V. Whitman [139], constată că la nisipuri uscate și umede, prin micșorarea timpului de încărcare de la cîteva secunde pînă la 0,05 sec., rezistența la compresiune dinamică crește în proporție doar de 10-15 %. Micșorarea ulterioară a timpului de încărcare pînă la 0,005 sec., practic nu a dus la o modificare esențială a rezistenței la compresiune dinamică. S-a constatat de asemenea că la nisipuri saturate, influența vitezei de încărcare asupra modificării rezistenței la compresiune dinamică este mai accentuată.

Rezultatele cercetărilor întreprinse de R. Olson și H. Kane [60], privind studiul rezistenței la forfecare a argilelor încercate în aparate de compresiune triaxială, la care durata încărcării

sub formă de impulsuri ale diferenței tensiunilor principale a variat între 10 sec și 0,003 sec, au confirmat concluziile expuse mai sus.

Avînd în vedere și aspectele prezentate în subparagrafele 1.2.1. și 1.2.2, se poate sublinia că în studiul proprietăților de rezistență și de stabilitate a pămînturilor supuse la acțiuni dinamice sub formă de vibrații și de impulsuri individuale de scurtă durată, rezultatele apar ca fiind contradictorii: la acțiunea vibrațiilor se observă în general o reducere substanțială a rezistenței la forfecare, iar la acțiunea impulsurilor individuale de scurtă durată, odată cu creșterea vitezei de încărcare, se obține o majorare însemnată a rezistenței la compresiune, în comparație cu rezultatele încercărilor statice corespunzătoare.

În multe cazuri practice însă apare necesitatea studiului proprietăților de deformabilitate a pămînturilor, supuse acțiunii unui număr mare de impulsuri de scurtă durată și de diferite intensități. Chiar dacă la acțiunea impulsului individual pămîntul poate să manifeste o rezistență sporită, în urma acțiunii impulsurilor ulterioare, în pămînt pot să apară deformații suficiente pentru distrugerea structurii și micșorarea rezistenței sale [113], [114], [115]. De aceea o mare parte a cercetărilor din literatura de specialitate [38], [39], [57], [96], [113], [114], [115], [130] ș.a, se referă la studiul proprietăților de rezistență și de stabilitate a pămînturilor coezive și necozive (fenomenul de lichefiere), supuse la acțiunea uneia sau mai multor serii limitate de impulsuri de scurtă durată.

Deși volumul de rezultate oferit de literatura de specialitate este destul de mare, generalizarea unor concluzii certe privind aspectul cantitativ al modificării rezistenței la compresiune dinamică în comparație cu cea statică, atunci cînd acțiunea dinamică este aplicată sub formă de impulsuri, este încă dificilă. Aceasta în mare parte din cauză că există un domeniu de variație destul de mare a rezultatelor obținute de diverși autori, uneori chiar și contradictorii. Se poate sublinia doar că, în general în cazul unor pămînturi argiloase tinere, la care pot apărea și fenomene de tixotropie, rezistența la compresiune dinamică corespunzătoare încărcării cu serii de impulsuri de scurtă durată, este mai mică decît cea statică [57], [115]. La pămînturile coezive bine consolidate, rezistența la compresiune dinamică este apropiată ca valoare de cea statică, diferența variînd între 5% - 20% [57].

Sub aspect calitativ, ca o concluzie generală se poate menționa că proprietățile de rezistență și stabilitate a pământurilor supuse la serii limitate de impulsuri de scurtă durată, sînt funcție de tipul pământului, de starea fizică a acestuia, de intensitatea acțiunii, de durata unui ciclu și de numărul impulsurilor. Din acest motiv este necesar, ca aprecierea acțiunii impulsurilor repetate asupra proprietăților diverselor pămînturi, să se facă pentru fiecare caz concret, prin cercetări experimentale speciale de laborator sau de teren.

1.3. Aplicarea tehnicii vibrării la executarea unor lucrări de geotehnică și de fundații

Rezultatele studiilor și cercetărilor privind comportarea pămînturilor la acțiuni dinamice sub formă de vibrații, respectiv **influența** acestora supra modificării unor caracteristici fizice și mecanice ale pămîntului, au permis ca tehnica vibrării să fie folosită din ce în ce mai mult în ultimele două decenii, la rezolvarea multor probleme de geotehnică și fundații, cu bune rezultate tehnice și economice. În categoria acestora se pot menționa în primul rînd lucrările de vibroînfigere și de vibroextragere a piloților, palplanselor, tuburilor precum și compactarea prin vibrare a pămînturilor nisipoase.

Studiul, cercetarea, dezvoltarea și aplicarea tehnicii vibrațiilor ca metodă de lucru pentru înfigeri în teren și extrageri a diverselor elemente, aparține pentru început cercetătorilor sovietici [1], [68]. Astfel în anul 1935, au loc primele încercări de laborator asupra introducerii și extragerii cu ajutorul vibrațiilor unidirecționale în lungul axei elementului, făcute de către Institutul Unional de Cercetări științifice pentru fundații din Moscova. Cercetările care au urmat, au constituit premisele dezvoltării teoriei procesului staționar de înfigere prin vibrare a corpurilor fără rezistență frontală. Începînd cu anul 1949, metoda vibrării a început să fie aplicată cu succes pe marile șantiere ale Uniunii Sovietice.

În încercarea de a stabili o teorie unitară referitoare la metoda înfigerii și extragerii prin vibrare cercetătorii sovietici s-au lovit de complexitatea fenomenelor care însoțesc procesul de înfigere și extragere. Pentru început în literatura de specialitate sovietică își fac loc două teorii referitoare la această problemă.

Una dintre aceste teorii, creată de D.D.Barkan, constă în studierea influenței vibrațiilor asupra frecării interioare a pământurilor nisipoase, stabilind că sub această influență particulele de pământ primesc o mobilitate mare datorită presiunii de agitație, pământul devenind un mediu vâscos. D.D. Barkan consideră că proprietățile acestui mediu vâscos pot fi caracterizate printr-un coeficient de "vibrovâscozitate", dependent de natura pământului și de accelerația vibrațiilor. În felul acesta D.D. Barkan reduce o problemă extrem de complexă, la problema înfigerii unui corp într-un mediu vâscos, stabilind unele relații referitoare la viteza de înfigere, forța de frecare care acționează pe suprafața laterală a elementului, etc.

A doua teorie, datorată mai multor cercetători sovietici dintre care se pot numi în primul rând I.Neimak [58], [59], I.I. Blehman [11], [12], M.I.Kușuli și A.V.Sleahtin [46], pleacă de la ipoteza că sub acțiunea vibrării elementului care se înfige, în pământul din imediata sa vecinătate, nu apare nici un fel de modificare bruscă a caracteristicilor fizice și mecanice. Altfel spus, autorii acestei teorii consideră că între suprafața laterală a elementului (pilot, palplanșă, tub) și pământul din jur are loc o frecare uscată. Plecând de la această ipoteză și considerând că rezistențele, laterală și frontală, ale pământului sînt constante și nu depind de amplitudinea și frecvența vibrațiilor, iar cea frontală este independentă și de adîncime, I.I.Blehman stabilește de asemenea relații de calcul a adîncimii maxime de înfigere, a vitezei medii și a duratei de înfigere și extragere a piloților.

Printr-o serie de lucrări ulterioare, cu caracter de cercetare și de producție, efectuate atît de cercetători sovietici, putînd cita alături de D.D.Barkan [5], [6], pe O.Ia.Sehter, G.Efremov O.A.Savinov, A.Preobrajenskaia, ș.a. cît și de către cercetătorii din alte țări [9], [18], printre care și din țara noastră [68], [69], [73], [74], teoriile de înfigere și extragere prin vibrare au fost corectate și îmbogățite cu noi elemente și relații de calcul, verificate și confirmate în practică.

În mare parte cercetările ulterioare s-au axat atît pe aspecte referitoare la fenomenele fizice caracteristice procesului de înfigere și de extragere prin vibrare, cît și pe cele legate de perfecționarea continuă a tehnologiilor de lucru și a utilajelor vibratoare necesare. Prin studiul unor aspecte principale cum ar fi: rezistențele, laterală și frontală, ale pământului în timpul

înfigerii, forța de frecare la extragere, dependența vitezei și a adâncimii de înfigere de parametrii vibrațiilor și de natura pământului, s-au adus reale contribuții la definitivarea teoriei înfigerii și extragerii prin vibrare, plecându-se în general de la forma primară dată de D.D.Barkan. Pe de altă parte volumul mare de date experimentale acumulate, a permis stabilirea unor corelații de legătură între parametrii utilajelor vibratoare și natura pământului, respectiv caracteristicile geometrice ale elementelor, folosite cu succes în practica de proiectare și de execuție a acestor utilaje.

Astăzi, folosirea tehnicii vibrării pentru înfigerea și smulgerea palplanselor, înfigerea piloților și coloanelor, este larg răspândită, într-un număr mare de țări ale lumii, obținându-se performanțe tehnice și economice mult superioare față de procedeele clasice.

În paralel cu aplicarea în producție a tehnologiilor de înfigere a piloților și coloanelor prin vibrare, evident că au continuat și cercetările, care în momentul de față sînt îndreptate în mare parte spre stabilirea unor metode de calcul a capacității portante, a elementelor introduse în teren prin vibrare.

O largă aplicabilitate și-a găsit tehnica vibrării în domeniul lucrărilor de compactare, în special a pământurilor necoezive.

După cum s-a arătat în subparagraful 1.2.1., sub acțiunea vibrațiilor coeficientul de frecare interioară a nisipului scade, totodată avînd loc și un proces de reșezare a fragmentelor de nisip. Prin această reșezare, masa de nisip primește după vibrare o stare mult mai compactă, avînd loc o creștere importantă a capacității portante și a stabilității sale. De aceea tehnica vibrării este folosită cu succes atît pentru compactări de suprafață cît și de adîncime.

Pentru compactarea de suprafață se folosesc de regulă plăci vibratoare sau cilindri compresori vibranți. Din studiile și cercetările privind compactarea de suprafață prin vibrare [4], [41], [47], [55], [73], [93], au rezultat unele concluzii utile aplicării în practică a acestui procedeu. Astfel s-a constatat că gradul de îndesare crește continuu odată cu mărirea accelerației vibrațiilor, pînă la valori ale acesteia în jur de ($4 \div 6$ g), după care se menține aproximativ constant. Prin sporirea presiunii statice, eficacitatea compactării prin vibrare crește. Cu creșterea adîncimii, respectiv a grosimii stratului, compactarea de suprafață prin vibrare scade, motiv pentru care ea este eficientă pentru straturi de grosime pînă în jur de maxim 1-1,5 m. De asemenea, această metodă este rațională

și eficientă numai pentru pământuri necoezive și slab coezive, a căror conținut de argilă nu depășește 5 ÷ 6% .

Compactarea de adâncime a terenurilor de fundare alcătuite din nisipuri afânate și saturate, sau din diverse umpluturi artificiale, este o problemă destul de complicată, la rezolvarea căreia tehnica vibrării se folosește de asemenea cu succes. Astfel pentru compactarea unor depozite alcătuite în general din pământuri necoezive sau slab coezive saturate se folosesc astăzi, atât în străinătate cât și în țară [28], [76], [77], [124], [128], o serie de procedee bazate pe tehnica vibrării, cum ar fi: coloane de nisip sau de balast executate prin vibrare, compactarea prin explozii, vibroflotația, vibroînțeparea, etc.

Fără a diminua cu nimic importanța și rezultatele bune obținute prin celelalte procedee, în continuare se vor prezenta în mod sintetic unele considerații, referitoare la procedeul de compactare a nisipurilor prin vibroînțepare [5], [50], [78], asupra căruia autorul a întreprins unele cercetări mai în detaliu la scară de laborator și de teren [78] .

Folosirea metodei vibroînțepării, inițiată pentru prima dată în URSS [5], [50], îmbunătățește modul de transmitere al vibrațiilor în masa de pământ nisipos, contribuind astfel la o uniformizare mai accentuată a compactării și la realizarea unui grad de îndesare mai mare. În principiu metoda constă în introducerea prin vibrare în teren a unei carcasi metalice spațiale (fig.1.23), menținerea ei în stare de vibrare la adâncimea introdusă o perioadă de timp stabilită, și apoi extragerea ei cu viteză redusă și uniformă tot prin vibrare. În această situație sursa de vibrații (vibratorul care este fixat rigid de placa de prindere a carcasi) rămâne deasupra suprafeței terenului, iar transmiterea vibrațiilor în masiv se realizează prin carcasa spațială respectivă.

Studiile și cercetările experimentale proprii au urmărit stabilirea unor criterii de apreciere a eficacității metodei de compactare a nisipurilor prin vibroînțepare. În acest sens într-un ștend special amenajat (fig.1.24) la scară de laborator, s-a determinat extinderea zonelor influențate de vibrații și gradul de îndesare obținut în diferite puncte din aceste zone, în funcție de parametrii sursei vibratoare și timpului efectiv de vibrare.

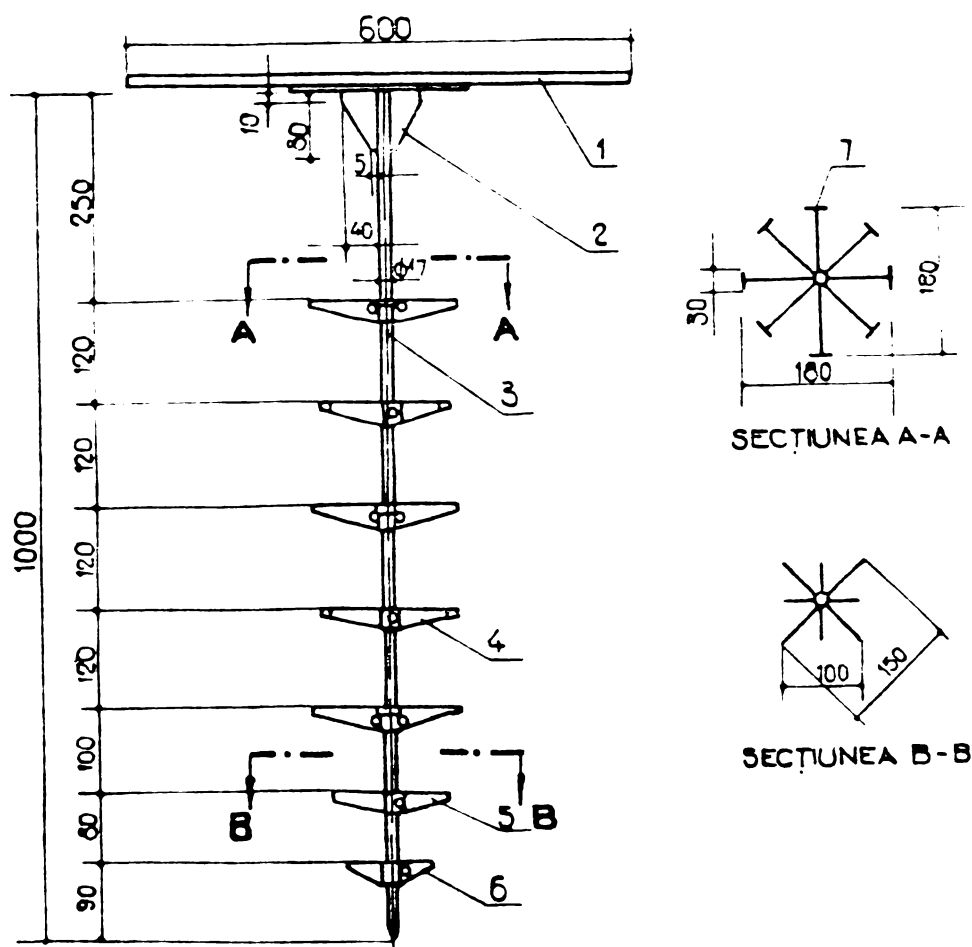


Fig.1.23. Carcasa metalică spațială folosită la încercări de compactare prin vibroînțepare.
1-placa de prindere; 2-nervura; 3-țeava; 4, 5, 6-elemente horizontale
7-aripioare.

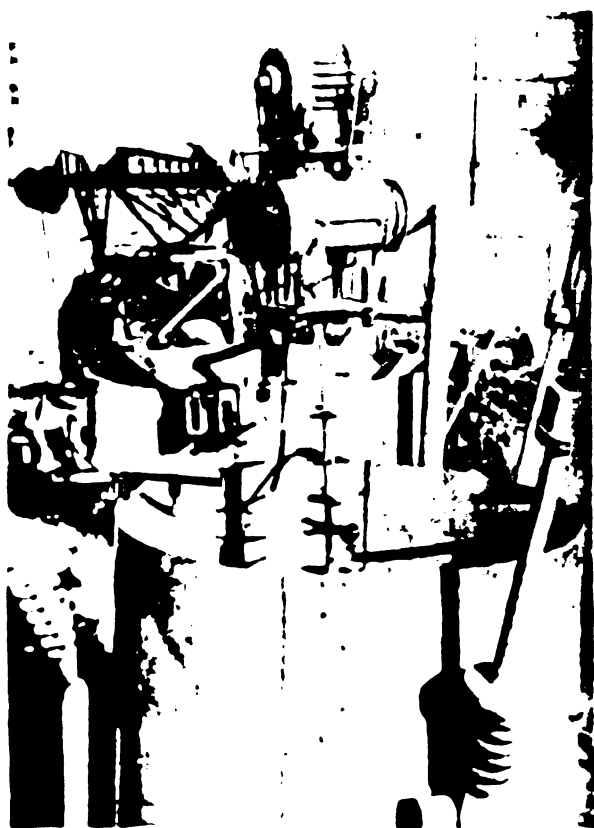


Fig.1.24. Imagine a ștendului de încercare

Pentru încercări s-a folosit nisip mijlociu, relativ uniform ($U_n \approx 2,7$ - fig.1.25).

Pentru fiecare încercare, la introducerea nisipului în vasul cilindric al ștendului de încercare, s-au determinat valorile medii ale densității în stare uscată (ρ_{d1}), cifrei porilor (e_1) și ale gradului de îndesare (I_{D1}), corespunzătoare stării inițiale.

În vederea stabilirii efectului vibroînțepării asupra compactării, încercările au fost conduse pornind de la diferite stări de îndesare inițiale a materialului. Parametrii sursei vibratoare și timpii de

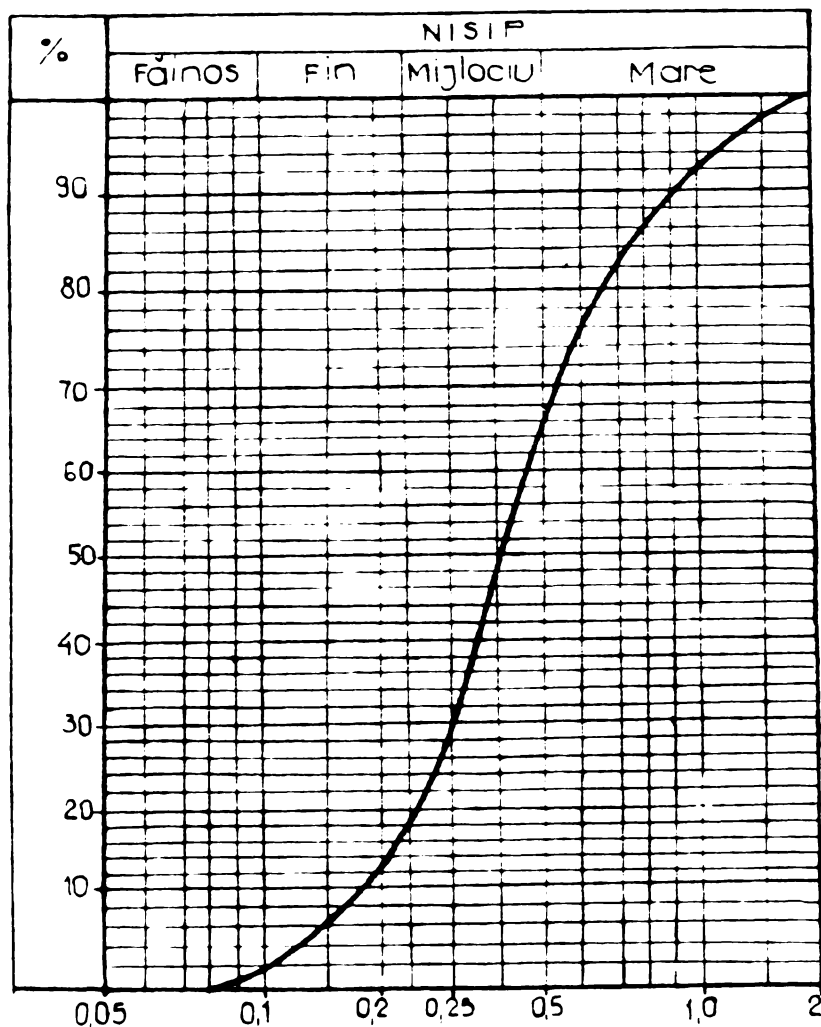


Fig.1.25. Curba granulometrică a nisipului folosit la încercări

vibrare (la introducere, menținere în adâncime și extragere) au fost variabili.

Ca generator de vibrații s-a folosit un vibrator cu momentul static al maselor excentrice de 37 daNm și cu turație variabilă de la 620 rot/min la 966 rot/min.

Verificarea stării de îndesare finală s-a făcut prin încercări de penetrare dinamică, penetrările fiind executate în centrul vasului (adică locul de înfigere a carcasei metalice spațiale) și radial, la distanțe din 10 în 10 cm. De asemenea de la diverse niveluri

de adâncime au fost recoltate probe netulburate, pentru care s-au determinat valorile medii finale ρ_{df} , e_f și I_{df} . Prin corelarea acestor valori cu rezultatele obținute prin penetrări dinamice, s-au determinat suprafețele cu același grad de îndesare.

Pentru determinarea compactării diferențiate a volumului de nisip, s-au executat și încercări de forfecare, folosind aparatul de forfecare cu palete (încercări vane-test), încercările efectuându-se în centrul volumului și la distanță de 30 cm în direcție radială.

Prin urmărirea și măsurarea tasării suprafeței nisipului, s-a obținut alura pîlniei de compactare care se formează și s-a calculat o valoare medie a gradului de îndesare pentru întregul volum de nisip.

În tabelul 1.2. se prezintă rezultatele cantitative pentru un lot de 21 de încercări, avînd ca termen de comparație valorile

medii ale densității în stare uscată (ρ_d) și ale gradului de îndesare (I_D), corespunzătoare stării de îndesare inițiale și finale.

Tabelul 1.2.

Valori medii ρ_s și I_D obținute la compactarea prin vibroîntepere

Nr. încercări	Starea de îndesare medie inițială. $\frac{\rho_{di}}{I_{di}}$	Adâncimea de recoltare a probelor. [cm]	Timpii de vibrație		Starea de îndesare diferențiată pe zone					Starea de îndesare medie finală $\frac{\rho_{df}}{I_{df}}$
			în nisip [min]	pentru extrag. [min]	în centru $\frac{\rho_d}{I_d}$	10 cm de ax $\frac{\rho_d}{I_d}$	20 cm de ax $\frac{\rho_d}{I_d}$	30 cm de ax $\frac{\rho_d}{I_d}$	40 cm de ax $\frac{\rho_d}{I_d}$	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	$\frac{1,35}{0,16}$	44	6	3	$\frac{1,605}{0,71}$	$\frac{1,586}{0,66}$	$\frac{1,465}{0,43}$	$\frac{1,385}{0,26}$	-	$\frac{1,420}{0,35}$
2	$\frac{1,43}{0,31}$	42	6	4	$\frac{1,69}{0,83}$	$\frac{1,605}{0,71}$	$\frac{1,59}{0,68}$	$\frac{1,495}{0,50}$	$\frac{1,44}{0,38}$	$\frac{1,47}{0,44}$
3	$\frac{1,45}{0,37}$	41	5	3	$\frac{1,632}{0,74}$	$\frac{1,59}{0,68}$	$\frac{1,505}{0,49}$	$\frac{1,455}{0,38}$	-	$\frac{1,48}{0,47}$
4	$\frac{1,45}{0,40}$	38	5	5	$\frac{1,69}{0,84}$	$\frac{1,657}{0,78}$	$\frac{1,58}{0,65}$	$\frac{1,523}{0,55}$	$\frac{1,465}{0,43}$	$\frac{1,50}{0,50}$
5	$\frac{1,47}{0,44}$	46	3	3	$\frac{1,632}{0,74}$	$\frac{1,59}{0,68}$	$\frac{1,575}{0,64}$	$\frac{1,495}{0,50}$	$\frac{1,48}{0,47}$	$\frac{1,505}{0,52}$
6 ^{xx}	$\frac{1,47}{0,44}$	41	3	3	$\frac{1,63}{0,73}$	$\frac{1,59}{0,68}$	$\frac{1,58}{0,65}$	$\frac{1,523}{0,55}$	$\frac{1,515}{0,53}$	$\frac{1,505}{0,52}$
7 ^x	$\frac{1,47}{0,44}$	45	6	5	$\frac{1,715}{0,87}$	$\frac{1,657}{0,78}$	$\frac{1,595}{0,69}$	$\frac{1,515}{0,53}$	-	$\frac{1,535}{0,57}$
8	$\frac{1,48}{0,45}$	46	3	6	$\frac{1,72}{0,88}$	$\frac{1,675}{0,82}$	$\frac{1,59}{0,68}$	$\frac{1,54}{0,58}$	$\frac{1,515}{0,53}$	$\frac{1,535}{0,57}$
9 ^{xx}	$\frac{1,515}{0,53}$	41	3	3	$\frac{1,645}{0,77}$	$\frac{1,58}{0,65}$	$\frac{1,54}{0,58}$	$\frac{1,505}{0,52}$	-	$\frac{1,55}{0,60}$
10	$\frac{1,515}{0,53}$	35	3	3	$\frac{1,645}{0,77}$	$\frac{1,59}{0,68}$	$\frac{1,55}{0,60}$	$\frac{1,525}{0,56}$	$\frac{1,515}{0,53}$	$\frac{1,56}{0,62}$
11 ^x	$\frac{1,55}{0,56}$	38	3	5	$\frac{1,675}{0,82}$	$\frac{1,67}{0,80}$	$\frac{1,59}{0,68}$	$\frac{1,568}{0,63}$	$\frac{1,525}{0,56}$	$\frac{1,575}{0,64}$
12 ^{xx}	$\frac{1,55}{0,56}$	38	3	3	$\frac{1,657}{0,78}$	$\frac{1,615}{0,72}$	$\frac{1,58}{0,67}$	$\frac{1,525}{0,56}$	$\frac{1,515}{0,53}$	$\frac{1,57}{0,63}$
13	$\frac{1,51}{0,53}$	34	5	3	$\frac{1,71}{0,81}$	$\frac{1,68}{0,77}$	$\frac{1,58}{0,62}$	$\frac{1,56}{0,58}$	-	$\frac{1,54}{0,60}$
14	$\frac{1,555}{0,55}$	30	3	6	$\frac{1,72}{0,84}$	$\frac{1,70}{0,81}$	$\frac{1,675}{0,75}$	$\frac{1,595}{0,66}$	-	$\frac{1,605}{0,70}$
15	$\frac{1,545}{0,54}$	30	3	6	$\frac{1,71}{0,82}$	$\frac{1,69}{0,80}$	$\frac{1,65}{0,72}$	$\frac{1,61}{0,64}$	$\frac{1,56}{0,58}$	$\frac{1,58}{0,68}$

Continuarea tabelului 1.2

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16	$\frac{1,40}{0,28}$	35	3	5	$\frac{1,63}{0,75}$	$\frac{1,59}{0,69}$	$\frac{1,51}{0,53}$	$\frac{1,46}{0,43}$	$\frac{1,41}{0,29}$	$\frac{1,52}{0,53}$
17	$\frac{1,46}{0,42}$	30	3	5	$\frac{1,72}{0,85}$	$\frac{1,69}{0,78}$	$\frac{1,58}{0,68}$	$\frac{1,53}{0,57}$	$\frac{1,49}{0,48}$	$\frac{1,54}{0,58}$
18	$\frac{1,47}{0,45}$	40	3	2	$\frac{1,595}{0,69}$	$\frac{1,56}{0,63}$	$\frac{1,54}{0,58}$	$\frac{1,48}{0,47}$	$\frac{1,465}{0,46}$	$\frac{1,495}{0,50}$
19	$\frac{1,47}{0,45}$	40	3	5,5	$\frac{1,70}{0,85}$	$\frac{1,67}{0,82}$	$\frac{1,59}{0,68}$	$\frac{1,54}{0,59}$	$\frac{1,52}{0,56}$	$\frac{1,545}{0,585}$
20	$\frac{1,515}{0,53}$	38	3	6	$\frac{1,71}{0,86}$	$\frac{1,645}{0,77}$	$\frac{1,599}{0,69}$	$\frac{1,554}{0,61}$	$\frac{1,535}{0,57}$	$\frac{1,565}{0,62}$
21	$\frac{1,515}{0,53}$	38	3	6	$\frac{1,745}{0,91}$	$\frac{1,67}{0,81}$	$\frac{1,657}{0,78}$	$\frac{1,588}{0,66}$	$\frac{1,56}{0,62}$	$\frac{1,605}{0,70}$

^xLa încercările 7 și 11 turația excentricilor a fost de 620 rot/min iar la celelalte de 966 rot/min.

^{xx}La încercările 6,9,12 extragerea carcăsei metalice spațiale s-a făcut prin ridicări și coborâri succesive, în prezența vibrațiilor

Evidențierea mai clară a concluziilor desprinse din aceste cercetări și încercări experimentale, rezultă din urmărirea figurilor 1.26, 1.27 și 1.28, unde este redată prelucrarea grafică a rezultatelor unora dintre încercările efectuate.

Astfel din fig. 1.26, unde sînt prezentate comparativ rezultatele a două încercări efectuate în aceleași condiții, dar pornind de la stări de îndesare inițiale diferite, rezultă că majorarea gradului de îndesare pentru întregul volum de nisip, depinde și de valoarea inițială a acestuia. Se observă că această majorare este mai ridicată pentru stări de îndesare inițiale mai reduse, însă extinderea înspre lateral a zonei de îndesare compactă este mai redusă.

În figura 1.27 sînt prezentate în mod comparativ rezultatele unor încercări de compactare prin vibroînțepare, la care s-a pornit de la aceeași stare de îndesare inițială, dar timpii de extragere prin vibrare a instalației de compactare au fost diferiți.

Din analiza curbelor care delimitează domeniul "compact", rezultă sporirea eficacității compactării cu mărirea duratei de extragere prin vibrare, extinderea zonei de îndesare compactă înspre lateral fiind mai mare. Această concluzie se desprinde și din rezultatele prezentate în tabelul 1.2, dacă se compară extinderea acestei zone pentru diferiți timpii de extragere.

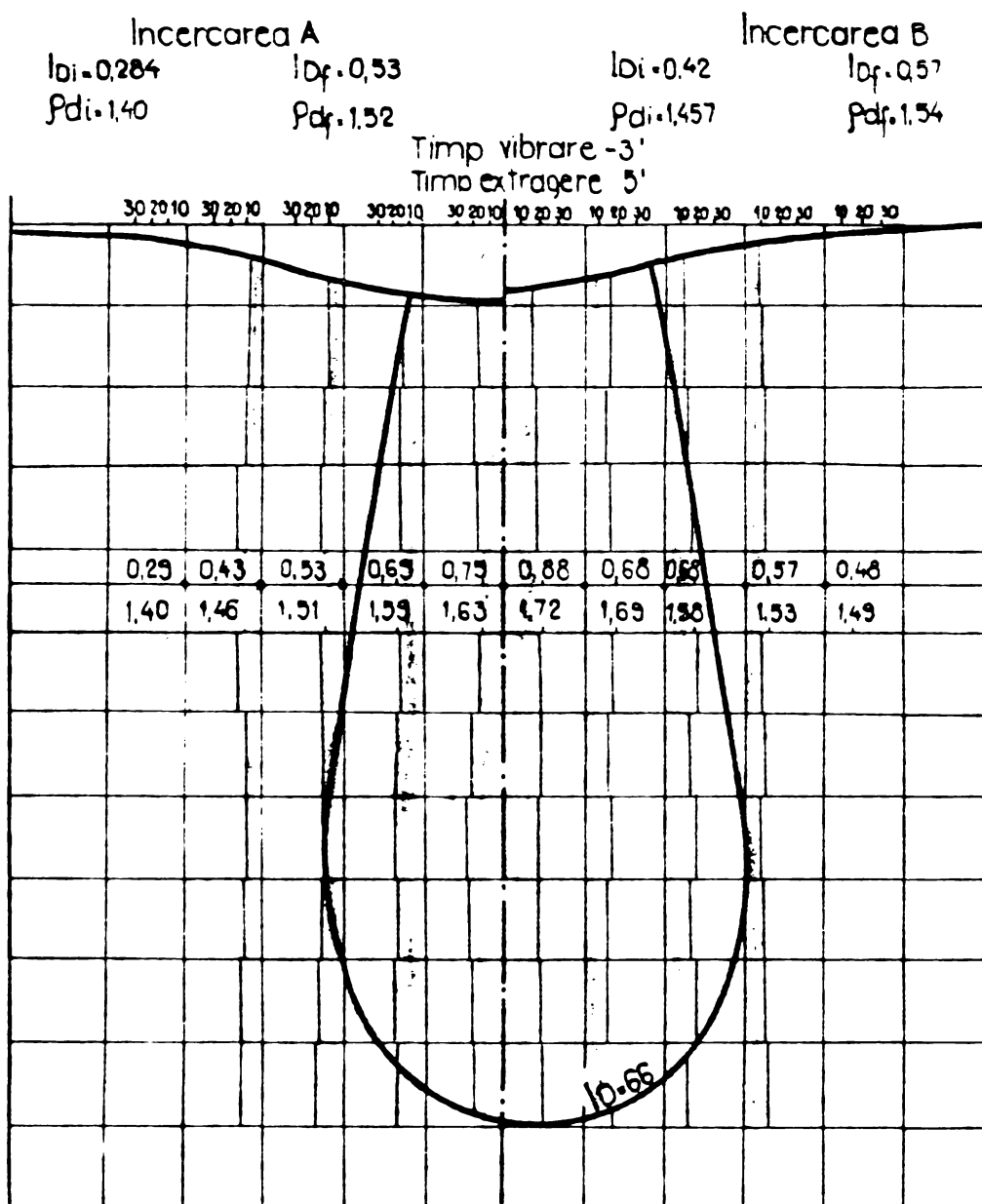


Fig.1.26. Diferențierea compactării în funcție de starea de îndesare inițială

Deoarece scăderea vitezei de extragere peste o anumită limită conduce la reducerea productivității metodei, în baza cercetărilor făcute se poate recomanda o viteză de extragere de 25 - 30 cm/minut și o mărime a duratei de vibrație în adâncime, pînă la 5 minute.

După cum se poate observa din figurile 1.26 și 1.27, în zona de suprafață a volumului de nisip, extinderea zonei de îndesare compactă înspre lateral este mai redusă, în comparație cu cea corespunzătoare unor niveluri situate la diverse adâncimi. Îmbunătățirea compactării și în această zonă, se poate realiza prin aplicarea unei presiuni statice la suprafața nisipului.

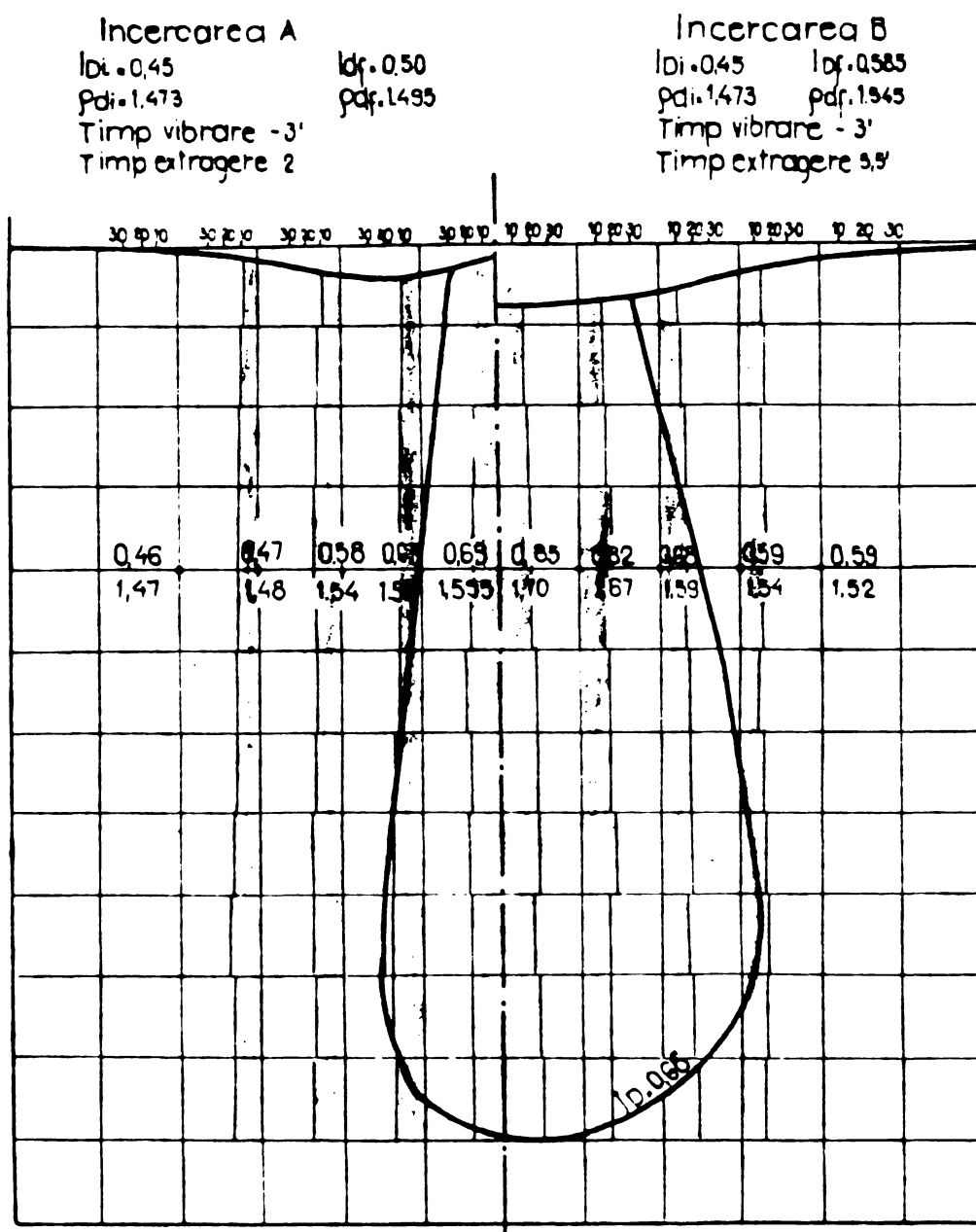


Fig.1.27. Diferențierea compactării în funcție de timpul de extragere prin vibrație

În figura 1.28 se pune în evidență îmbunătățirea calității compactării în zona apropiată de suprafață, prin intercalarea între instalația de compactat și generatorul de vibrații a unei plăci metalice rigide, care la introducerea completă a instalației ajunge în contact cu suprafața nisipului, exercitând o presiune statică de cca $0,05 \text{ daN/cm}^2$. Sub influența vibrațiilor, placa are tendința de a pătrunde în masa de nisip, exercitând astfel și o compactare de suprafață suplimentară, fapt care evident conduce la o extindere mai mare înspre lateral a zonei de îndesare compactă și în apropierea suprafeței.

Pe baza cercetărilor întreprinse se pot prezenta în mod sintetic următoarele concluzii principale referitoare la compactarea de adâncime a nisipurilor saturate prin metoda vibrofînțepării:

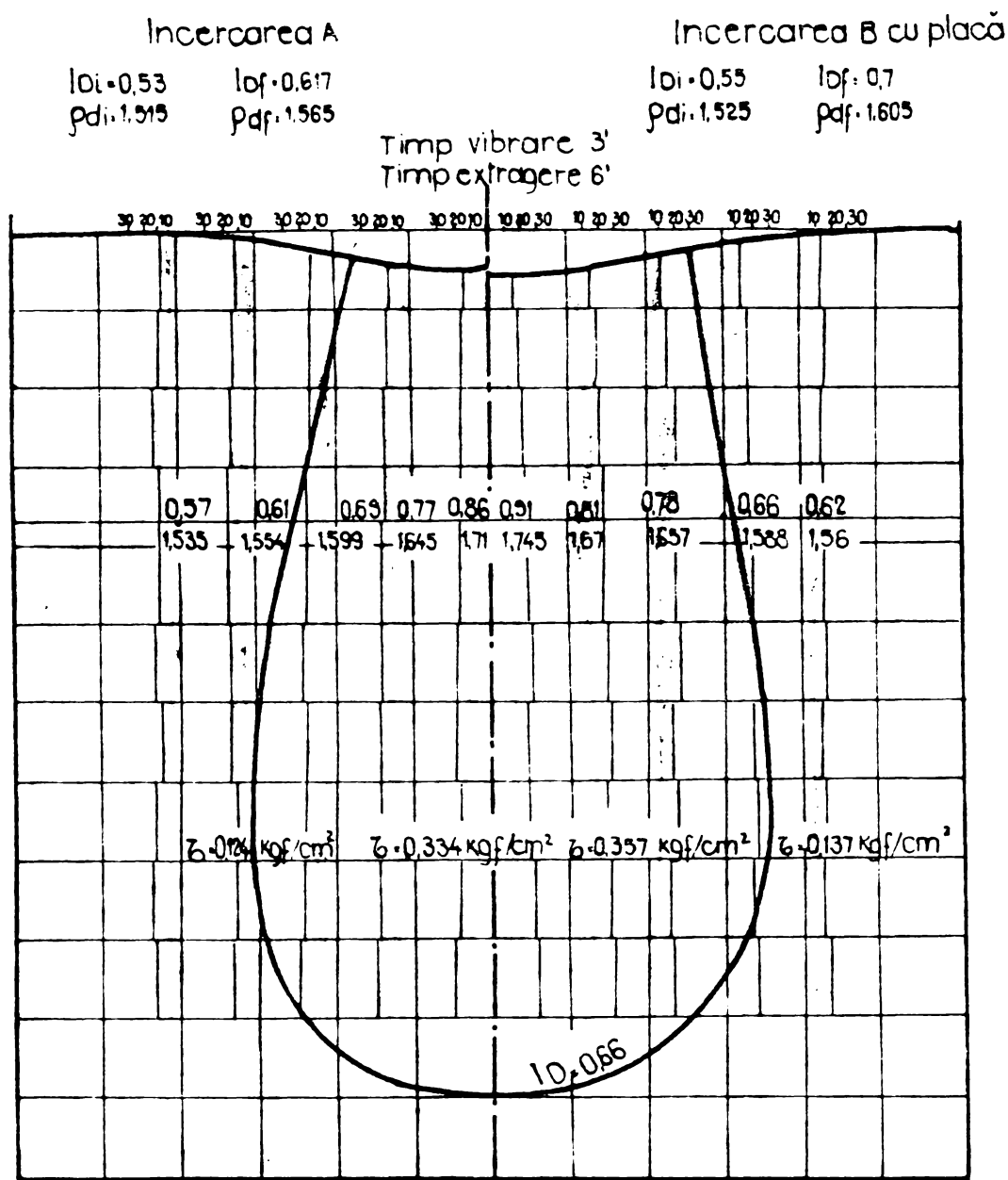


Fig.1.28. Influența presiunii statice de suprafață asupra calității compactării

- gradul de îndesare realizat este influențat în cea mai mare măsură de viteza de extragere a instalației, recomandându-se o viteză de 30 cm/minut, după o vibrație în adâncime timp de 4-5 minute;

- efectul compactării scade cantitativ cu creșterea gradului de îndesare inițial; creșterea medie a gradului de îndesare final este de 60-75 % pentru nisip afînat și de 25-40% pentru nisip cu îndesare mijlocie, ajungîndu-se în final la grade de îndesare cu valori apropiate;

- compactarea crește în adâncime, fiind mai redusă pentru zona de suprafață, motiv pentru care se recomandă realizarea unei presiuni statice de suprafață, fie prin montarea unei plăci rigide

la partea superioară a instalației, fie prin creerea unei presiuni geologice prin prezența unui strat la suprafață a cărui compactare nu interesează; ținând seama de proporționalitatea directă între rezultatele obținute cu instalația de vibroînțepare la scară de laborator și o instalație la scară de producție, cu lungimea tijei centrale de 6,00 m, respectiv a nervurilor de cca 1,00 m, pentru realizarea unui grad de îndesare compact, vibroînțepările trebuie făcute la distanțe de 2,5 - 3,0 m, iar pentru îndesare medie, la distanța de 4 - 5 m.

- durata unui ciclu pentru obținerea unui grad de îndesare corespunzător domeniului "compact", compus din introducerea, vibrația în adâncime și extragerea instalației cu o viteză în jur de 30 cm/minut, rezultă de 10-15 minute pentru adâncimi de compactare de 4,0 m și 15-20 minute pentru adâncimi de 6,0 m; în aceste condiții productivitatea metodei este de 150-200 m³/oră, corespunzătoare obținerii unei stări de îndesare medie - compactă.

Aceste concluzii au constituit premisele stabilirii tehnologiei de lucru și a aplicării în producție de către catedra de Drumuri și Fundații, a metodei vibroînțepării pentru compactarea terenurilor de fundare, la diverse obiective de construcții, în special din Municipiul Timișoara, unde în anumite zone stratificația cuprinde straturi de nisipuri fine și mijlocii saturate și cu stare de îndesare redusă. În fig.1.29 se prezintă o imagine de aplicare

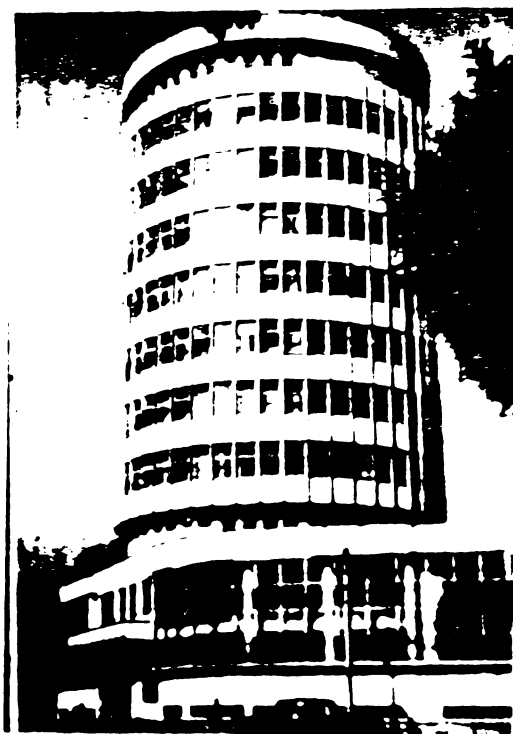


Fig.1.29. Imagine din timpul compactării prin vibroînțepare

Fig.1.30. Corpul înalt al clădirii Institutului de Sudură Timișoara

în producție a metodei de compactare în adâncime prin vibroînțepare, iar în fig.1.30 o clădire înaltă la care compactarea terenului de fundare s-a realizat prin metoda vibroînțepării, după tehnologia și cu asistență tehnică a catedrei de Drumuri și fundații a Facultății de Construcții din Timișoara.

Un alt domeniu în care tehnica vibrării a început să fie folosită cu bune rezultate tehnice și economice, este cel al vibroforării pământurilor, respectiv al execuției atât a forajelor verticale de mică adâncime, cât și a forajelor orizontale sau înclinate, destinate diverselor scopuri.

1.4. Stadiul actual al aplicării tehnicii vibrării la lucrări de vibroforare

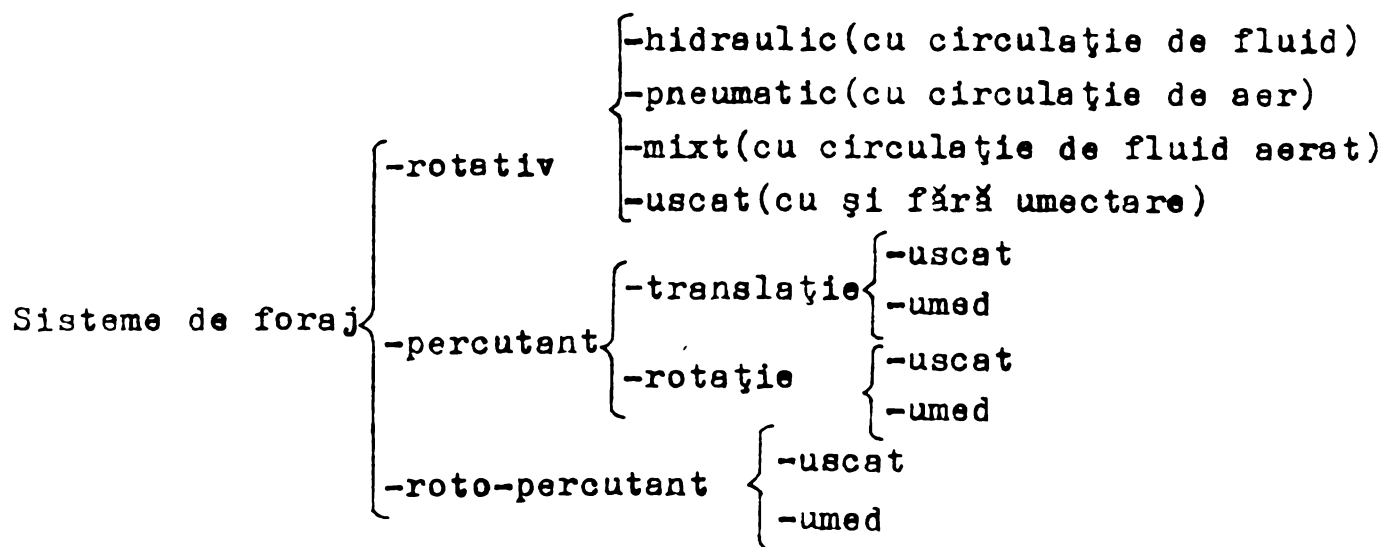
1.4.1. Lucrări și sisteme de foraj

Extinderea sferei de aplicabilitate a lucrărilor de foraj este o cerință stringentă a etapei actuale și de perspectivă pentru economia țării noastre. În prezent, este unanim recunoscut că lucrările de foraj nu pot lipsi din multe domenii de bază ale activității productive: minerit, prospecțiuni geologice și hidrogeologice, construcții, etc.

În domeniul construcțiilor forajele sînt necesare pentru rezolvarea unei game foarte diversificate de lucrări: cercetarea geotehnică a terenurilor de fundare, consolidarea terenurilor de fundare prin injectare de lianți și substanțe chimice, subtraversarea cu conducte și cabluri a terasamentelor, drenuri orizontale forate, ancoraje pretensionate fixate în teren, puțuri de apă, etc.

Instalațiile de foraj (sondezele sau forezele) și tehnologiile de execuție a forajelor, respectiv sistemele de forare depind atât de natură și alcătuirea geologică a rocilor în care se execută, cât și de destinația pe care o au forajele respective (foraje geotehnice, foraje geologice, foraje seismice, etc).

O clasificare integrală care să includă toate variantele de sisteme de foraj este dificil de făcut, datorită atît numărului mare a acestora, cât și a criteriilor diferite după care se poate face clasificarea. Pentru sistemele clasice de foraj, care se folosesc mai frecvent și la lucrări din domeniul construcțiilor, se poate face totuși o clasificare de principiu, după schema de mai jos [15]:



La sistemul de foraj rotativ, hidraulic sau pneumatic, circulația fluidului de foraj sau a aerului, folosite pentru eliminarea detritusului din foraj, poate fi directă sau inversă [36]. Ca variante a forajului rotativ uscat se pot menționa printre altele sistemul de forare cu șnec, cu burghie sau linguri, etc.

În domeniul construcțiilor, cu excepția lucrărilor de consolidare prin injectare a terenurilor de fundare pentru unele construcții hidrotehnice și a puțurilor de apă, predomină în general forajele cu adâncime redusă (până la 30 m) care sînt folosite atît pentru cercetarea geotehnică a terenului de fundare, cît și pentru execuția altor lucrări de fundații (coloane de balast, piloți turnați la fața locului etc.). Dintre sistemele de foraj clasice se folosesc cu predilecție sistemul rotativ, umed sau uscat, funcție de destinația forajelor și natura pămînturilor în care se forează.

Executarea atît a forajelor geotehnice, cît și a celorlalte destinate lucrărilor din domeniul construcțiilor, cu sistemele clasice, necesită un volum mare de muncă (dintre care și manuală, fiindcă deși poate părea anacronic, procedeul manual de forare aplicat la executarea forajelor de mică adâncime în pămînturi, este încă în actualitate), o durată relativ mare, ceea ce duce evident la un preț de cost ridicat și la întîrzierea proiectării și executării unor astfel de lucrări. Acest lucru a condus la cercetarea, experimentarea și aplicarea în practică a unor noi metode și tehnologii de executare a forajelor destinate diverselor lucrări din domeniul construcțiilor.

Una dintre metodele care s-au impus și se impun tot mai mult cu privire la mecanizarea și accelerarea multor procese și operații ale executării forajelor în pămînturi, este metoda vibroforării [97], [116]. În principiu metoda constă în introducerea

instrumentului de vibroforare (carotiera) în teren, sub acțiunea vibrațiilor sau vibropercuțiilor, precum și a greutateii proprii a ansamblului vibrator-garnitură de foraj și extragerea carotierei cu pământul recoltat. Experimental s-a constatat [138], că raportul $V_v : V_n > 1,25$, unde prin V_v s-a notat viteza mecanică de forare prin vibrații, iar prin V_n , viteza mecanică de forare fără vibrații.

Generatorul de vibrații (vibratorul sau vibropercutorul) poate fi montat pe prăjine de foraj (alcătuită din tije), la suprafață sau în adâncime, în practică aplicându-se mai mult prima variantă datorită simplității sale.

1.4.2. Stadiul actual de dezvoltare și de aplicare a metodei vibroforării pe plan mondial

Dezvoltarea cea mai accentuată a metodei vibroforării a avut loc în URSS, unde în momentul de față această metodă are o largă aplicabilitate în practica lucrărilor de construcții. Volumul lucrărilor de foraje executate prin această metodă a crescut vertiginos, fiind estimat la nivelul anului 1972, la peste 450 mii m.l. [97]

Fiind propusă încă din anul 1950 de către D.D. Barkan și V.M. Tupicov, metoda vibroforării s-a dezvoltat în continuare pe baza studiilor și cercetărilor efectuate de către diverși cercetători: M.G. Efremov, [19], P.F. Palianov, [62], B.N. Gumenskii și N.S. Komaro [26], O.A. Savinov și A.Ia. Lușkin [110], etc.

Aportul cel mai substanțial în studiul și cercetarea diverselor aspecte ale metodei vibroforării, se poate atribui lui M.B. Rebrik, care începând cu anul 1960 s-a ocupat nemijlocit de această problemă, contribuind din plin prin lucrările sale, [97], [98], [99], [100], ș.a., la perfecționarea și aplicarea în producție a acestei metode.

În Uniunea Sovietică, în momentul actual există o gamă destul de largă de instalații de vibroforare, bazate în general pe vibratoare și vibropercutoare de joasă frecvență, cu care sînt dotate o seamă de unități de cercetare, proiectare și de execuție, din domeniul construcțiilor, în special cele care se ocupă cu cercetarea tehnico-geologică și geotehnică a terenului de fundare.

Din datele oferite de literatura de specialitate rezultă că metoda vibroforării a început să fie studiată și chiar aplicată în producție și în alte țări ale lumii (R.S. Cehoslovacia, R.P. Polonă, R.D. Germană, Franța, Statele Unite ale Americii, R.F. Germania, Japonia ș.a.).

În R.S.Cehoslovacia, primele studii și cercetări experimentale privind forarea prin vibrație au apărut în jurul anilor 1958 - 1960. Specialiștii cehoslovaci au acordat atenție mare atât calculului mecanismelor vibratoare cât și tehnologiilor de recoltare a probelor prin vibroforare. Relevând avantajele vibroforării J.Hrîdy [34], arată că ea oferă posibilități mai bune de păstrare a proprietăților structurale de bază a probelor recoltate, în comparație cu oricare alt procedeu clasic de forare. Se mai poate menționa de asemenea că, specialiștii cehoslovaci au acordat atenție creerii unor vibroinstalații, destinate atât executării forajelor geotehnice cu recoltări de probe (vibroinstalația VS-VZS-1), cât și altor lucrări de fundații (piloți tip VUIS) [141].

În Republica Populară Polonă tehnica vibrării a fost folosită numai pentru înfigerea și extragerea piloților și tuburilor, utilizându-se diverse tipuri de vibratoare sau vibropercutoare mecanice (VS-3A, VS-6). Ulterior au fost create alte tipuri de vibropercutoare (VS-8V, VS-9), destinate și executării forajelor de adâncime mică (până la 10-15 m), în roci moi [24], [35]. Pe baza vibropercutorului VS-8V, a fost creată vibroinstalația autotractată AV-1, folosită cu succes de către unitatea "Geoproiect" din Varșovia pentru executarea forajelor geotehnice cu recoltări de probe. Viteza mecanică de forare a vibroinstalației este în jur de 1,3 m/min [35].

Execuția forajelor prin metoda vibrării a început să fie practică și în R.D.Germană, în particular putându-se menționa instalația SKV-50, care are o funcționare complexă permițând executarea forajelor prin diverse procedee, printre care și cel prin vibrație.

Referitor la aplicarea tehnicii vibrării la executarea unor lucrări geotehnice și de fundații, printre care și lucrări de forare, se cuvine a se sublinia o particularitate specifică, existentă în unele țări (SUA, Anglia, RFG etc), care constă în aceea că predomină folosirea unor vibromecanisme cu frecvențe înalte (peste 3000 oscilații pe minut).

În SUA prin studiile și cercetările întreprinse de A.G.Boden și mai ales de J.E.Sanders [104], [105], [106], au fost patentate o serie de vibroinstalații destinate diverselor scopuri, printre care și executarea forajelor în roci nestănoase. Pentru executarea de foraje prin metoda vibrării, J.E.Sanders a folosit vibratorul VT-31, cu o forță perturbatoare variabilă de la 3420 N la 9000 N și turație a excentricilor de 3600 rot/min.

Se pot menționa de asemenea instalațiile complexe de vibroforare create de firma "Soniko" care au fost experimentate în regiunile Colorado și New Orleans. Aceste instalații sînt echipate cu vibratoare de frecvență mare, turația excentricilor variînd de la 4000 rot/min la 6000 rot/min. Diametrul forajelor executate cu aceste instalații este de 95 mm.

În Anglia și Olanda au fost create de asemenea unele instalații vibratoare, care au început să se folosească pentru executarea forajelor în roci nestîncose. Unele dintre aceste instalații sînt echipate cu cîte două vibratoare a căror forță perturbatoare totală este de cca 8000 N. Experimentarea instalațiilor s-au soldat cu rezultate bune, asigurînd executarea eficientă a forajelor cu adîncimi de 12-18 m și diametru de 168 mm, precum și o calitate satisfăcătoare a probelor de pămînt extrase. Pentru înfigerea tuburilor metalice de diametre mari (1000-1500 mm) și adîncimi de 18-24 m, în Anglia se folosesc cu succes vibroînfigătoarele electrice produse de firma "Calweld" [14].

Firma "Loire" din Franța a creat un agregat de vibrare, folosit și la executarea forajelor cu diametre relativ mari (pînă la 650 mm). Vibratorul cu care este echipat agregatul poate produce atît oscilații longitudinale cît și de răsucire, cu o frecvență reglabilă de la 160 la 1460 oscilații/min. Au fost realizate de asemenea și alte propuneri de vibroinstalații pentru executarea forajelor în roci moi [102].

În Republica Federală a Germaniei la firma "Erdbohrer pe Kate" a fost construit un utilaj echipat cu un ciocan pneumatic, destinat forării și recoltării probelor de pămînt.

Prin introducerea efectivă în producție a diferitelor vibratoare și vibropercutoare (în particular V-1, V-2 ș.a) de către firma "Mitsubishi", se poate considera că au fost create premisele folosirii și în Japonia, a tehnicii vibrării la executarea lucrărilor de construcții, printre care și lucrări de forare [143].

1.4.3. Avantajele metodei vibroforării și concluzii privind necesitatea studiului ei

Din scurta trecere în revistă a stadiului de dezvoltare și de aplicare în practica construcțiilor a metodei vibroforării, metodă inițiată după cum s-a mai spus de către specialiștii și inginerii sovietici, rezultă că această metodă a suscitat și suscită

În continuare un mare interes în multe țări ale lumii, în rîndul cărora se include și țara noastră. Evident că acest interes este justificat de avantajele tehnico-economice pe care le prezintă această metodă, în comparație cu metodele clasice de forare, în special pentru foraje de adîncime redusă, executate în roci nestîncioase de natură pămînturilor, lucrări frecvent întîlnite în practica proiectării și executării construcțiilor.

Avantajele metodei vibroforării rezultă și din analiza datelor prezentate în tabelul 1.3, după [97], referitoare la productivitatea lucrărilor de forare executate în URSS prin diverse procedee, pe o perioadă de mai mulți ani.

Tabelul 1.3.

Volumul de lucrări de forare și productivitatea corespunzătoare diverselor procedee de forare

Procedee de forare	Volumul forajelor pe ani [mii m.l.]				Productivitatea medie pe ani [m.l./schimb]				Productiv. medie generală [ml/schimb]
	1965	1967	1969	1971	1965	1967	1969	1971	
Forare manuală prin lovituri și răsucire	1440	1580	1432	1300	6,0	11,3	13,1	12,2	10,65
Forare prin lovituri cu cablu și dispozitiv de forare inelar	903	1156	1190	1370	10,2	12,2	14,0	15,4	12,95
Forare prin lovit. cu cablu și disp. de forare cu secț. plină	42	45	46	100	2,0	2,7	2,8	3,3	2,70
Forare rotativă	76	24	20	40	5,0	6,0	6,5	8,9	6,60
Forare cu șneac	594	844	744	800	16,4	20,0	19,3	27,6	18,32
Vibroforare	208	280	390	440	32,0	34,0	33,9	34,6	33,62

Din datele prezentate se observă că productivitatea metodei vibroforării este de cca 1,8 ori mai mare decît cea corespunzătoare procedeeului de forare cu șneac (33,62 ml/schimb, față de 18,32 ml/schimb), procedeu care are productivitatea cea mai mare dintre cele considerate.

Inafară de eficiență ridicată, concretizată în viteză mecanică de forare mare, metoda vibroforării prezintă și avantajul că la forajele geotehnice, chiar și în cazul unui regim de vibroforaj neriguros ales, ea oferă posibilitatea stabilirii cu exactitate ridicată a limitelor litologice ale stratelor de pământ străbătute (până la 0,1 m grosime), precum și a sesizării tuturor particularităților structurale ale profilului geotehnic cercetat [19], [79], [101].

Din literatura de specialitate consultată, ca de altfel și din cele prezentate în paragraful anterior, a reieșit că există totuși unele diferențieri în modul de abordare și de conducere a studiilor și cercetărilor asupra problemei vibroforării, de către diverși cercetători, fapt confirmat și de varietatea relativ mare de instalații și dispozitive, folosite în cadrul încercărilor experimentale. Această diferențiere evidențiază în primul rând faptul că nu toate aspectele legate de metoda vibroforării au fost și sînt pe deplin clarificate, mai ales în cazul folosirii ei la executarea forajelor geotehnice, unde parametrii de care depinde eficiența ei tehnică și economică, sînt mai numeroși și mai greu de corelat.

Avantajele metodei vibroforării pe de o parte, iar pe de altă parte necesitatea elucidării unor aspecte neclare, referitoare atît la fenomenele fizice care au loc în pământ în timpul procesului de vibroforare, cît și la tehnologia de lucru propriuzisă, au constituit motivele pentru care autorul a încercat să studieze și să cerceteze mai în detaliu această metodă.

Studiile și cercetările proprii, extinse pe o perioadă de peste 12 ani, bazate atît pe încercări experimentale cît și pe lucrări de producție, s-au axat în principal pe următoarele probleme de principiu:

- studiul tehnologiei de execuție a vibroforării;
- studiul influenței parametrilor vibrațiilor (vibropercuțiilor) asupra vitezei mecanice de vibroforare, în corelație cu natura pământului în care se execută vibroforarea;
- studiul alcătuirii constructive a carotierelor în funcție de natura pământului și influența acestora asupra gradului de modificare a caracteristicilor geotehnice a probelor recoltate prin vibroforare;
- studiul influenței parametrilor vibrațiilor (vibropercuțiilor) asupra gradului de modificare a caracteristicilor geotehnice a probelor recoltate prin vibroforare;
- extinderea sferei de folosire și aspecte tehnico-economice

ale metodei vibroforării.

În cercetările și studiile efectuate pentru rezolvarea dezideratelor propuse, s-a pornit de la unele concluzii și considerații de ordin teoretic și fenomenologic, privind tehnica vibrării în general și, procesul de vibroforare în particular, oferite de literatura de specialitate consultată, și de unele cercetări proprii, a căror prezentare și analiză s-a încercat parțial să se facă în acest prim capitol și va continua în capitolele următoare ale lucrării. Prezentarea în detaliu a metodologiei de cercetare, a echipamentelor și instalațiilor vibratoare folosite, a modului de prelucrare și de interpretare a rezultatelor, precum și a concluziilor desprinse vor constitui obiectul celorlalte capitole ale lucrării.

Se menționează că o bună parte din rezultatele și concluziile obținute de autor sau cu concursul său pe parcursul efectuării cercetărilor, au fost comunicate în unele sesiuni științifice, respectiv publicate în reviste de specialitate din țară și din străinătate, sau incluse în studii și referate elaborate în cadrul catedrei pe bază de contracte de cercetare științifică, încheiate cu diverși beneficiari [27], [32], [79], [80], [81], [82], [83], [84], [85], [86], [87], [116].

De asemenea aplicarea metodei vibrării la executarea forajelor geotehnice și hidrogeologice, cu recoltări de probe tulburate și netulburate, a fost aprobată ca inovație, de către Consiliul Superior al Agriculturii, Departamentul Îmbunătățiri Funciare, în anul 1969, iar lucrării "Foraje geotehnice și puțuri hidrogeologice executate cu ajutorul mecanismelor vibratoare" (înscrisă în lista bibliografică la nr.81) i-a fost atribuit premiul I al MEI în anul 1969.

În încheierea acestui capitol se mai poate sublinia și faptul că, în baza cercetărilor efectuate de către autor privind aplicarea metodei vibroforării la execuția drenurilor orizontale forate, catedra de Drumuri și Fundații a Facultății de Construcții din Timișoara a elaborat "Instrucțiuni tehnice pentru executarea drenurilor orizontale prin vibroforare", aprobate pe plan național de către Inspectoratul de Stat pentru Directivare și Control în Proiectarea și Executarea Construcțiilor și publicate în Buletinul Construcțiilor nr.11/12 din anul 1976, sub indicativul C.178, [144].

CAPITOLUL II

BAZELE FIZICE SI TEORETICE ALE PROCESULUI SI TEHNOLOGIEI DE VIBROFORARE A PAMINTURILOR

2.1. Fenomene fizice caracteristice procesului de înfigere și extragere prin vibrații și vibropercuții

După cum s-a mai arătat, principiul metodei vibroforării constă în introducerea în teren a instrumentului de forare (carotieră sau vîrf conic), în prezența vibrațiilor sau a vibropercuțiilor generate de un vibromecanism, montat la partea superioară a garniturii de foraj, și apoi extragerea acestuia.

Intre fenomenele fizice care însoțesc înfigerea (extragerea) în pămînt a diverselor elemente, prin vibrații pure și prin vibropercuții, există unele deosebiri principale.

În cazul vibrațiilor pure înfigerea elementului are loc sub o forță constantă, dată de masa elementului (la vibroforare, garnitura de foraj și instrumentul de forare) și masa vibratorului, peste care se poate suprapune o forță suplimentară neinerțială, dacă aceasta există (funcție de sistemul constructiv al vibratorului). Prezența vibrațiilor contribuie doar la reducerea rezistenței opuse de pămînt la înfigerea elementului, rezistență care se manifestă atât lateral (pe suprafața laterală), cît și frontal (pe secțiunea transversală a elementului),

Referitor la reducerea rezistenței laterale datorită acțiunii vibrațiilor se pot sublinia în principiu două fenomene distincte. Primul dintre aceste două fenomene, se referă la reducerea frecării dintre cele două medii care vin în contact, datorită mișcării vibratorii a elementului care se înfige sau se extrage, mișcare în care sînt antrenate și particulele de pămînt din imediata vecinătate a suprafeței laterale a elementului.

Explicitarea acestui fenomen, se poate face relativ simplu pe baza schemei de calcul prezentată în fig.2.1.

Asupra punctului material M de masă m, se consideră că acționează o forță statică constantă \bar{Q} (nearătată în fig.2.1), a cărei mărime este superioară forței de frecare, provocînd astfel mișcarea punctului M cu o viteză \bar{u} . Totodată punctul material M este supus și unei mișcări vibratorii, viteza oscilațiilor într-un moment oarecare fiind \bar{v}_d . Direcția oscilațiilor poate fi coliniară

cu viteză \bar{u} , sau decalată cu unghiul φ . Determinînd pe celea

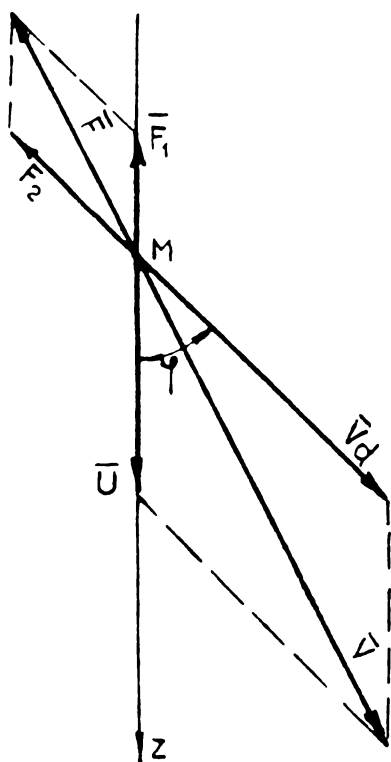


Fig.2.1. Schemă de calcul

compunerii vectoriale rezultanta vitezei punctului M, sub acțiunea celor două cauze, se obține mărimea \bar{v} , căreia îi corespunde forța de frecare \bar{F} , îndreptată în sens invers vectorului viteză (\bar{v}).

Prin descompunerea forței de frecare totale \bar{F} , după direcțiile \bar{u} și \bar{v}_d se obțin cele două componente \bar{F}_1 și \bar{F}_2 . Prima componentă a forței de frecare (\bar{F}_1), este egală în valoare absolută și inversă ca direcție cu forța statică constantă \bar{Q} . Cea de a doua componentă a forței de frecare (\bar{F}_2), este anulată de prezența mișcării vibratorie, generată de vibroînfigător.

Astfel, rezultă destul de clar, că prin aplicarea vibrațiilor este posibilă mișcarea sub acțiunea unei forțe statice

\bar{Q} , a cărei mărime este inferioară forței de frecare \bar{F} .

Dacă legea de variație a modulului vitezei oscilațiilor se consideră de forma:

$$v_d = v_o \sin(\omega t), \quad (2.1)$$

unde ω , reprezintă viteza unghiulară de rotație a excentricilor vibroînfigătorului, atunci viteza medie a mișcării punctului sub acțiunea unei forțe statice (Q), a cărei valoare este mai mică decât cea a forței de frecare ($Q < F$), se poate exprima [97], cu relația:

$$u_{med} = \frac{2 v_o Q^2}{(F^2 - Q^2)} \sqrt{\cos^2 \varphi + \frac{F^2 - Q^2}{Q^2}} \quad (2.2)$$

Pentru cazul cînd $\varphi = 0$, adică atunci cînd direcția oscilațiilor coincide cu direcția de acțiune a forței statice Q , relația de mai sus, dedusă și valabilă pentru condiția că masa punctului considerat este mică, ia forma următoare:

$$u_{med} = \frac{2 v_o Q F}{(F^2 - Q^2)} \quad (2.3)$$

Ca o concluzie la cele prezentate mai sus se poate sublinia că o trăsătură de bază a mecanismelor vibratoare folosite în procesul

de înfigere, constă în reducerea rezistenței laterale condiționată de frecarea dintre element și pământ, făcând posibilă înfigerea sub o forță comparativ mai mică.

Cel de al doilea fenomen provocat de vibrații și care de asemenea contribuie la reducerea rezistenței laterale în procesul înfigerii sau extragerii, ține de modificarea proprietăților coloidale ale pământului din zona învecinată suprafeței laterale a elementului, sub acțiunea deformațiilor de forfecare cu caracter vibratoriu. Aceste modificări intervin în cazul pământurilor argiloase și în special la argile cu proprietăți tixotropice [33], unde intensitatea lor este mai pronunțată, fiind în funcție și de parametrii vibrațiilor.

Rezistența frontală opusă de pământ în timpul înfigerii, este de regulă mai mică decât cea laterală. Cu toate acestea, fenomenele care au loc datorită vibrațiilor și care contribuie la reducerea ei, sînt mult mai complexe. Acest lucru se datorește faptului că rezistența frontală este dependentă nu numai de natura pământului și de dimensiunile geometrice ale elementului care se înfige, ci și de forma secțiunii transversale a vârfului elementului (secțiune plină plană, secțiune plină conică, secțiune inelară). În mod principal se pot menționa și în acest caz cîteva fenomene fizice distincte, care au loc în pământ în zona vârfului elementului, la înfigerea prin vibrații pure.

În primul rînd sub acțiunea vibrațiilor particulele izolate ale pământului execută mișcări cu diferite amplitudini și faze, funcție de mărimea și forma particulelor, precum și de natura legăturilor structurale dintre ele. Aceste deplasări oscilatorii a particulelor conduc la o scădere pronunțată a rezistenței pământului, la acțiunea forței constante, transmisă sub formă de presiune prin vârful elementului. La acțiune relativ mică a forței constante de înfigere, pot avea loc fenomene de distrugere a legăturilor dintre particule, și de compactare locală a pământului, făcînd astfel posibilă înaintarea elementului de înfipt.

În al doilea rînd din cauza vibrațiilor, apar oscilații ale presiunii normale de contact dintre particule și prin aceasta oscilarea forței de frecare dintre ele, care evident că este proporțională cu presiunea normală de contact. La sporirea intensității acestui efect, apare posibilitatea suplimentară de deplasare a particulelor de pământ sub acțiunea unei forțe constante de înfigere,

de mărime relativ redusă.

Prin încălzirea particulelor și presarea unora către altele, poate avea loc și o eliberare a unei cantități din apa legată fizic, îmbogățindu-se conținutul de apă liberă și prin aceasta apărînd o oarecare fluidificare în pămîntul din zona vîrfului elementului înfipt, fenomen care este provocat în primul rînd de efectul vibrațiilor și care depinde ca intensitate și de natura pămîntului.

Un ultim fenomen, legat tot de reducerea rezistenței frontale, care se mai poate sublinia, constă și în acest caz în anumite modificări a proprietăților coloidale la unele categorii de pămînturi argiloase, sub acțiunea deformațiilor de forfecare produse de vibrații, fenomen care în ultimă instanță conduce tot la o oarecare fluidificare a pămîntului.

În cazul cînd la înfigerea elementelor în pămînt se folosesc vibropercuții, aceasta se realizează în principal pe seama distrugerii structurii pămîntului din zona secțiunii transversale frontale a elementului, prin transmiterea loviturilor sub formă de impulsuri de frecvență ridicată (vibropercuții) și parțial pe seama celorlalte fenomene fizice analizate mai sus. La înfigerea unor elemente tubulare (situație care apare și la vibroforarea cu carotiere), zona în care are loc această distrugere a structurii pămîntului este redusă, ea fiind echivalentă cu secțiunea inelară a vîrfului elementului, unde se produce tăierea pămîntului sub efectul vibropercuțiilor și prin aceasta înaintarea elementului în pămînt. Se mai poate menționa deasemenea că, deși înfigerea prin vibropercuții este posibilă și prin lipsa unei forțe constante neinerțiale, aplicate sistemului alcătuit din vibropercutor și elementul de înfipt, prezența acesteia sporește viteza mecanică a înfigerii prin vibropercuții.

2.2. Considerații teoretice asupra procesului de forare prin vibropercuții

La aplicarea în practică a metodei vibroforării pentru executarea unor foraje, care nu sînt destinate cercetării terenurilor de fundare, interesează în primul rînd obținerea unei viteze de vibroforare cît mai ridicate, pentru ca eficiența și productivitatea procedurii să fie cît mai mari. Este evident că acest lucru depinde în cea mai mare măsură de modul de corelare a parametrilor vibroînfigătorului cu natura pămîntului, astfel încît intensitatea fenomenelor fizice provocate de vibrații sau vibropercuții, care însoțesc procesul vibroforării și contribuie la reducerea rezistenței de înfigere să fie cît mai pronunțată.

În cazul forajelor destinate cercetării geotehnice a terenurilor de fundare alcătuite din pământuri argiloase, înafara mărimii vitezei de vibroforare, interesează și creerea unor condiții necesare recoltării de probe de pământ cu structură practic netulburată. Acest lucru impune alegerea unor instrumente de forare adecvate (carotiere, care sînt elemente tubulare cu pereți relativ subțiri prevăzute cu un cuțit tăietor la bază), astfel încît fenomenele fizice analizate anterior, să nu influențeze întreaga secțiune a probelor de pământ recoltate în interiorul carotierei, ci doar zona periferică a acestora. Pe lîngă alcătuirea constructivă a instrumentului de forare, trebuie avut în vedere diametrul acestuia precum și parametrii vibroînfigătorului folosit.

Unele date oferite de literatura de specialitate [19], [26], [34], [66], [79], [97], [98], precum și rezultatele unor cercetări proprii, care se vor prezenta în detaliu în capitolele următoare, arată că pentru executarea forajelor geotehnice cu recoltări de probe netulburate din pământuri argiloase, forarea prin vibropercuții este mai avantajoasă decît cea prin vibrare pură.

2.2.1. Calculul vitezei de forare prin vibropercuții

Analizarea unor aspecte teoretice de calcul a vitezei de forare prin vibropercuții a pământurilor, în particular a pământurilor argiloase, presupune mai întîi adoptarea unui model dinamic corespunzător procesului vibroforării. După cum s-a arătat și în paragraful 1.1.1. din cadrul capitolului I, în dinamica pământurilor au fost create o mulțime de modele dinamice pentru pământ, fiecare descriind într-o măsură mai mare sau mică proprietățile diferitelor tipuri de pământuri. Dat fiind varietatea mare a pământurilor respectiv a proprietăților chiar pentru unul și același tip de pământ, certitudinea alegerii celui mai corespunzător model, se poate obține numai prin compararea rezultatelor teoretice cu cele experimentale.

În practica vibroforării pământurilor, se pot întîlni cele mai diverse tipuri de pământuri, uneori chiar la același foraj, motiv pentru care folosirea la fiecare tip de pământ a modelului dinamic al său, este foarte complicat și practic imposibil de realizat. Acest lucru face ca în practica construcțiilor, respectiv în rezolvarea multor probleme de dinamică a pământurilor și a fundațiilor, să se folosească modele dinamice mai simple, dar cu un grad de universalitate mai mare.

Unul dintre modelele dinamice simple, dar cu posibilități de reprezentare a mării majorități de tipuri de pământuri argiloase, este modelul elasto-plastic al pământului, care se consideră că descrie cu exactitate satisfăcătoare și procesul de forare a pământului prin vibropercuții.

După cum se știe limita de elasticitate a pământurilor este relativ mică, adică chiar la sarcini foarte mici, la marea majoritate a pământurilor se produc pe lângă deformații elastice și deformații plastice (remanente). De asemenea deformațiile elastice reversibile sînt întodeauna mult mai mici decît cele plastice. De aceea în procesul vibroforării, se consideră că ar fi mai potrivit ca prin deformații elastice să se înțeleagă, nu acele deformații reversibile ideale, după care intervin cele remanente ci, acele deformații care se produc în mod real în timpul înaintării instrumentului de vibroforare în pământ și care le însoțesc pe cele remanente.

Modelul dinamic adoptat pentru procesul de forare prin vibropercuții este prezentat schematic în fig.2.2. În faza de începere a vibroforării, cînd adîncimea forajului este mică și garnitura de foraj se poate considera ca fiind rigidă, procesul de forare prin vibropercuții se poate descrie astfel: asupra garniturii de foraj rigide (prăjina de foraj solidarizată cu instrumentul de forare) de masă m_2 , se aplică loviturile masei vibropercutante m_1 , iar energia cinetică dobîndită de garnitura de foraj este consumată pentru învingerea rezistenței pământului la înaintarea instrumentului de forare. Cu alte cuvinte pentru rezolvarea problemei de calcul a vitezei de forare, se poate recurge la legea transformării energiei, cu următoarele precizări de detaliu și ipoteze:

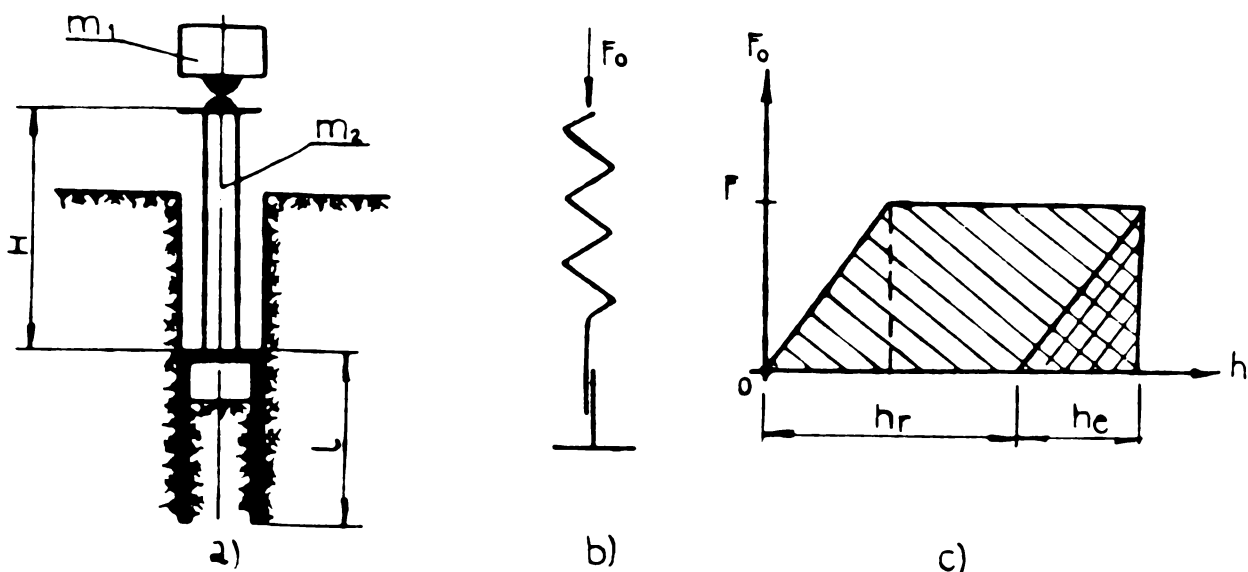


Fig.2.2. Modelul dinamic adaptat pentru forarea prin vibropercuții
a-schema vibroforării; b-modelul elasto-plastic al pământului
c-diagrama de încărcare-deformație

- lovitura(percuția) are loc instantaneu, iar variația vitezei loviturilor se determină cu ajutorul coeficientului de restituire a vitezei, R;

- între masa vibropercutantă de lovire și nicovalea fixată de garnitura de foraj, nu există legătură;

- viteza medie a părții vibropercutante în momentul lovirii nicovalei și numărul loviturilor se consideră cunoscute;

- dispozitivul(instrumentul) de vibroforare se prezintă sub forma de tub(carotieră) cu diametru constant;

- pământul se modelează ca un mediu elasto-plastic, la care inițial se înving rezistențele elastice și apoi cele plastice; deformațiile elastice după fiecare lovitură se consideră că se restabilesc, energia lor dispersându-se, iar cele remanente nu se restabilesc, acumularea lor cantitativă asigurând înaintarea instrumentului de forare;

- înaintea fiecărei lovituri care urmează, prăjina de foraj împreună cu instrumentul de forare se găsesc în repaus.

În baza momentului dinamic adoptat și a ipotezelor făcute, viteza de vibroforare (de înaintare a instrumentului de forare) se poate exprima simplu prin relația:

$$v_{vf} = n h_r \quad (2.4)$$

unde: n - numărul de lovituri(percuții) în unitate de timp, considerat cunoscut;

h_r - înaintarea(pătrunderea) instrumentului de forare sub efectul unei lovituri, adică deformația remanentă a pământului, care trebuie determinată, fiind necunoscută.

Prin aplicarea teoremei transformării energiei, energia cinetică acumulată de instrumentul de forare și consumată pentru învingerea rezistenței opusă la înaintarea sa de către pământ, poate fi explicitată sub forma:

$$E_o = E_e + E_r \quad (2.5)$$

unde: E_o - energia cinetică acumulată de instrumentul de forare după lovire;

E_e - lucrul mecanic consumat pentru producerea deformațiilor elastice ale pământului;

E_r - lucrul mecanic consumat pentru producerea deformațiilor plastice(remanente) ale pământului, respectiv pentru înaintarea instrumentului de forare.

Energia cinetică totală E_o , se poate exprima cu relația cunoscută din mecanică:

$$E_0 = \frac{m_2 v_2^2}{2} \quad (2.6)$$

iar mărimile E_e și E_r , conform fig.2.2 c se pot explicita astfel:

$$E_e = \frac{1}{2} F h_e \quad \text{și} \quad E_r = F h_r \quad (2.7)$$

unde: m_2 - masa garniturii de foraj (prăjină + instrumentul);
 v_2 - viteza inițială de înaintare a instrumentului de forare;
 F - rezultanta forțelor de rezistență ale pământului;
 h_e - mărimea deformației elastice a pământului;
 h_r - mărimea deformației remanente a pământului.

Făcînd înlocuirile necesare, relația generală (2.5) poate fi scrisă sub forma:

$$\frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{1}{2} F h_e + F h_r \quad (2.8)$$

Este evident că relația (2.8) este adevărată doar atunci cînd energia cinetică totală generată de lovitură părții vibropercutante, este suficientă pentru asigurarea înaintării instrumentului de forare în pământ, fiindcă în caz contrar termenul al doilea din membrul drept este egal cu zero.

Aplicînd teoria clasică a percuțiilor, viteza inițială de înaintare (v_2) a instrumentului de forare după lovitură, se poate explicita în funcție de masa (m_1) și viteza loviturii (v_1), a masei vibropercutante în momentul lovirii, prin intermediul coeficientului de restituire a vitezei (R):

$$v_2 = \frac{v_1 (1 + R)}{1 + \frac{m_2'}{m_1}} \quad (2.9)$$

unde: m_2' - masa garniturii de foraj (prăjina + instrument), mărită datorită aderenței pământului din jurul instrumentului de forare.

Raportul de mărire a masei garniturii de foraj datorită aderenței pământului pe suprafața instrumentului de forare, este funcție de natura pământului, respectiv de coeziunea specifică a acestuia. Din studiile și cercetările întreprinse privind înfigerea piloților prin vibropercuții [5], [6], a rezultat că valoarea coeficientului de mărire a masei pilotului datorită aderenței pământului din jur, variază între 1 și 2, în funcție de natura pământului. Dat fiind faptul că lungimea instrumentului de forare este mică în comparație cu garnitura de foraj, iar contactul direct cu pământul din jur are loc numai pe lungimea acestuia, după [97]

coeficientul de sporire a masei datorită aderenței pământului, se poate considera constant pentru toate tipurile de pământuri și cu valoare în jur de 1,20.

În ceea ce privește viteza (v_1) a masei vibropercutante, aceasta este funcție de tipul și parametrii vibroînfigătorului folosit, fiind o caracteristică tehnică a acestuia.

După cum se cunoaște din teoria percuțiilor, respectiv vibropercuțiilor [117], [122], coeficientul de restituire a vitezei (R) are valori $0 \leq R \leq 1$, funcție de caracteristicile materialelor din care sînt confecționate cele două piese: piesa de lovire (ciocanul) și piesa lovită (nicovala). În lipsa unor determinări concrete, pentru materialele folosite la confecționarea celor două piese menționate, în general oțel călit, pentru R se pot lua valori de 0,3 - 0,5 [97].

Forța rezultantă de rezistență a pământului reprezintă suma a două componente: rezistența laterală (F_1) datorată frecărilor pe suprafața laterală a instrumentului de forare și rezistența frontală (F_v), manifestată pe secțiunea transversală de la nivelul vârfului instrumentului de forare.

$$F = F_1 + F_v = S_1 f^n + S_v R^n \quad (2.10)$$

unde: S_1 - suprafața laterală a instrumentului de forare în contact direct cu pământul (din interior și din exterior);

S_v - secțiunea transversală, de la nivelul vârfului, a instrumentului de forare;

f^n - rezistența normată de frecare pe suprafața laterală;

R^n - rezistența normată de compresiune a pământului.

După înlocuirea relațiilor (2.9) și (2.10) în (2.8), prin explicitarea mărimii h_r și introducerea unui coeficient (k_H) care ține seama de variația rigidității garniturii de foraj (tijelor de foraj) în funcție de adîncimea forajului, se obține:

$$h_r = k_H \frac{m_2 v_1^2}{2} \left(\frac{1+R}{1 + \frac{m_2'}{m_1}} \right)^2 \frac{1}{S_1 f^n + S_v R^n} - \frac{h_e}{2} \quad (2.11)$$

Din studiile și cercetările efectuate de către B.P. Răbric [97] a rezultat că pentru foraje cu adîncimi de 10-15 m, executate prin vibroforare, coeficientul k_H se poate considera funcție numai de adîncimea (H) a forajului, după următoarea lege de dependență:

$$k_H = \frac{1}{\sqrt{H}} \quad (2.12)$$

Tinând seama de (2.4) și (2.11), relația de calcul a vitezei de vibroforare (de înaintare a instrumentului de forare) rezultă de forma:

$$v_{vf} = n k_H \frac{m_2 v_1^2}{2} \left(\frac{1+R}{1 + \frac{m_2}{m_1}} \right)^2 \frac{1}{S_1 f^n + S_v R^n} - \frac{n h_e}{2} \quad (2.13)$$

Relația (2.13) sub forma generală prezentată mai sus permite studierea legităților de influență atât a parametrilor vibroînfigătorului și a alcătuirii constructive a instrumentului de forare (carotiera), cât și a naturii pământului, asupra vitezei de forare prin vibropercuții. După cum se observă, viteza de vibroforare este direct proporțională cu pătratul vitezei loviturilor și invers proporțională cu rezistența pământului. La rezistență mare a pământului primul termen al membrului al doilea din relația de mai sus, poate scădea foarte mult apropiindu-se de valoarea celui de al doilea ($nh_e/2$), care din punct de vedere practic este relativ mică. În acest caz viteza de vibroforare tinde spre valoarea zero, ceea ce înseamnă că toată energia acumulată de instrumentul de forare datorită loviturilor masei vibropercutante, se consumă pentru învingerea rezistenței elastice a pământului, ne mai producându-se nici un fel de deformații plastice, care să permită înaintarea instrumentului de forare în pământ.

Asupra primului parametru (viteza loviturilor) de care depinde viteza de vibroforare, se poate acționa prin tipul și caracteristicile tehnice ale vibroînfigătorului, iar asupra celui de al doilea (rezistența pământului), prin tipul și alcătuirea constructivă a instrumentului de forare.

Particularizând mărimile S_1 și S_v din relațiile anterioare, la instrumente de forare de forma unei carotiere cu fante longitudinale și cuțit tăietor la bază, ele se pot explicita sub forma:

$$S_1 = \pi (D+d) l k_1 k_2 \quad (2.14)$$

$$S_v = \frac{\pi (D_1^2 - d_1^2)}{4} \quad (2.15)$$

unde: D și d - diametrul exterior și interior al carotierei;

D_1 și d_1 - diametrul exterior și interior al cuțitului carotierei;

l - lungimea de pătrundere în pământ a carotierei;

k_1 - coeficient de reducere a frecării laterale datorită prezenței fantelor pe lungimea carotierei;

k_2 - coeficient care ține seama de diferența dintre diametrele (exterior și interior) cuțitului și carotierei.

Pe baza relațiilor (2.12), (2.14) și (2.15), formula de calcul a vitezei de vibroforare poate fi scrisă astfel:

$$v_{vf} = \frac{1}{\sqrt{H}} \frac{1}{\frac{\prod f^n (D+d) k_1 k_2}{n \frac{m_2 v_1^2}{2} \left(\frac{1+R}{1 + \frac{m_2}{m_1}} \right)^2} \ell + \frac{\prod R^n (D_1^2 - d_2^2)}{4n \frac{m_2 v_1^2}{2} \left(\frac{1+R}{1 + \frac{m_2}{m_1}} \right)^2}} - \frac{n h_e}{2} \quad (2.16)$$

sau sub formă simplificată:

$$v_{vf} = \frac{1}{\sqrt{H}} \frac{1}{A\ell + B} - C \quad (2.17)$$

unde prin A, B și C s-au făcut notațiile:

$$A = \frac{\prod f^n (D+d) k_1 k_2}{n \frac{m_2 v_1^2}{2} \left(\frac{1+R}{1 + \frac{m_2}{m_1}} \right)^2}; \quad B = \frac{\prod R^n (D_1^2 - d_1^2)}{4n \frac{m_2 v_1^2}{2} \left(\frac{1+R}{1 + \frac{m_2}{m_1}} \right)^2}; \quad C = \frac{nh_e}{2}$$

Avînd în vedere că mărimile A, B și C, sînt constante pentru o anumită situație dată (pentru un anumit tip de vibroînfigător, instrument de forare și tip de pămînt), relația (2.17) permite studiul influenței asupra vitezei de vibroforare, atît a adîncimii forajului pentru o anumită lungime a cursei (a marșului de forare), cît și a lungimii cursei pentru o anumită adîncime a forajului.

2.2.2. Lungimea optimă a marșului la forarea prin vibropercuții

Modelul dinamic adoptat pentru forarea prin vibropercuții și deducerea pe baza sa, a dependenței vitezei de vibroforare, funcție de diverși factori, permite și determinarea lungimii optime a marșului de forare (cursei), corespunzătoare la diverse adîncimi a forajului.

Mărimea optimă a lungimii marșului de foraj (L) se poate determina punînd condiția obținerii valorii maxime pentru viteza de execuție într-un marș (cursă). Valoarea maximă a vitezei mecanice de execuție într-un marș, poate fi exprimată prin următoarea relație generală:

$$v_e = \frac{L}{t_{vf} + t_a} \quad (2.18)$$

unde: L - lungimea optimă a marșului (cursă) de vibroforare;
 t_{vf} - timpul de vibroforare propriuzisă;
 t_a - timpul consumat pentru operații anexe (coborîre, extragere etc).

Pentru sistemele clasice de foraj (în particular sistemul rotativ) rezolvarea acestei probleme constă în determinarea timpului optim de forare pentru un marș (cursă), punînd condiția de egalare a vitezei momentane de forare, cu viteza de forare corespunzătoare unui marș [20].

Spre deosebire de sistemul forării rotative și de alte sisteme clasice de foraj, unde timpul de forare consumat pentru forarea propriuzisă pe lungimea unui marș este de ordinul zecilor de minute și chiar ore, la vibroforare acest timp (t_{vf}) este de ordinul a cîtorva minute. Datorită acestui lucru în cazul metodei vibroforării este mai rațional ca, în locul timpului optim corespunzător vibroforării pe lungimea unui marș, să se determine care este lungimea optimă a marșului, pentru care se obține viteza mecanică de vibroforare maximă.

Rezolvarea în mod general a problemei enunțate, se poate face pornind de la dependențele analitice prezentate în paragraful precedent și explicitarea timpilor t_{vf} și t_a , din relația (2.18).

Exprimînd viteza momentană de vibroforare prin relația clasică de definiție și notînd mărimea sa inversă cu γ , adică:

$$v_{vf} = \frac{d\ell}{dt} \quad \text{și} \quad \gamma = \frac{1}{v_{vf}} = \frac{dt}{d\ell} \quad (2.19)$$

atunci timpul de vibroforare pe lungimea (L) a marșului, pentru o anumită mărime a adîncimii forajului (H) fixată, poate fi calculat prin integrare:

$$t_{vf} = \int_0^{t_{vf}} dt = \int_0^L \gamma d\ell \quad (2.20)$$

În baza relației (2.17), mărimea inversă (γ) a vitezei momentane de vibroforare, rezultă:

$$\gamma = \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{H(A\ell + B)}} - C} = \frac{A\sqrt{H}\ell + B\sqrt{H}}{1 - BC\sqrt{H} - AC\sqrt{H}\ell} \quad (2.21)$$

Prin înlocuire relația (2.20) se obține :

$$t_{vf} = \int_0^L \frac{A\sqrt{H}\ell + B\sqrt{H}}{1 - BC\sqrt{H} - AC\sqrt{H}\ell} d\ell = A\sqrt{H} \int_0^L \frac{\ell d\ell}{\alpha + \beta\ell} + B\sqrt{H} \int_0^L \frac{d\ell}{\alpha + \beta\ell} \quad (2.22)$$

unde pentru ușurarea și ordonarea calculului se fac următoarele notații:

$$\alpha = 1 - BC \sqrt{H} \quad \text{și} \quad \beta = - AC \sqrt{H} \quad (2.23)$$

Rezolvarea celor două integrale din relația (2.22), conduce la următoarele expresii:

$$\begin{aligned} I_1 &= \int_0^L \frac{l \, dl}{\alpha + \beta l} = \left[\frac{1}{\beta} \left(l - \frac{\alpha}{\beta} \ln |\alpha + \beta l| \right) \right]_0^L = \\ &= \frac{1}{\beta} \left(L - \frac{\alpha}{\beta} \ln |\alpha + \beta L| + \frac{\alpha}{\beta} \ln |\alpha| \right) = \frac{1}{\beta^2} \left(\beta L - \alpha \ln \left| \frac{\alpha + \beta L}{\alpha} \right| \right); \\ I_2 &= \int_0^L \frac{dl}{\alpha + \beta l} = \left[\frac{1}{\beta} \ln |\alpha + \beta l| \right]_0^L = \frac{1}{\beta} \ln \left| \frac{\alpha + \beta L}{\alpha} \right| \end{aligned}$$

Înlocuind rezultatele celor două integrale în expresia (2.22) se obține relația explicitată pentru mărimea timpului de vibroforare (t_{vf}), de următoarea formă:

$$t_{vf} = A \sqrt{H} \frac{1}{\beta^2} \left(\beta L - \alpha \ln \left| \frac{\alpha + \beta L}{\alpha} \right| \right) + B \sqrt{H} \frac{1}{\beta} \ln \left| \frac{\alpha + \beta L}{\alpha} \right| \quad (2.24)$$

Timpul (t_g) consumat pentru executarea operațiilor anexe necesare realizării unui mers de vibroforare (coborîrea și extragerea garniturii de foraj împreună cu instrumentul de forare în și din gaura de foraj), depinde atât de adîncimea (H) a forajului, cît și de anumiți factori de ordin tehnico-tehnologici a modului de execuție a vibroforării. Pentru exprimarea mărimei timpului (t_g) se poate folosi o funcție liniară [97], de forma:

$$t_g = a + bH; \quad (2.25)$$

unde: a și b reprezintă niște coeficienți constanți care depind de factorii tehnico-tehnologici caracteristici instalației și tehnologiei de lucru aplicate.

Prin înlocuirea expresiilor (2.24) și (2.25) în formula generală (2.18) de exprimare a vitezei de execuție a vibroforajului pe lungimea unui mers, rezultă următoarea relație de dependență între v_e și L :

$$v_e = \frac{L}{A \sqrt{H} \frac{1}{\beta^2} \left(\beta L - \alpha \ln \left| \frac{\alpha + \beta L}{\alpha} \right| \right) + B \sqrt{H} \frac{1}{\beta} \ln \left| \frac{\alpha + \beta L}{\alpha} \right| + a + bH} \quad (2.26)$$

care poate fi scrisă și sub forma:

$$v_e = \frac{1}{\frac{A\sqrt{H}}{\beta^2 L} (\beta L - \alpha \ln |\frac{\alpha + \beta L}{\alpha}|) + \frac{B\sqrt{H}}{\beta L} \ln |\frac{\alpha + \beta L}{\alpha}| + \frac{a+bH}{L}} \quad (2.27)$$

Din relația (2.27) se observă clar că valoarea maximă a vitezei de execuție corespunzătoare unui marș de lungime L, se obține atunci când expresia de la numitor are valoarea minimă. Analiza aspectelor fizice ale procesului vibroforării arată că anularea derivatei de ordinul I a funcției de la numitorul expresiei de mai sus, permite determinarea doar a valorii extreme minime a acestei funcții, nu și a celei maxime, care de altfel nu interesează pentru scopul urmărit în acest caz.

Pentru ușurarea mersului și urmărirea calculului în detaliu, funcția de la numitorul relației (2.27), se transcrie sub forma:

$$\varphi(L) = \varphi_1(L) + \varphi_2(L) + \varphi_3(L)$$

unde:

$$\varphi_1(L) = \frac{A\sqrt{H}}{\beta^2 L} (\beta L - \alpha \ln |\frac{\alpha + \beta L}{\alpha}|) = \frac{A\sqrt{H}}{\beta} - \frac{A\sqrt{H}}{\beta^2 L} \alpha \ln |\frac{\alpha + \beta L}{\alpha}|;$$

$$\varphi_2(L) = \frac{B\sqrt{H}}{\beta L} \ln |\frac{\alpha + \beta L}{\alpha}|;$$

$$\varphi_3(L) = \frac{a+bH}{L}$$

Efectuând derivarea în raport cu L, a funcțiilor $\varphi_1(L)$, $\varphi_2(L)$ și $\varphi_3(L)$, se obține:

$$\varphi_1'(L) = -\frac{A\sqrt{H}}{\beta^2 L^2} \alpha \ln |\frac{\alpha + \beta L}{\alpha}| - \frac{A\sqrt{H}}{\beta^2 L} \frac{\alpha \beta}{\alpha + \beta L} = -\alpha \frac{A\sqrt{H}}{\beta^2 L^2} (\frac{\beta L}{\alpha + \beta L} - \ln |\frac{\alpha + \beta L}{\alpha}|)$$

$$\varphi_2'(L) = -\frac{B\sqrt{H}}{L^2} \ln |\frac{\alpha + \beta L}{\alpha}| + \frac{B\sqrt{H}}{\beta L} \frac{\beta}{\alpha + \beta L} = \frac{B\sqrt{H}}{\beta L^2} (\frac{\beta L}{\alpha + \beta L} - \ln |\frac{\alpha + \beta L}{\alpha}|)$$

$$\varphi_3'(L) = -\frac{a+bH}{L^2}$$

Punând condiția ca $\varphi'(L) = 0$, după înlocuirea derivatelor $\varphi_1'(L)$, $\varphi_2'(L)$ și $\varphi_3'(L)$ cu expresiile lor, se ajunge la următoarea ecuație în L:

$$-\frac{A\sqrt{H}}{\beta^2 L^2} \alpha (\frac{\beta L}{\alpha + \beta L} - \ln |\frac{\alpha + \beta L}{\alpha}|) + \frac{B\sqrt{H}}{\beta L^2} (\frac{\beta L}{\alpha + \beta L} - \ln |\frac{\alpha + \beta L}{\alpha}|) = \frac{a+bH}{L^2} \quad (2.28)$$

$$-\frac{A\alpha}{\beta} \frac{1}{\sqrt{H}} \frac{L}{\alpha+\beta L} + \frac{A\alpha}{\beta^2} \frac{1}{\sqrt{H}} \ln \left| \frac{\alpha+\beta L}{\alpha} \right| + B \frac{1}{\sqrt{H}} \frac{L}{\alpha+\beta L} - \frac{B}{\beta} \frac{1}{\sqrt{H}} \ln \left| \frac{\alpha+\beta L}{\alpha} \right| = \frac{a}{H} + b$$

$$\frac{1}{\sqrt{H}} \frac{L}{\alpha+\beta L} (B - \frac{A\alpha}{\beta}) - \frac{1}{\beta} \frac{1}{H} \ln \left| \frac{\alpha+\beta L}{\alpha} \right| (B - \frac{A\alpha}{\beta}) = \frac{a}{H} + b$$

$$\frac{1}{\sqrt{H}} (B - \frac{A\alpha}{\beta}) \left(\frac{L}{\alpha+\beta L} - \frac{1}{\beta} \ln \left| \frac{\alpha+\beta L}{\alpha} \right| \right) = \frac{a}{H} + b \quad (2.29)$$

Prin înlocuirea mărimilor α și β , cu expresiile lor (2.23), în ecuația (2.29) și efectuarea unor noi transformări, rezultă forma finală de scriere a ecuației în L:

$$\frac{1}{\sqrt{H}} \left[B + \frac{A(1-BC\sqrt{H})}{AC\sqrt{H}} \right] \left[\frac{L}{1-BC\sqrt{H}-ACL\sqrt{H}} + \frac{1}{AC\sqrt{H}} \ln \left| \frac{1-BC\sqrt{H}-ACL\sqrt{H}}{1-BC\sqrt{H}} \right| \right] = \frac{a}{H} + b$$

$$\frac{1}{\sqrt{H}} \left[\frac{ABC\sqrt{H}+A-ABC\sqrt{H}}{AC\sqrt{H}} \right] \left[\frac{L}{1-BC\sqrt{H}-ACL\sqrt{H}} + \frac{\ln \left| \frac{1-BC\sqrt{H}-ACL\sqrt{H}}{1-BC\sqrt{H}} \right|}{AC\sqrt{H}} \right] = \frac{a}{H} + b$$

$$\frac{1}{CH} \left[\frac{L}{1-BC\sqrt{H}-ACL\sqrt{H}} + \frac{\ln \left| \frac{1-BC\sqrt{H}-ACL\sqrt{H}}{1-BC\sqrt{H}} \right|}{AC\sqrt{H}} \right] = \frac{a}{H} + b \quad (2.30)$$

Pentru anumite condiții concrete de vibroforare (referitoare la tipul vibroînfigătorului, natura și rezistența pământului, tipul și alcătuirea constructivă a instrumentului de forare, tehnologia de lucru efectivă) coeficienții A, B, C, a și b au valori constante, ceea ce înseamnă că pentru valori diferite ale adâncimii de forare (H), ecuația (2.30) permite determinarea mărimii lungimilor optime a marșurilor (curselor) de vibroforare corespunzătoare. Rezolvarea ecuației (2.30), respectiv determinarea mărimii (L_{opt}) pentru o anumită adâncime de forare (H), se poate face atât pe cale analitică cât și pe cale grafică.

2.3. Vibromecanisme și instrumente de vibroforare

2.3.1. Vibromecanisme

În practica executării forajelor prin vibroforare se folosesc în principiu trei tipuri de mecanisme vibratoare (vibromecanisme) și anume: vibratoare, vibropercutoare cu forță de restabilire liniară (vibropercutoare cu arcuri) și vibropercutoare cu forță de restabilire constantă (vibropercutoare fără arcuri). Principiul de producere a forței perturbatoare la mecanismele vibratoare menționate constă în rotirea unor perechi de discuri cu mase excentrice în sens contrar, astfel încât printr-o sincronizare perfectă, componentele

verticale ale forțelor centrifuge se însumează, iar cele orizontale se anulează (fig.2.3).

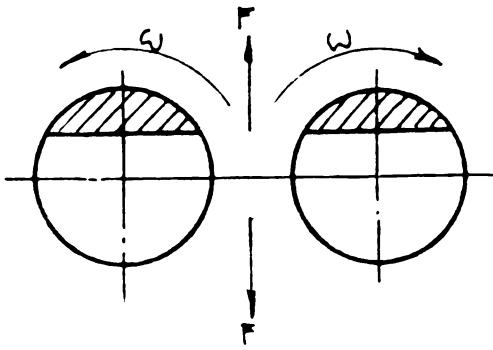


Fig.2.3.Principiul de producere a forței perturbatoare

2.3.1.1.Vibratoare(vibroexcitatoare)

Schema funcțională de principiu și modelul dinamic al unui vibrator (vibroexcitator)mecanic simplu,le-

gat solidar de elementul care se înfige sau se extrage(garnitura de foraj și instrumentul de vibroforare,spre exemplu),se pot urmări în fig.2.4 a și b.

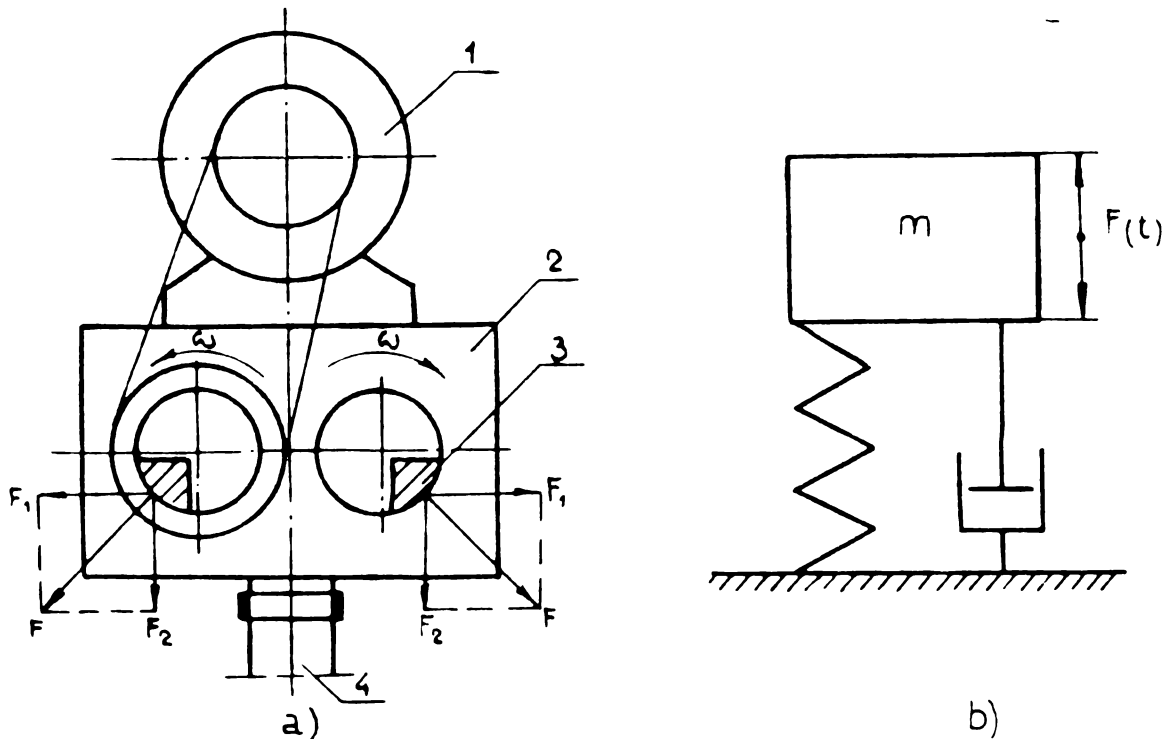


Fig.2.4. Schema funcțională (a) și modelul dinamic simplificat (b) ale unui vibrator mecanic centrifugal
1-electromotor; 2-corpul vibratorului;3-excentricii;
4-elementul de înfipt.

Forța perturbatoare de oscilație a vibratorului, ca rezultat a componentelor verticale ale forței centrifuge generate de masele excentrice în rotație, variază în funcție de timp după o lege sinusoidală, care poate fi scrisă sub forma:

$$F(t) = F_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (2.31)$$

unde: F_{\max} - amplitudinea maximă a forței perturbatoare, care se poate exprima prin formula:

$$F_{\max} = m_0 r \omega^2, \quad (2.32)$$

ω - viteza unghiulară de rotație a maselor excentrice;

- t - timpul;
- φ_0 - faza inițială;
- r - excentricitatea;
- m_0 - masa excentricilor în rotație

În baza modelului dinamic adoptat, ecuația diferențială liniară a mișcării poate fi scrisă astfel:

$$m\ddot{x} + \alpha \dot{x} + c x = F_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (2.33)$$

unde: m - masa de oscilație;

α - coeficientul de rezistență al sistemului;

c - coeficientul de rigiditate al sistemului.

Prin considerarea fazei inițiale ca fiind egală cu zero, respectiv prin introducerea mărimilor:

$n = \frac{\alpha}{2m}$ - coeficient de amortizare;

$k = \frac{c}{m}$ - frecvența unghiulară a oscilațiilor (vibrațiilor) neamortizate;

$f_{\max} = \frac{F_{\max}}{m}$ amplitudinea redusă a forței perturbatoare,

ecuația diferențială (2.33), poate fi scrisă sub forma transformată de mai jos:

$$\ddot{x} + 2n\dot{x} + k^2 x = f_{\max} \sin(\omega t) \quad (2.34)$$

Rezolvarea ecuației diferențiale (2.34) conduce la o soluție generală de forma:

$$x = e^{-nt} (C_1 \cos k_1 t + C_2 \sin k_1 t) + \frac{f_{\max}}{(k^2 - \omega^2) + 4n^2 \omega^2} \sin(\omega t - \alpha_0) \quad (2.35)$$

unde: $k_1 = \sqrt{k^2 - n^2}$

Primul termen al soluției generale (2.35) corespunde oscilațiilor (vibrațiilor) libere amortizate, care după un interval de timp se pot neglija, considerînd că sistemul efectuează numai oscilații forțate (întreținute), evidențiate de termenul al doilea și care pot fi exprimate printr-o ecuație de forma:

$$x = A \sin(\omega t - \alpha_0), \quad (2.36)$$

unde: A - amplitudinea oscilațiilor, care conform (2.35) are valoarea:

$$A = \frac{f_{\max}}{(k^2 - \omega^2) + 4n^2 \omega^2} \quad (2.37)$$

α_0 - decalajul de fază a oscilațiilor (vibrațiilor) în raport cu faza forței perturbatoare (de întreținere), a cărei mărime poate fi determinată cu formula:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{2n \omega}{k^2 - \omega^2} \quad (2.38)$$

Din analiza relațiilor (2.36) și (2.37), rezultă că oscilațiile forțate (întreținute) ale sistemului liniar analizat se produc întotdeauna cu frecvența forței perturbatoare și că amplitudinea acestora nu depinde de condițiile inițiale și de timp.

Prin anularea derivatei de ordinul întâi a membrului drept din ecuația (2.37), respectiv prin considerarea expresiilor de explicitare a mărimilor f_{\max} și F_{\max} , se poate ajunge la determinarea valorii lui ω , pentru care amplitudinea oscilațiilor (A) este maximă:

$$\omega^2 = \frac{k^4}{k^2 - 2n^2} \quad (2.39)$$

În cazul când $\omega \gg k$, amplitudinea tinde către valoarea sa maximă, putând fi determinată cu destulă aproximație cu formula:

$$A_{\infty} = \frac{m_0 r}{m} = \frac{Q_0 r}{Q} \quad (2.40)$$

unde: $Q_0 r$ - momentul static dat de masele excentricilor;

Q - rezultanta greutateilor proprii a tuturor elementelor antrenate în oscilații.

Formula (2.40) se poate folosi pentru calculul orientativ al mărimii amplitudinii oscilațiilor (vibrațiilor) a vibroexcitatoarelor nepercutante (vibratoare), gradul de precizie fiind cu atât mai mare cu cât condițiile de funcționare a sistemului sînt mai îndepărtate de zona rezonanței ($\omega = k$).

Viteza oscilațiilor se poate obține prin simplă derivare a ecuației (2.36) în funcție de t . Pentru cazul când $n = 0$ și $k = 0$ prin derivare și cu considerarea expresiei (2.37), se ajunge la următoarea relație generală pentru viteza oscilațiilor.

$$v = \frac{f_{\max}}{\omega} \cos (\omega t - \alpha_0) \quad (2.41)$$

Parametrii de bază ai vibroexcitatoarelor centrifuge (vibratoare) sînt: momentul static dat de masele excentrice, viteza unghiulară de rotație a maselor excentrice, amplitudinea forței perturbatoare, masa vibratorului, amplitudinea oscilațiilor (vibrațiilor), energia consumată de motorul electric al vibratorului.

Din experiența practică a rezultat că folosirea relațiilor teoretice pentru determinarea tuturor parametrilor vibratoarelor destinate vibroforării, în funcție spre exemplu de viteza de vibroforare, adâncimea forajului și proprietățile de rezistență ale pământului, este destul de dificilă. De aceea în general o parte din parametri, ca: momentul static al maselor excentrice, viteza unghiulară de rotație, masa vibratorului se aleg pe baza experienței acumulate, iar ceilalți se calculează în mod orientativ cu formulele teoretice existente.

Astfel amplitudinea forței perturbatoare poate fi calculată cu formula (2.32), iar pentru determinarea amplitudinii oscilațiilor se poate folosi relația:

$$A \approx \frac{Q_0 r \alpha_\infty}{Q + Q_1} \quad (2.42)$$

unde: Q_0 - greutatea excentricilor în N;

Q - greutatea vibratorului, în N;

Q_1 - greutatea dispozitivelor de vibroforare (garnitură și instrumentul de forare), în N;

α_∞ - coeficient care ține seama de influența masei pământului antrenat în oscilații și care după datele obținute de M.G. Efremov [19] are valori de 0,70-0,85 pentru argile și argile nisipoase, 0,85-0,90 pentru nisipuri argiloase, 0,90-0,95, pentru nisipuri fine prăfoase.

Viteza maximă a oscilațiilor poate fi determinată cu formula:

$$v_{\max} = A\omega \quad (2.43)$$

Iar puterea electromotorului utilizată de către vibrator, în conformitate cu teoria liniară a oscilațiilor, se poate calcula cu relația:

$$W = \frac{\sum Q}{g} n v_{\max}^2 \quad (2.44)$$

Dat fiind faptul că formula (2.44) nu ține seamă de pierderile de energie prin frecările din vibrator și electromotor, care apar în procesul de oscilație, se recomandă ca valoarea puterii electromotorului calculată cu această relație, în practică să fie majorată cu 20-25%. I.I. Bîhovskii [10] pe baza analizării unei game largi de sisteme liniare și neliniare, corespunzătoare diverselor tipuri de vibratoare, a stabilit așa zisul "criteriu al puterii maxime", adică puterea de utilizare necesară celor mai nefavorabile condiții de lucru, propunând următoarea formulă de calcul:

$$W_{\max} = \frac{F_{\max}^2 \omega}{4(C - m\omega^2)} \quad (2.45)$$

unde: C - rigiditatea sistemului în N/m;

m - masa tuturor elementelor în oscilație, în Kg.

În practică se recomandă ca valoarea puterii electromotorului să fie calculată cu relația (2.44) și verificată cu formula (2.45). În cazul unor diferențe esențiale este absolut necesar creșterea posibilităților de mărire a puterii până la valoarea maximă, rezultată în baza calculului după ultima relație.

2.3.1.2. Vibropercutoare cu forță de restabilire liniară (vibropercutoare cu arcuri)

Vibropercutoarele sînt mecanisme vibropercutante la care oscilațiile organului de lucru sînt însoțite de lovituri sub formă de ciocniri repetate în alt element al mecanismului, sau într-un element extern (dispozitivul de forare în cazul vibroforării).

Schema funcțională de principiu a unui vibropercutor cu arcuri folosit pentru vibroforare și modelul dinamic simplificat al acestuia se prezintă în fig.2.5 a și b.

Pentru modelul dinamic adoptat, ecuația mișcării corespunzătoare intervalului dintre două lovituri (ciocniri), poate fi scrisă sub forma:

$$m\ddot{x} + cx = F_{\max} \cos(\omega t + \varphi_0) \quad (2.46)$$

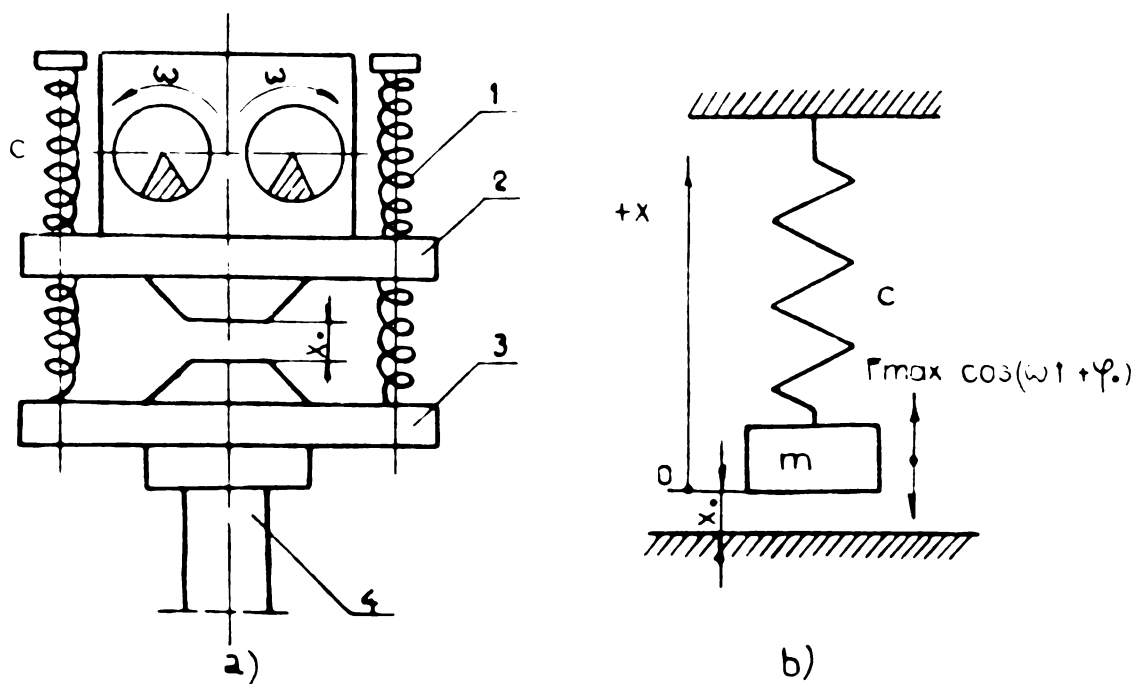


Fig.2.5. Schema funcțională (a) și modelul dinamic simplificat (b) ale unui vibropercutor cu arcuri
1-arcuri; 2-placă cu pișca de lovire (ciocanul); 3-placă cu nicovală 4-dispozitivul de forare

Considerând ca moment inițial, momentul terminării loviturii (ciocnirii), condițiile limită pentru începutul și sfârșitul mișcării între două lovituri consecutive, sînt:

$$\begin{aligned} & - \text{pentru } t = 0, x = -x_0; \dot{x} = R v \\ & - \text{pentru } t = T_1; x = x_0; \dot{x} = -v \end{aligned} \quad (2.47)$$

unde: $T = \frac{2\pi}{\omega}$ - perioada forței perturbatoare a vibropercutorului;
 v - mărimea absolută a vitezei masei percutante la începutul unei lovituri (ciocniri);
 i - raportul între frecvența forței perturbatoare și frecvența loviturilor (ciocnirilor).

Prin folosirea mărimilor adimensionale pentru deplasare și timp, ecuația (2.46) ia forma (2.48):

$$\begin{aligned} z &= \frac{m\omega^2}{F_{\max}} x; \quad \tau = \omega t; \quad \frac{dz}{d\tau} = z'; \\ z'' + \beta^2 z &= \cos(\tau + \varphi_0) \end{aligned} \quad (2.48)$$

iar condițiile (2.47) devin:

$$\begin{aligned} & - \text{pentru } \tau = 0, z = \delta, z' = Ru \\ & - \text{pentru } \tau = 2\pi i, z = \delta, z' = -u \end{aligned} \quad (2.49)$$

unde:

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{c}{m}} - \text{raportul între frecvența vibrațiilor și viteza unghiulară de rotație a excentricilor}; \\ u &= \frac{vm\omega}{F_{\max}} - \text{viteza adimensională a masei percutante înaintea loviturii}; \\ \delta &= \frac{x_0 m \omega^2}{F_{\max}} - \text{mărimea adimensională a jocului dintre piesele în ciocnire.} \end{aligned}$$

Soluția generală a ecuației (2.48) poate fi scrisă sub forma:

$$z = A \cos(\beta\tau + \psi) = \frac{1}{1-\beta^2} \cos(\tau + \varphi_0), \quad (2.50)$$

din care prin folosirea condițiilor (2.49) se obține un sistem de patru ecuații, a cărui rezolvare conduce la explicitarea constantelor de integrare A și ψ , respectiv a valorilor u și φ_0 , corespunzătoare mișcării staționare periodice:

$$\begin{aligned} A &= \frac{u(1+R)}{2\beta \sin \pi \beta i}; \quad \psi = -\pi \beta i, \quad \varphi_0 = \arcsin \left[-\frac{u(1-R)(1-\beta^2)}{2} \right] \\ u &= \frac{2}{1-R} \frac{\beta f \sqrt{\frac{1+f^2}{1-\beta^2} z - \beta^2}}{1+f^2}; \end{aligned} \quad (2.51)$$

unde pentru simplificarea relației s-a făcut notația:

$$r = \frac{1 + R}{1 - R} \frac{\operatorname{ctg} \pi \beta_1}{\beta}$$

Funcționarea în regim optim a vibropercutorului se obține atunci când viteza de lovire este maximă. Punând condiția de maxim a funcției care dă mărimea vitezei, adică $\frac{du}{d\beta} = 0$, se poate determina mărimea optimă a jocului (δ_{opt}):

$$\delta_{\text{opt}} = \pm \frac{1 + R}{1 - R} \frac{\beta}{1 - \beta^2} \operatorname{ctg} \pi \beta_1 \quad (2.52)$$

Viteza maximă de lovire rezultă:

$$U_{\text{max}} = \pm \frac{2\beta^2}{1 - \beta^2} \frac{1}{1 - R} \quad (2.53)$$

În relațiile de mai sus, semnul plus corespunde cazului când $\beta < 1$, iar minus, când $\beta > 1$. De asemenea din relația (2.53) se observă că viteza maximă de lovire nu depinde de raportul i (frecvența forței perturbatoare raportată la frecvența loviturilor) iar pentru $\beta < 1$, aceasta crește cu mărirea lui R și β .

În cazul funcționării vibrogeneratorului în regim optim, cu jocul egal cu zero, mărimea absolută a vitezei părții percutante în momentul lovirii, se poate exprime cu relația:

$$v = \frac{2 Q_0 r \omega}{mg(1 - \beta^2)(1 - R)} \quad (2.54)$$

unde: $\beta = \frac{1}{2i}$ - pentru regim optim și joc nul între ciocanul și ni-
oovala vibropercutorului cu arcuri.

Din experiența practică a exploatării vibropercutoarelor cu arcuri, a rezultat că valoarea limită a vitezei de lovire pentru care se asigură durabilitatea vibromecanismului este 2 - 2,5 m/sec [52].

Puterea electromotorului utilizat pentru antrenarea vibropercutorului, poate fi determinată [52] cu formula:

$$W = \frac{m v^2 (1 - R^2)}{2} n \quad (2.55)$$

unde: n - numărul de lovituri (ciocniri) într-o secundă.

Prin regimul de lucru a unui vibropercutor cu arcuri, se înțelege de regulă caracterul de oscilație a părții vibropercutante de lovire, caracterizându-se prin următorii parametri principali: viteza de lovire (ciocnire), frecvența loviturilor respectiv raportul dintre frecvența forței perturbatoare și frecvența loviturilor (i), mărimea ricoșeului (saltului) părții de lovire, viteza unghiulară de rotație a maselor excentrice.

Reglarea acestor parametri pe timpul funcționării vibropercutorului este dificilă, neexistând un procedeu efectiv destinat acestui scop. De aceea regimul de lucru trebuie astfel ales, încât aceasta să aibă o dependență minimă de condițiile exterioare, dând posibilitatea efectuării vibroforării fără schimbări esențiale a parametrilor.

În practică, parametrii vibropercutoarelor cu arcuri, se determină pentru cele mai grele condiții de lucru, în cazul vibroforării luându-se ca indice calitativ a acestora, adâncimea finală de forare. Primul element care se stabilește este masa (m_1), respectiv greutatea ($P_1 = m_1 g$) a părții vibropercutante de lovire. Se recomandă ca aceasta să fie egală cu dublul greutății totale a dispozitivelor de ferat inclusiv a pământului atașat ($P_2' = 1,2 P_2 = 1,2 m_2 g$), unde m_2 este masa dispozitivului de forare (garnitură + instrument), iar 1,2 este coeficientul de mărire a acestei mase, datorită aderenței pământului (parg. 2.2.1).

Rezultă deci:

$$P_1 = 2 P_2' = 2,4 m_2 g \quad (2.56)$$

Frecvența loviturilor este indicat a se lua în limitele 450 ÷ 1000 lovituri/minut, iar regimul de lucru recomandabil este cel cu $i=1$ (o rotație completă a maselor excentrice corespunde unei lovituri), care are o stabilitate mai mare față de diversele acțiuni exterioare. Dezavantajul regimului de lucru $i=1$, constă în faptul că necesită în general electromotoare de joasă turație (care au masă și gabarit mai mare), precum și arcuri cu rigiditate mai mare. Din acest motiv în practică se construiesc și se aplică și vibropercutoare cu regimuri de lucru, caracterizate prin valori ale raportului dintre frecvența forței perturbatoare și frecvența loviturilor mai mari ca unitatea ($i=2$; $i=3$ și chiar $i=4$).

Cunoscând masa părții vibropercutante (de lovire), numărul de lovituri în unitate de timp, se impune viteza limită a loviturii ($v \leq 2$ m/sec) și cu formula (2.55) se calculează în mod orientativ puterea utilă a vibropercutorului, putându-se alege electromotorul necesar, a cărui putere va fi cu 25-30% mai mare decât cea rezultată din calcul.

Rigiditatea arcurilor (inferioare) se poate aproxima cu relația:

$$c = 1,2 m \left(\frac{\omega}{2} \right)^2 \quad (2.57)$$

Momentul static al excentricilor se calculează cu relația:

$$Q_0 r = (1 - \beta^2) \sqrt{\frac{102 W \pi i P_1 (1-R) g}{\omega^3 (1+R)}} \quad (2.58)$$

unde mărimile care intervin în relație își păstrează semnificațiile menționate pe parcurs (g - accelerația gravitațională).

Amplitudinea părții vibropercutante poate fi calculată cu formula:

$$A = \alpha \frac{Q_0 r}{P_1} \quad (2.59)$$

unde: α - coeficient dependent de regimul de lucru ales (raportul i) și de mărimea lui R (pentru care în mod obișnuit se iau valori în domeniul $0 \div 0,2$).

2.3.1.3. Vibropercutare cu forță de restabilire constantă (vibropercutare fără arcuri)

Schema funcțională de principiu și modelul dinamic al unui vibropercutor fără arcuri se poate urmări în fig.2.6 a și b.

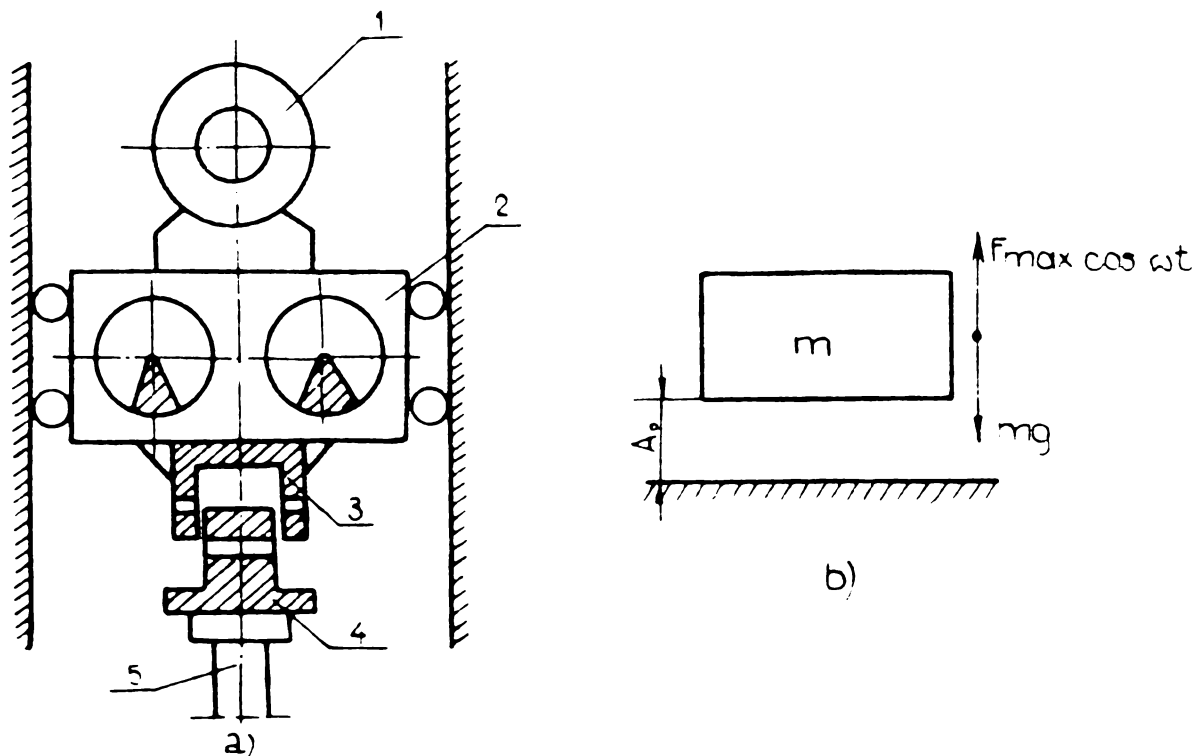


Fig.2.6. Schema funcțională (a) și modelul dinamic (b) ale unui vibropercutor fără arcuri
1-electromotorul;2-corpul vibropercutorului;3-piesa de lovire(ciocanul);4-piesa lovită(nicovala);5-dispozitivul de forare

Ecuația diferențială a mișcării masei vibropercutante între două lovituri(cloconiri)consecutive, poate fi scrisă sub forma:

$$m\ddot{x} = F_{\max} \cos \omega t - mg \quad (2.60)$$

Introducând mărimile adimensionale și notațiile:

$$z = \frac{m\omega^2}{F_{\max}} x, \quad \tau = \omega t, \quad p = \frac{mg}{F_{\max}} \quad \text{și} \quad \frac{dz}{d\tau} = \dot{z},$$

ecuația (2.60) devine:

$$\ddot{z} = \cos \tau - p \quad (2.61)$$

Soluția generală a acestei ecuații poate fi exprimată astfel:

$$z = -\cos \tau - p \frac{\tau^2}{2} + C_1 \tau + C_2 \quad (2.62)$$

unde C_1 și C_2 sînt constante de integrare.

Prin punerea condițiilor inițiale pentru mișcarea între două lovituri (ciocniri), se pot determina atît constantele de integrare, cît și condițiile de existență și de stabilitate a mișcărilor periodice [110], [117].

Studiile și cercetările întreprinse [97], experiența practică acumulată privind vibroperutoarele fără arcuri, au permis conturarea unor criterii orientative în alegerea și calculul parametrilor lor.

În cazul folosirii lor pentru vibroforare, datele inițiale de la care se pleacă sînt în principiu următoarele: adîncimea și diametrul forajului, parametrii dispozitivului de forare (în particular masa totală) și proprietățile pămîntului. Punctul de pornire îl constituie determinarea masei părții vibropercutante (respectiv greutatea acesteia), care se face în același mod ca și la vibropercutoarele cu arcuri. La alegerea vitezei unghiulare de rotație a maselor excentrice trebuie să se aibă în vedere că în general pe măsura creșterii adîncimii forajului, regimul de lucru al vibroperculatorului fără arcuri poate să varieze de la $i=1$ pînă la $i=4$.

Momentul static al excentricilor se determină pornind de la condiția asigurării unei viteze de lovire impuse, pentru cazul cel mai defavorabil, cînd se face ipoteza că viteza oscilațiilor libere este egală cu zero.

Viteza de mișcare a părții vibropercutante în momentul loviturii, se consideră că este formată din două componente: viteza căderii libere corespunzătoare distanței (A_0) dintre masa de lovire și elementul lovit, respectiv viteza oscilațiilor libere. Relația de calcul poate fi scrisă sub forma:

$$v = \sqrt{2g A_0} + A_{\infty} \omega \sin \varphi \quad (2.63)$$

unde: φ - decalajul de fază a excentricilor în momentul loviturii.

În baza ipotezei menționate se consideră termenul al doilea din membrul drept egal cu zero, calculându-se valoarea A_0 pentru o mărime a vitezei impuse. Amplitudinea maximă a oscilațiilor (A_∞) este funcție de A_0 , prin intermediul unui coeficient determinat experimental (K_A) în funcție de regimul de lucru [97]:

$$A_\infty = K_A A_0 \quad (2.64)$$

Tabelul 2.1.

Valorile coeficientului K_A

i	1	2	3	4	5	6	7
K_A	0,500	0,333	0,200	0,111	0,077	0,053	0,043

Cu relația (2.40) se calculează momentul static al excentricilor (Q_{or}), iar cu formula (2.63) se recalculează viteza maximă de lovire, necesară verificării de rezistență a legăturilor constructive ale vibropercutorului.

Intervalul maxim dintre masa vibropercutantă de lovire și elementul lovit ($A_{0 \max}$), trebuie să fie cel puțin egal cu valoarea maximă a ricoșeului masei vibropercutante de lovire. În caz contrar vibropercutorul va lucra cu lovituri atât în jos cât și în sus, ceea ce evident că reduce viteza de lovire și înaintarea în teren a elementului lovit.

Puterea electromotorului utilizat de vibropercutor, se poate determina în mod orientativ cu formula:

$$W = \frac{P_1 n}{2g} (\sqrt{2g A_0} + A_\infty \omega \sin \varphi) \quad (2.65)$$

unde: P_1 - greutatea părții vibropercutante de lovire;

n - frecvența loviturilor (numărul de lovituri în unitate de timp).

2.3.1.4. Criterii generale de folosire a vibromecanismelor la lucrări de vibroforare.

În practica executării forajelor, în special a forajelor de cercetare geotehnică și tehnico-geologică, cu ajutorul vibromecanismelor, este necesar să se aibă în vedere o serie de particularități specifice, în funcție de care să se aleagă tipul de vibromecanism și schema funcțională a acestuia.

Lucrările de vibroforare destinate cercetării geotehnice și tehnico-geologice a terenurilor de fundare, constau din foraje cu adâncime de regulă sub 30 m (obișnuit pînă în jur de 15 m), iar ca instrumente de vibroforare se folosesc carotiere cu diametru varia-

bil între 90 și 220 mm.

Straturile superficiale ale scoarței terestre, în care se execută forajele, se caracterizează în general printr-o mare neuniformitate, fiind alcătuite din diverse roci, diferențiate între ele atât ca natură cât și ca proprietăți de rezistență. Dat fiind faptul că în cazul pământurilor nisipoase, uneori este mai eficientă vibroforarea prin procedeul vibrațiilor, iar la cele argiloase cea prin procedeul vibropercuțiilor, este necesar ca vibromecanismul folosit să poată funcționa chiar la execuția aceluiași foraj, atât ca vibrator cât și ca vibropercutor. De asemenea schema funcțională a vibromecanismului trebuie să asigure realizarea unui regim de lucru caracterizat printr-o energie mare a loviturilor, necesară străbaterii unor straturi rezistente întâlnite pe adâncimea forajului.

Un număr destul de mare de foraje, din cadrul lucrărilor de cercetare geotehnică și tehnico-geologică au adâncimi reduse (în jur de 5-6 m). Pentru reducerea la minim a timpului de execuție a unor astfel de foraje, este necesar ca vibromecanismul utilizat să asigure o viteză ridicată de vibroforare, în special pentru marșurile inițiale.

La vibroforare o pondere însemnată din timpul total îl au operațiile de ridicare-coberire în foraj a dispozitivului de forare,

Pentru reducerea acestui timp este necesar să se asigure posibilitatea de rotire a garniturii de foraj (tije și instrumente de forare), respectiv o fixare simplă a acesteia la partea superioară.

În cazul vibroforării în pământuri cu stabilitate redusă, aceasta trebuie să fie însoțită de tubarea forajului. Pentru aceasta trebuie ca vibromecanismul să execute și operațiile de înfigere și extragere a coloanei de foraj.

Particularitățile specifice, respectiv cerințele arătate în mod sintetic mai sus, sînt satisfăcute în bună parte de vibromecanisme care lucrează după schema funcțională a vibropercutoarelor fără arcuri. Acestea asigură posibilități bune de realizare a forajelor de prospectare geotehnică și tehnico-geologică pînă la adâncimi de 30 m și cu diametrul necesar recoltării probelor cu structură netulburată.

Vibropercutoarele fără arcuri pot funcționa atât pe principiul vibropercuțiilor cât și al vibrațiilor pure, trecerea de la o schemă de funcționare la alta făcîndu-se simplu. Spre deosebire de vibropercutoarele cu arcuri și de vibratoare, a căror regim de

lucru depinde puțin de condițiile exterioare, în funcționarea vibropercutoarelor fără arcuri se pot realiza regimuri de lucru cu o mare energie a loviturilor, ceea ce dă posibilitatea străbaterii cu viteză sporită și a straturilor mai rezistente întâlnite în stratificația terenului pe adâncimea forajului. De asemenea vibropercutoarele fără arcuri asigură o viteză de forare ridicată pe parcursul primelor marșuri de vibroforare, lucru care este avantajos în special pentru cazul când se execută foraje de adâncimi reduse (5 m).

La vibropercutoarele fără arcuri, procesul de schimbare a regimului de înfigere în regim de extragere este foarte simplu, realizându-se operativ prin strângerea piesei de lovire către elementul superior, lucru care prezintă importanță la producerea unor avarii ale dispozitivului de forare, în timpul lucrului și când trebuie intervenit cu maximum de rapiditate.

Legătura dintre vibropercutorul fără arcuri și dispozitivul de vibroforare (prăjina împreună cu instrumentul de forare) se realizează de asemenea relativ simplu cu ajutorul unui element de trecere, existând posibilitatea de rotire a dispozitivului de vibroforare și de fixare a lui în poziție suspendată.

Tot ca un avantaj al vibropercutoarelor fără arcuri este și construcția lor relativ simplă, care evident că atrage după sine condiții mai ușoare de întreținere și de reparații pe timpul lucrului.

Deși vibropercutoarele fără arcuri au de regulă gabarite și mase mai mari, considerentele arătate mai sus au făcut ca ele să fie folosite pe scară largă în practică, inclusiv la lucrări de vibroforare.

Este evident că și vibropercutoarele cu arcuri prezintă o serie de avantaje, în special prin faptul că acestea asigură o mare stabilitate a regimului de lucru și posibilități mari de reglare a acestuia, pe lângă un impuls al loviturii impus și un moment static redus al excentricilor. Unele studii și cercetări [133], au arătat că mărirea capacității de înfigere se poate realiza nu numai prin mărirea vitezei loviturilor (care este totuși limitată), ci și prin folosirea unei tensionări reglabile a arcurilor, sau prin combinarea vibreloviturilor cu vibrații rotative a elementului de înfipt. Se poate menționa de asemenea că soluția constructivă și funcțională a vibropercutoarelor cu arcuri, oferă posibilități largi de automatizare a procesului de schimbare a regimului de oscilație în timpul lucrului.

Pe baza aspectelor menționate rezultă ca o concluzie generală că, în practica vibroforării se pot folosi toate cele trei tipuri de vibromecanisme analizate, dar cu precădere se folosesc vibropercutoarele fără arcuri (care după necesitate pot lucra și ca vibratoare), precum și vibropercutoarele cu arcuri.

2.3.2. Instrumente de vibroforare

Dispozitivul (garnitura) de vibroforare se compune din prăjina de foraj (tronsoane de tije cu secțiuni plină sau tubulară îmbinate de regulă între ele prin înfiletare) și instrumentul de vibroforare, care constă din diferite tipuri de carotiere (vibrosonde).

În principiu o carotieră se prezintă sub forma unui element tubular (fig. 2.7) cu lungime de 1,0-3,0 m și diametru de 90-220 mm, prevăzută la partea inferioară cu un cuțit inelar (4) iar la cea superioară cu o reducție (1) necesară îmbinării cu garnitura de foraj. Înspre partea superioară a corpului carotierei (3), în imedia-

ta apropiere a reducției, se găsește un orificiu (2), în care în timpul operațiilor de montare, respectiv de demontare a carotierei, se introduce un știft, asigurând astfel rotirea mai ușoară a acesteia.

În practică cel mai frecvent se folosesc carotiere cu diametrul cuprins între 100 (108) mm și 170 (168) mm, mai rar utilizându-se cele cu mărimea diametrului apropiat de limitele extreme menționate mai sus. De asemenea datorită execuției mai complicate, carotiarele cu secțiune transversală de formă pătrată sau dreptunghiulară, sînt mai puțin utilizate în practica lucrărilor de vibroforare.

Atît viteza de înaintare a carotierei în teren, cît și mai ales posibilitatea de determinare a profilului litologic și de recoltare a unor probe (carote) de pămînt (la forajele de prospec-tare geotehnică), cu structură pe cît

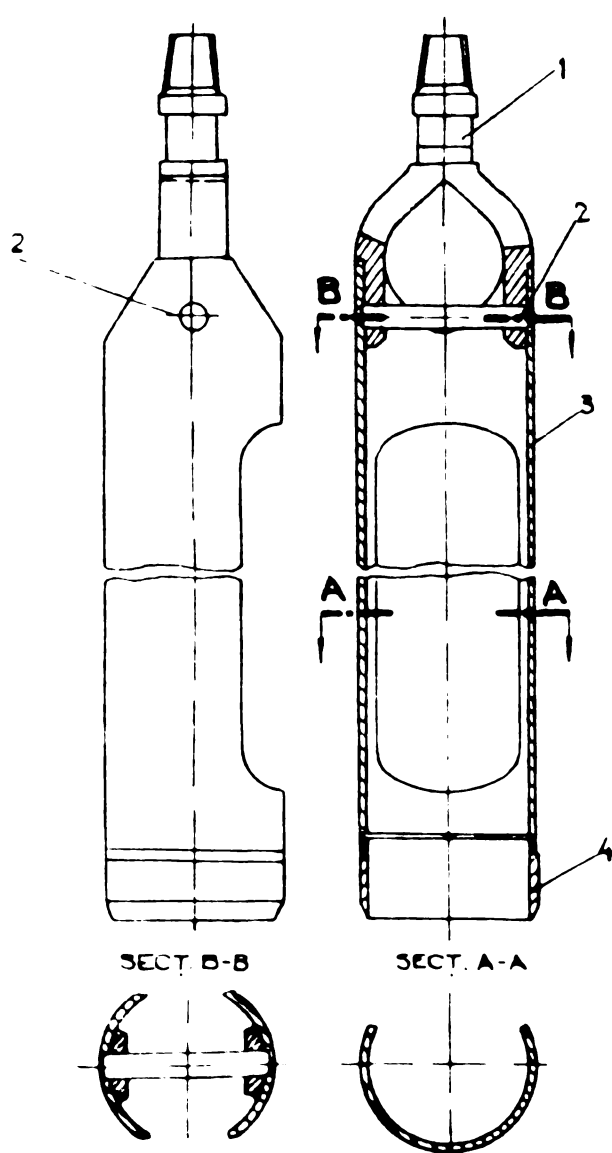


Fig. 2.7. Carotieră

posibil netulburată, depind în mod substanțial de construcția carotierelor.

Atît pentru determinarea profilului litologic real pe adîncimea forajului, cît și pentru nemodificarea caracteristicilor fizice și mecanice ale pămîntului recoltat, este necesar să nu apară o mișcare relativă a terenului aflat în carotieră față de stratul în care are loc vibroforarea. În acest sens trebuie preîntîmpinat "efectul de pilot", adică creerea unui dop de pămînt fixat de carotieră care se deplasează odată cu aceasta, întocmai ca un pilot. Mișcarea relativă poate avea loc atunci cînd forțele de frecare și de aderență dintre pămîntul din carotieră și suprafața interioară a carotierei depășesc rezistențele care apar pe secțiunea transversală în timpul înfigerii. În funcție de raportul acestor forțe, efectul de pilot poate să se manifeste sau nu.

Valoarea forțelor de frecare și de adeziune amintite depinde de mai mulți factori, unul dintre aceștia fiind presiunea litologică. Sub influența presiunii litologice (sarcinii geologice), stratul de pămînt (în zăcămint) este comprimat cu deformația laterală relativ împiedicată. După tăierea carotei de pămînt, de către cuțitul carotierei, aceasta are tendința de refulare laterală. Cum refularea laterală este împiedicată de carotieră, pe perețele acesteia se va exercita o presiune datorită căreia la înaintarea carotierei în teren apar forțe de frecare, a căror intensitate crește cu adîncimea. Pe de altă parte aceste forțe depind și de comprimarea carotei în sens transversal datorată grosimii peretelui carotierei. Este evident că această comprimare depinde la rîndul său de raportul dintre suprafața secțiunii transversale mărginită de perimetrul interior al cuțitului carotierei și cea mărginită de perimetrul său exterior. Cu cît acest raport va fi mai mare cu atît comprimarea transversală a carotei de pămînt va fi mai mică și în consecință forțele de frecare vor fi mai reduse. Din aceste considerente rezultă o primă condiție de ordin constructiv referitoare la carotiere, respectiv aceea de a avea perețele cît mai subțire posibil.

Forțele de frecare se reduc și prin practicarea unor tăieturi longitudinale (fante) în pereții carotierei, datorită faptului că se micșorează suprafața laterală pe care se exercită presiunea pămîntului. Dimensiunile și forma acestor tăieturi sînt diferite, în funcție de natura pămîntului în care se forează. Astfel în cazul pămînturilor argiloase cu coeziune mare (argile) se folosesc carotiere cu o singură fantă longitudinală avînd unghiul de tăiere cuprins între 140° și 160° , iar la pămînturi argiloase cu coeziune mai redusă (argilă nisipoasă, prafuri argiloase, nisipuri argiloase), sînt mai

indicate carotierele cu mai multe fante, cu deschidere unghiulară mai redusă. Prezența acestor fante pe lungimea carotierelor servesc și pentru observarea directă a schimbărilor de stratificație a terenului forat, precum și pentru ușurarea operației de curățire a carotierei de pământul extras.

Toate măsurile de ordin constructiv, indicate mai sus pentru reducerea forțelor de frecare dintre pământul din carotieră și suprafața interioară a acesteia, trebuie să asigure totuși, extragerea carotierei fără pierderea carotei de pământ din interiorul ei. Pentru acest lucru trebuie ca forțele de frecare și de adeziune să rămână mai mari decât rezistența pământului la desprindere (la rupere) din strat, corespunzătoare secțiunii transversale a carotierei, la care se adaugă și greutatea proprie a carotei de pământ din carotieră. Datorită faptului că prezența vibrațiilor poate reduce și mai mult aceste forțe de frecare, se recomandă ca extragerea carotierei din foraj să se facă în lipsa acestora. În cazul pământurilor argiloase, la menținerea carotei de pământ în carotieră pe timpul extragerii din foraj, contribuie și acea micșorare a diametrului interior al cuțitului, față de cel al carotierei, prin care se creează o mică treaptă cu rol de reținere a carotei de pământ.

La pământurile lipsite complet de coeziune, pentru menținerea materialului în carotieră pe timpul extragerii din foraj, se folosesc diferite sisteme de carotiere cu clapete.

În scopul reducerii forțelor de frecare care se manifestă pe suprafața laterală exterioară a carotierei, respectiv al măririi vitezei de înaintare a carotierei în teren, alături de prezența fantelor longitudinale este indicată și o mărire a diametrului exterior al cuțitului cu 2-3 mm, față de cel al carotierei, cât și ascuțirea unilaterală a cuțitului. Constructiv ascuțirea cuțitului poate fi: exterioară, simetrică și interioară.

Cercetările experimentale întreprinse în această direcție au condus la concluzia că soluția de ascuțire exterioară (dinspre exterior înspre interior) a cuțitului, este cea mai corespunzătoare din punct de vedere practic, mai ales în cazul terenurilor coezive, unde este necesar ca structura pământului din carota tăiată de carotieră să nu fie deranjată. Comparativ viteza de înaintare a carotierei la care cuțitul are ascuțire exterioară este de aproximativ două ori mai mare față de cazul ascuțirii simetrice și de aproximativ trei ori față de cel al ascuțirii interioare [97]. Acest lucru se explică prin faptul că prin ascuțirea interioară și simetrică a cuțitului, se creează condiții de manifestare accentuată a efectului

de pilot, chiar și la lungimi reduse a marșului (curselor) de vibroforare.

2.4. Tehnologia vibroforării și domeniile de folosire

2.4.1. Foraje verticale

În domeniul construcțiilor volumul cel mai mare de foraje verticale este destinat lucrărilor de cercetare tehnico-geologică și geotehnică a terenurilor de fundare. Totuși executarea de foraje verticale apare ca necesară destul de frecvent și la alte categorii de lucrări, cum ar fi: piloți turnați la fața locului (piloți tip VUIS spre exemplu), puțuri hidrologice de observație, lucrări de consolidare a terenurilor prin injectare de lianți sau substanțe chimice, etc.

Ca și la celelalte sisteme de forare, începerea executării forajelor verticale prin procedeul vibroforării, este precedată de unele operații pregătitoare care în principiu constau în următoarele: instalarea vibroinstalației pe punctul forajului, descărcarea și asamblarea instrumentelor și prăjinilor de foraj, punerea vibroînfigătorului în poziție de lucru, etc.

Începerea vibroforării se face de obicei cu o carotieră de diametru mai mare, fixată direct de vibroînfigător sau prin intermediul unor trensoane de tije din care este alcătuită prăjina de foraj.

Prima cursă (marș) de regulă nu conduce la umplerea carotierei pe toată lungimea sa, datorită efectului de compactare mai pronunțat care are loc în zona de suprafață a terenului, unde starea de îndesare sau de consolidare este mai redusă în marea majoritate a cazurilor. Din această cauză, dacă se impune realizarea unui randament al carotierei cât mai apropiat de 100%, este necesar ca prima cursă să fie redusă, uneori pînă în jur de 0,5 m. Lungimea curselor următoare trebuie să fie pe cît posibil apropiată de lungimea optimă și bineînțeles corelată cu lungimea carotierei folosite. În continuare procesul de vibroforare constă din cicluri identice de operații care se succed, fiecare ciclu cuprinzînd următoarele operații:

- coborîrea instrumentului de forare (carotiera) pînă la abatajul forajului, sub acțiunea greutății proprii a ansamblului vibroînfigător-prăjină de foraj-instrument, fără funcționarea vibroînfigătorului sau cu funcționarea intermitentă de scurtă durată;

- vibroforarea pe adîncimea corespunzătoare lungimii optime a cursei respective;

- extragerea la suprafață a prăjinii de foraj împreună cu instrumentul de forare umplut cu pământ;

- curățirea instrumentului de forare de pământul extras din foraj.

La coborîrea carotierei în foraj, atunci cînd diametrul acesteia este egal cu diametrul găurii care s-a forat în cursa anterioară, frecvent se poate întîmpla ca instrumentul de forare să nu ajungă pînă la abatajul forajului, rămînînd mai sus cu 0,5 -1,0 m, sau chiar mai mult. Aceasta se explică atît prin îngustarea forajului, respectiv surparea pe alocuri a peretelui acestuia, dar mai ales prin faptul că la coborîre nu se poate asigura o liniaritate perfectă a dispozitivului de forare (carotiera împreună cu prăjina de foraj). Datorită acestui lucru, la coborîre carotiera se infișează pe alocuri în peretele forajului, umplîndu-se pe o parte din lungimea sa, astfel încît cursa respectivă devine artificial micșorată. Documentarea geologică devine dificilă în această situație, neputîndu-se face delimitarea precisă între marșurile (cursurile) de vibroforare. Pentru evitarea acestui lucru, în special la foraje geotehnice executate prin vibroforare, este indicat ca pe măsura creșterii adîncimii forajului să se utilizeze carotiere cu diametru mai mic.

După cum s-a arătat și în paragraful 2.2.1. viteza de vibroforare (de înaintare a instrumentului de forare pe lungimea unei curse) depinde de mai mulți factori: parametrii de lucru și tipul vibroînfigătorului, natura și rezistența pământului în care se forază, diametrul și alcătuirea constructivă a carotierei, adîncimea forajului. Atunci cînd viteza de vibroforare scade la mai puțin de 0,05 m/min, este nerațională continuarea vibroforării (cu excepția forării în roci foarte compacte) pînă la epuizarea lungimii cursei respective. De asemenea este indicat ca durata medie de funcționare continuă a vibroînfigătorului să nu depășească 15 minute.

La vibroforarea în pămînturi argiloase, pentru extragerea garniturii de foraj, respectiv desprinderea carotierei din abatajul forajului, sînt necesare forțe statice relativ mari pe care trebuie să le asigure instalația. Reducerea acestor forțe poate fi realizată atît prin micșorarea lungimii cursei de vibroforare, cît și prin funcționarea intermitentă a vibroînfigătorului timp de 3-5 secunde, cu întinderea concomitentă a cablului troliului vibroinstalației.

În cazul cînd la vibroforare se interceptează pe adîncime pămînturi nestabile, stabilitatea peretelui forajului se realizează

prin tubare cu coloană de foraj, alcătuită din tronsoane de tuburi metalice, care se pot introduce în teren cu ajutorul sceluișii vibroînfigător cu care se execută și vibroforarea. Necesitatea tubării forajului se stabilește pe baza studierii straturilor de pământ străbătute prin vibroforare. Dacă la coborîrea repetată a instrumentului de forare în foraj, acesta nu atinge abatajul forajului, rămînînd mai sus, iar pămîntul extras se prezintă sub forma unei mase puternic deranjate, înseamnă că pe adîncime s-a interceptat un strat nestabil. Coloana de foraj cu diametru egal cu al forajului se introduce în adîncime pînă la străbateră completă a orizontului instabil, verificarea făcîndu-se, prin curățirea interiorului coloanei cu ajutorul unei carotiere cu clapete sau lunguri. Continuarea vibroforării se face după tehnologia obișnuită, cu precizarea că diametrul exterior al carotierei folosite va fi cu cca 25-35 % mai mic decît diametrul interior al coloanei, pentru a preîntîmpina înțepenirea carotierei în coloană.

În cazul cînd pe toată adîncimea de vibroforare se străbat pămînturi cu stabilitate foarte redusă și cînd tubarea se impune a fi făcută de la început, se poate aplica tehnologia de lucru prezentată schematic în fig.2.8.

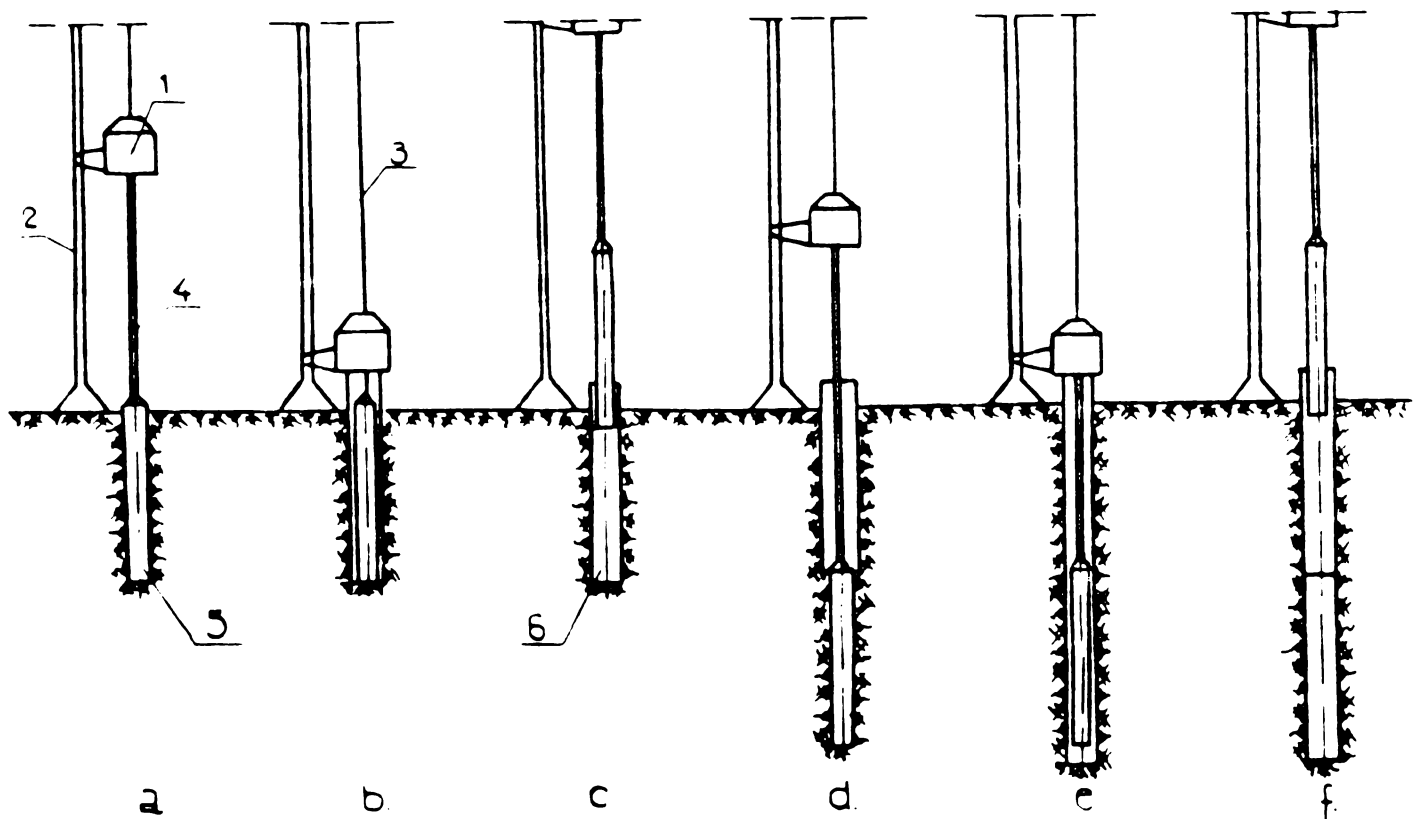


Fig.2.8. Etapele executării vibroforării cu tubarea forajului

1.-vibroînfigător;2-luminare de ghidaj;3-cablu;4-prăjina de foraj; 5-carotiera;6-coloana de foraj(tubaj)

Vibroforarea începe prin introducerea carotierei în teren în prima cursă(fig.2.8 a), iar apoi fără a extrage carotiera se

introduce primul tronson al coloanei de foraj, a cărui diametru interior este mai mare decât diametrul exterior al carotierei (fig. 2.8 b). Se extrage carotiera (fig. 2.8 c), se curăță de material și se introduce din nou pe lungimea celei de a doua curse (fig. 2.8 d). Se anseamblează un alt tronson al coloanei de foraj la capătul superior celui introdus și se continuă tubarea pînă la nivelul inferior al cursei a doua (fig. 2.8 e). În continuare operațiile se succed în același mod pînă la adîncimea necesară a forajului (fig. 2.8 f).

Pentru stabilirea cît mai precisă a limitelor litologice de stratificație, în special dacă se străbat pămînturi de consistență redusă și curgătoare, este necesar ca tubarea să depășească în adîncime abatajul forajului corespunzător fiecărei curse de vibroforare. De asemenea este indicat ca pe măsura creșterii adîncimii forajului, cursele de vibroforare să se realizeze cu carotiere de diametru mai mic. Este bine de asemenea ca prin alcătuirea constructivă a vibroînfigătorului, acesta să fie prevăzut cu un gol central prin care la nevoie poate trece coloana de foraj (tubaj), iar pentru fixarea acestuia de vibroînfigător să existe posibilitatea realizării ei și pe lungimea tubului, nu numai în zona de capăt. Această ultimă considerație prezintă avantaje prin simplificarea unor operații, în special la extragerea coloanei de tubaj din teren.

2.4.2. Foraje orizontale

În ultimul timp în practica construcțiilor s-au dezvoltat și au început să fie aplicate în producție o serie de tehnici noi, moderne, a căror utilizare necesită executarea de foraje orizontale sau suborizontale (puțin înclinate). Dintre aceste tehnici moderne, de mare eficiență tehnică și economică, se pot menționa: subtraversarea terasamentelor căilor de comunicații cu conducte și cabluri fără întreruperea circulației, ancoraje pretensionate fixate în teren, drenuri orizontale forate folosite pentru consolidarea și stabilizarea terenurilor afectate de instabilitate, precum și la captări de apă radiale, etc.

Pătrunderea rapidă în practica curentă a construcțiilor, a acestor tehnici moderne și utilizarea lor pe scară din ce în ce mai largă în momentul actual, se explică atît prin eficiența lor sporită, cît și prin perfecționarea tehnologiilor de forare, respectiv prin comecerea și realizarea unor utilaje și instalații capabile să execute forajele orizontale necesare.

Una din tehnologiile de execuție a forajelor orizontale destinate acestor categorii de lucrări este și cea bazată pe tehnica

vibrării, putîndu-se folosi atît procedeul vibrostrăpungerii cu con cît și cel al vibroforării cu carotieră [82].

Procedeul vibrostrăpungerii cu con, folosit în special pentru lucrări de subtraversare cu conducte a terasamentelor, a fost preconizat încă din anul 1958 de către A.I.Luskin [53],

Procesele caracteristice vibrostrăpungerii cu con sînt în principiu analoage cu cele care intervin la vibroînfigerea în teren a piloților. Unele deosebiri pot apărea doar prin faptul că diametrul vîrfului conic de regulă este mai mare decît al prăjinii de foraj (care uneori poate fi chiar conducta sau țeava de subtraversare), ceea ce evident că favorizează reducerea forțelor de frecare în mai mare măsură. De asemenea se știe că în cazul vibroînfigerii piloților, înaintarea în teren are loc sub acțiunea greutatei proprii a ansamblului vibroînfigător-pilot, la care se mai poate adăuga o suprasarcină și care în total crează presiunea necesară de înfigere, respectiv de învingere a rezistenței frontale și laterale (nedistrusă de efectul vibrațiilor), opusă de pămînt. La vibrostrăpungere orizontală cu con este evident că înaintarea în teren a vîrfului conic nu se produce sub acțiunea greutatei proprii a vibromecanismului, ci datorită unei forțe statice de presare creată de instalația de vibroforare. Avînd în vedere acest lucru, este foarte important ca aplicarea acestei forțe statice de presare să nu reducă intensitatea vibrațiilor sau vibropercuțiilor dirijate, motiv pentru care ea se transmite elementului de înfigere printr-un sistem elastic, calculat în consecință.

Studiile și cercetările întreprinse cu concursul autorului în cadrul Catedrei de Drumuri și fundații, privind tehnologia de execuție a forajelor orizontale, au început cu conceperea și executarea unor instalații de vibroforare pe orizontală (IFP-1; IFO-2). Constatările și concluziile desprinse atît din lucrări experimentale cît și din lucrări de producție (respectiv subtraversări și drenuri orizontale forate) executate cu aceste instalații [82], [84], [88], au servit la stabilirea parametrilor de bază a unei noi instalații (IVO-1), a cărui prototip a fost omologat în anul 1973 și care a fost folosită în decursul timpului, la executarea unui mare volum de lucrări (subtraversări, drenuri orizontale forate, ancoreaje pretensionate fixate în teren etc).

În principiu alcătuirea constructivă a acestor instalații de vibroforare pe orizontală, cuprinde următoarele elemente principale (fig.2.9).

- cadrul de bază al instalației;

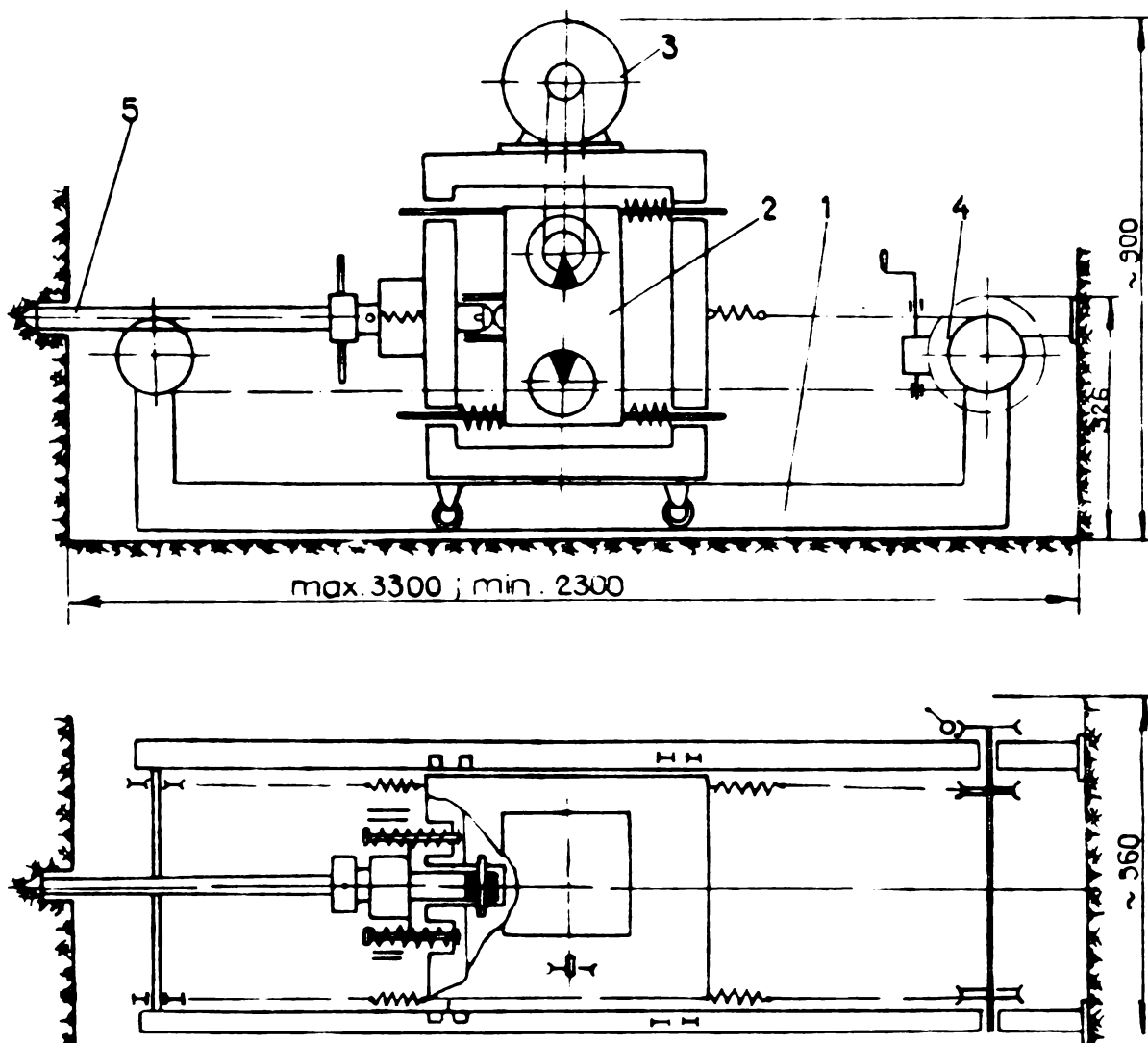


Fig.2.9, Schema de principiu a instalației de forare pe orizontală IFO-1.

1-cadru; 2-vibromecanism; 3-electromotor; 4-troliu; 5-coloana cu conul de vibrostrăpungere

- vibromecanismul (vibrator sau vibropercutor);
- motorul electric de antrenare a vibromecanismului;
- instalația de realizare a forței statice de presare (sistem de trolii sau hidraulic);
- instrumente de vibroforare (conuri de vibrostrăpungere și carotiere) și accesorii.

Executarea forajelor orizontale prin procedeul vibrostrăpungerii cu con, se poate aplica în cazul pământurilor necoezive de compactitate redusă și medie, precum și a pământurilor slab coezive sau chiar coezive de consistență redusă. Tehnologia de lucru corespunzătoare acestui procedeu cuprinde următoarele operații de lucru (fig.2.10):

- se montează conul de vibrostrăpungere la primul tronson al prăjinii de foraj, care se prinde rigid de vibromecanism; vibromecanismul este deplasat înspre înainte (în direcția forajului) cu ajuto-

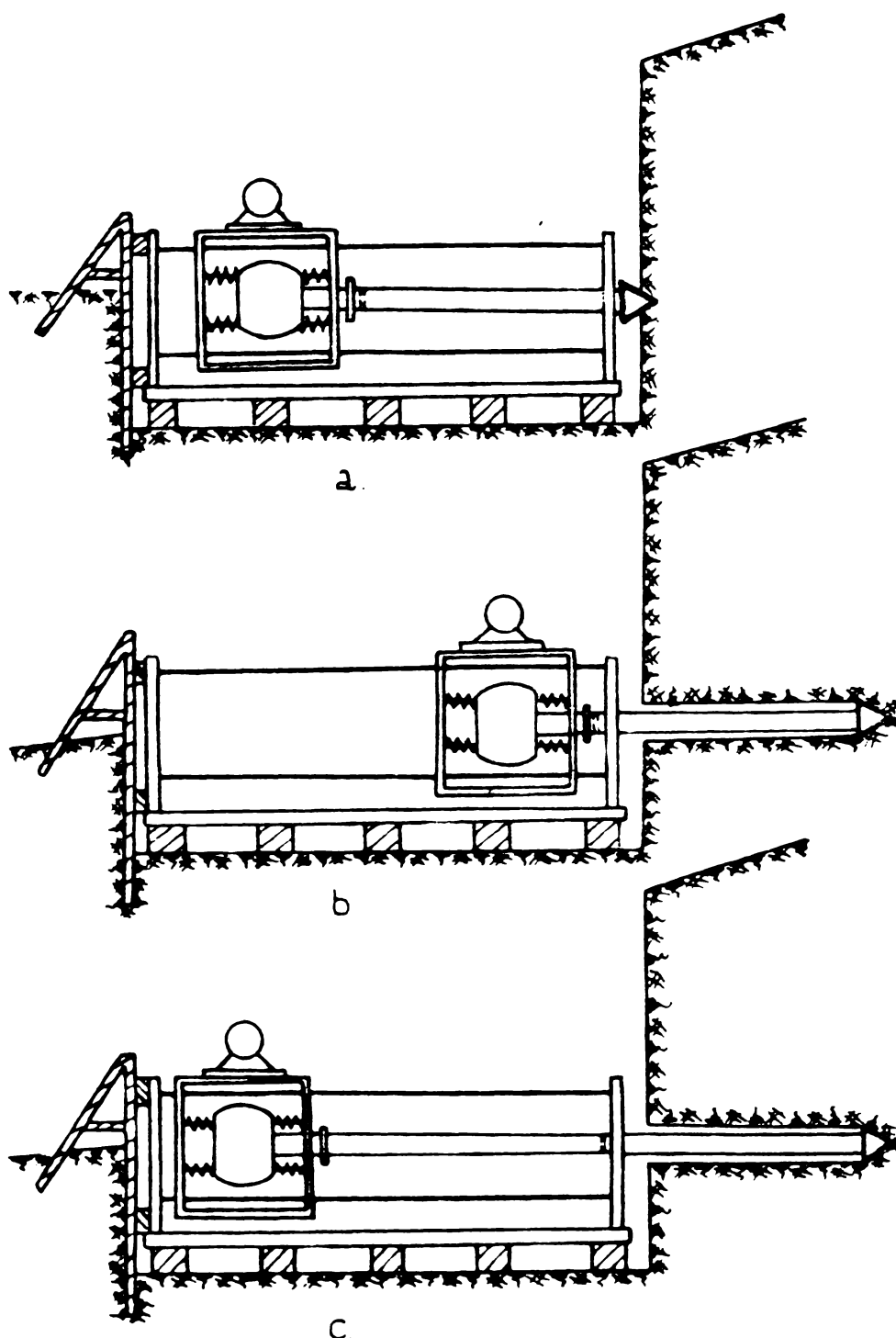


Fig.2.10. Schema tehnologică de lucru

rul forței statice pînă cînd conul pătrunde în teren 10-15 cm (fig.2.10 a).

-se pornește vibromecanismul și cu ajutorul forței de presare statică, respectiv prin reducerea forțelor de frecare sub efectul vibrațiilor (vibropercuțiilor), se înfige în teren pe toată lungimea sa, primul tronson al prăjinii de foraj (fig.2.10 b);

-se oprește funcționarea vibromecanismului și se detașează de el tronsonul introdus în teren, deplasînd înspre înapoi pînă la refuz vibromecanismul; în spațiul rămas liber se intercalează un nou tronson al prăjinii de foraj, care se îmbină cu cel introdus și se fixează rigid de vibromecanism (fig. 2.10.c);

- se pornește din nou vibromecanismul, continuîndu-se înfigerea pe lungimea celui de al doilea tronson al prăjinii de foraj.

Acest ciclu de operații se repetă pînă la atingerea lungimii necesare a forajului orizontal, după care începe extragerea prăjinii de foraj și apoi în funcție de destinația forajului, în el se montează alt element (conductă, cablu, tirant etc).

În cazul pămînturilor cu compactitate și consistență ridicate, precum și atunci cînd compactarea suplimentară laterală care

are loc la vibrostrăpungerea cu con, este nefavorabilă scopului propus (spre exemplu drenuri orizontale la captări radiale de apă), pentru executarea forajelor orizontale se recomandă folosirea procedurii vibroforării cu carotieră. Alcătuirea constructivă a carotierelor este aceeași ca și la cele folosite la vibroforarea verticală.

Tehnologia de execuție a forajelor orizontale prin procedeul vibroforării cu carotieră comportă următoarele operații de principiu:

- se fixează rigid carotiera de vibromecanismul instalației, care se deplasează apoi înspre înainte pînă cînd cuțitul tăietor al carotierei se înfige în teren;

- se pornește vibromecanismul și prin forța statică aplicată în prezența vibrațiilor sau vibropercuțiilor, se introduce carotiera în teren pe lungimea sa;

- se oprește funcționarea vibromecanismului și se schimbă sensul de acțiune al forței statice pentru deplasarea înspre înapoi a vibromecanismului, extrăgînd carotiera din teren, împreună cu pămîntul din ea;

- se demontează carotiera de la vibromecanism și se curăță de pămîntul extras;

- se introduce carotiera prin presare statică în gaura forată, iar în spațiul dintre capătul ei și vibromecanism se montează primul tronson al prăjinii de foraj; prin pornirea vibromecanismului se vibroforează o nouă cursă egală cu lungimea carotierei, după care se procedează la extragerea și curățirea carotierei de pămînt;

- se prelungește prăjina de foraj cu încă un tronson, vibroforarea continuînd cu repetarea ciclului de operații pînă la atingerea lungimii proiectate a forajului orizontal.

Viteza de vibroforare atît în cazul procedurii de vibrostrăpungere cu con cît și în cel al vibroforării cu carotieră, este funcție de o serie de parametri [40], [53], [131]: natura și rezistența terenului, diametrul și lungimea forajului, parametrii de lucru ai vibromecanismului, mărimea forței statice de presare, etc. Referitor la raportul dintre forța statică de presare și forța perturbatoare a vibromecanismului, s-a constatat că se obține viteza maximă de vibroforare, cînd valoarea acestuia este de 0,3-0,6 [53].

Viteza de vibroforare propriu-zisă (de înaintare în teren a instrumentului de forare), în general este mai mare la procedeul vibroforării cu carotieră decît la cel al vibrostrăpungerii cu con. Datorită operațiilor suplimentare care apar la vibroforarea cu carotieră (desasamblarea și asamblarea prăjinii de foraj după fiecare cursă, curățirea carotierei), viteza mecanică reală de execuție este inferioară celei corespunzătoare procedurii vibrostrăpungerii cu con

CAPITOLUL III

CERCETARI EXPERIMENTALE PRIVIND PROCESUL SI TEHNOLOGIA VIBROFORARII

3.1. Vibromecanisme, instalații și instrumente de vibroforare folosite

3.1.1. Vibromecanisme

Dat fiind existența, în cadrul catedrei de Drumuri și Fundații a Facultății de construcții din Timișoara, a unor vibratoare și vibropercutoare, a căror alcătuire constructivă și caracteristici tehnice au fost verificate cu bune rezultate [65], [68], atât prin încercări experimentale cât și printr-o serie de lucrări de producție (înfigerea piloților prefabricați, a palplanșelor, a tuburilor etc), pentru cercetările experimentale efectuate privind studiul procesului și tehnologiei de vibroforare, s-a recurs la folosirea unora dintre acestea și anume:

- vibratorul experimental tip VE 1;
- vibratorul experimental tip VE 3;
- vibropercutorul experimental tip VPE 1.

Vibratorul experimental tip VE 1 [64], [67], a fost proiectat și realizat în cadrul catedrei de Drumuri și fundații, fiind destinat experimentării unor lucrări de geotehnică și fundații. În principiu vibratorul experimental tip VE 1 (fig.3.1) se compune din două părți principale: carcasa vibratorului și motorul electric.

În carcasă se găsesc montate pe lagăre cu rulmenți două axe cu excentrici pe care se află câte două mase excentrice. Cele două axe sînt cuplate la unul din capete cu două roți dințate, ceea ce face ca prin rotirea uneia dintre axe într-un sens, cealaltă să se rotească în sens invers. De aceea, una din axe este prevăzută la capătul rămas fără roată dințată cu o fulie cu curele trapezoidale.

Motorul electric, așezat deasupra carcasei prin intermediul unei plăci metalice fixată cu patru șuruburi sudate de carcasă, are posibilitatea să se ridice sau să coboare cu circa 7-10 cm, în cazul cînd se impune schimbarea fuliilor pentru curelele trapezoidale.

Parametrii inițiali ai acestui vibrator se încadrează în următoarele domenii de valori:

- momentul static al maselor excentrice în rotație:
57 - 180 daNcm;
- turația maselor excentrice în rotație 1000-1800 rot/min.;

- forța perturbatoare maximă: 650 - 6500 daN;
- puterea motorului electric de antrenare 5,8 KW.

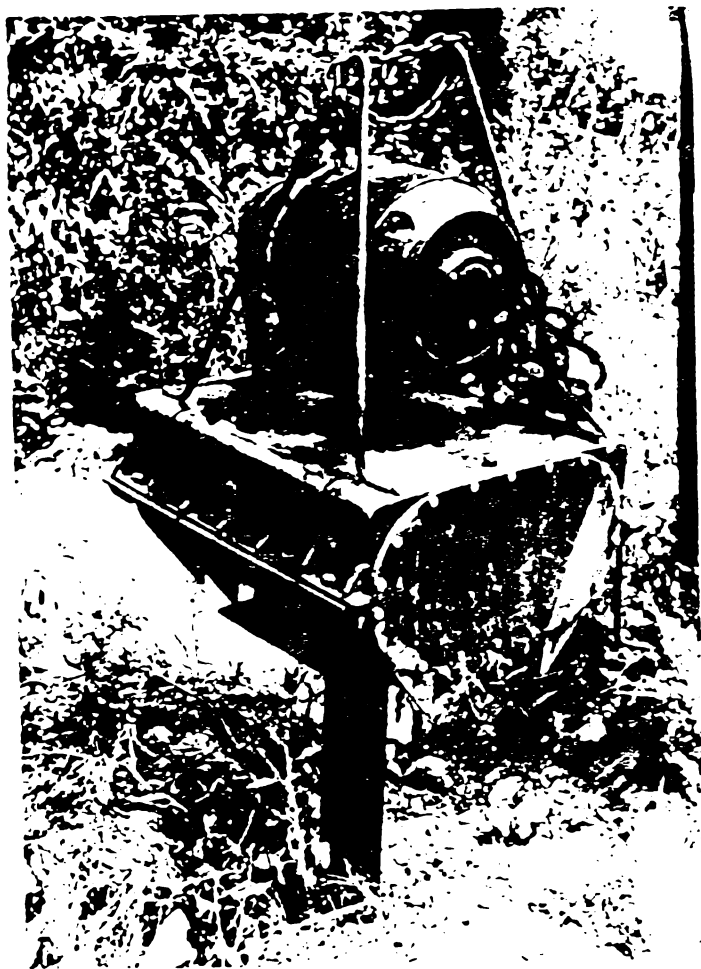


Fig.3.1.Vibratorul experimental tip VE 1

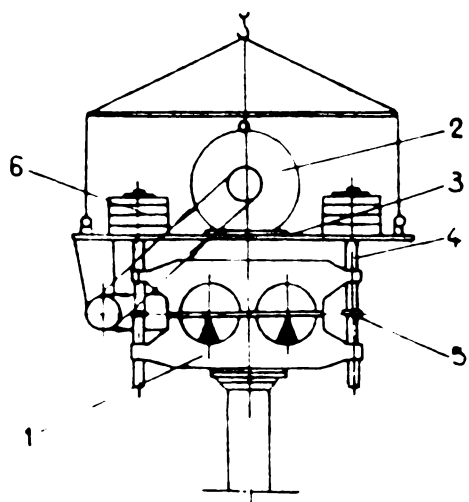


Fig.3.2.Schema de principiu a vibratorului VE 1 îmbunătățit

Experimentarea vibratorului VE 1 la lucrări de înfigere a piloților și palplanșelor din lemn cu dimensiuni reduse, a tuburilor și profilelor metalice și chiar la lucrări de vibroforare în loess, pe lângă stabilirea unor concluzii teoretice referitoare la procesul de înfigere a elementelor în pământ [64], a arătat și comportarea bună a acestuia, atât din punct de vedere funcțional, cât și constructiv. Totuși pentru sporirea puterii de înfigere a vibratorului VE 1, pe baza concluziilor rezultate din experimentările inițiale, acestuia i s-a adus unele îmbunătățiri, atât din punct de vedere constructiv, cât și din punct de vedere al para-

metrilor. Schița de principiu a vibratorului VE 1 îmbunătățit se poate urmări în fig.3.2., din care se observă că alcătuirea constructivă corespunzătoare acestei variante, constă din vibratorul propriu-zis(1), și motorul electric (2), care este separat de astă dată de carcasa vibratorului printr-un element de susținere. Elementul de susținere constă dintr-o placă (3), de care sînt fixate patru tije cu arcuri(4), ghidate prin intermediul unor inele(5) sudate la carcasa vibratorului.

În afară de susținerea motorului electric, placa servește și pentru montarea unor greutate suplimentare (6) pe ea, prin aceasta sporindu-se presiunea statică asupra elementului care se înfige în teren.

Prin modificările constructive necesare realizării variantei VE 1 îmbunătățit, s-a acționat implicit și asupra valorilor unor para-

metri corespunzători vechi variante (VE 1). Astfel limita maximă a valorii momentului static a maselor excentrice în rotație s-a ridicat pînă la 360 daNcm, iar forța perturbatoare maximă pînă la 6000 daN.

Se menționează deasemenea că pe parcurs, cu ocazia executării experimentărilor pentru lucrări de vibroforare, vibratorului VE 1 i s-au adus și alte modificări, adaptîndu-se și pentru funcționare ca vibropercutor, cu turație de 700-1000 rot/min.

Vibratorul experimental tip VE 3 [64], conceput și realizat după același principiu funcțional și aceeași schemă constructivă ca și vibratorul VE 1, a fost destinat în special pentru punerea în evidență sub aspect calitativ a fenomenelor principale, care apar în procesul de înfigere prin vibrare în teren a diverselor elemente.

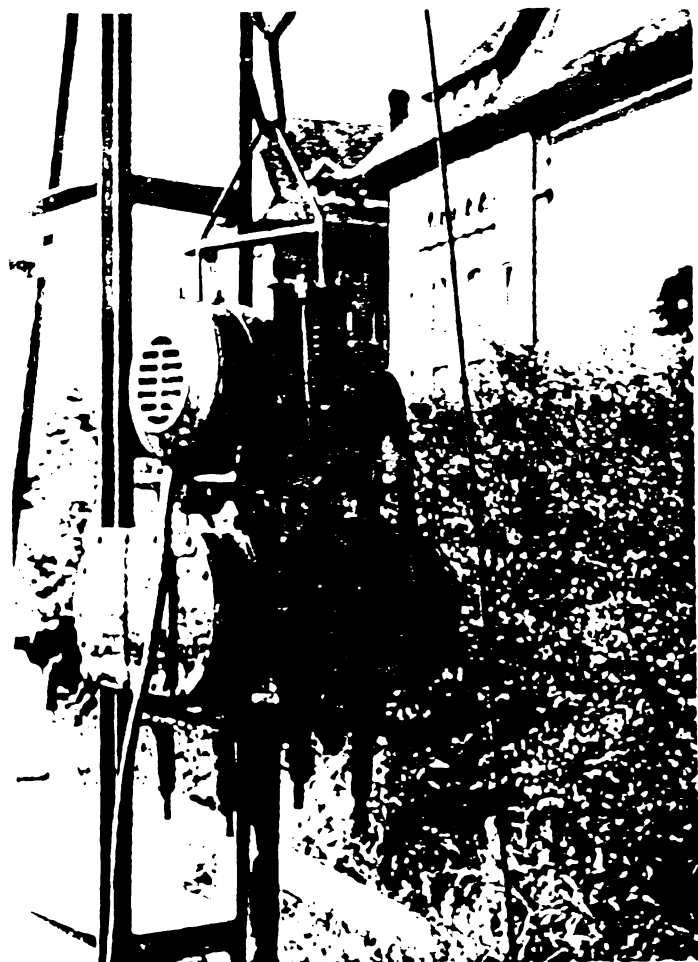


Fig.3.3. Vibratorul experimental tip VE 3

Pentru a putea fi folosit fără alte măsuri constructive suplimentare și în procesul de smulgere a elementelor din pămînt, acest vibrator este prevăzut cu o suspenție realizată prin plasarea unor arcuri. Folosind un motor electric în scurt circuit, de putere mică, la vibratorul VE 3 turația maselor excentrice se poate varia în mod continuu, într-un sens sau altul. Realizarea acestui lucru este posibilă prin folosirea unui generator de curent alternativ, cu frecvență variabilă, capabil să pună în funcțiune vibratorul.

După cum rezultă și din fig.3.3 vibratorul experimental VE 3 este prevăzut pe una din părțile laterale ale carcasei cu patru role de ghidaj, prin intermediul cărora se asigură glisarea sa pe un schelet metalic special construit.

Parametrii inițiali principali ai vibratorului experimental tip VE 3 se încadrează în următoarele domenii de valori:

- | | |
|--|--------------------|
| - momentul static al maselor excentrice în rotație | 5 - 85 daNcm; |
| - turație maselor excentrice în rotație | 1500-3200 rot/min; |
| - forța perturbatoare maximă | 140 - 3920 daN; |
| - puterea motorului electric de antrenare | 1,7-3,2 KW; |

În afară de unele lucrări experimentale propriu-zise și acest vibrator a fost folosit la unele lucrări de producție, cum ar fi smulgerea de tuburi de injecție, înfigeri de palplanșe din lemn și bineînțeles ulterior la lucrări de vibroforare.

Vibropercutorul experimental tip VPE 1 [64], [118], a fost proiectat și realizat cu scopul de a verifica eficiența procedurii de înfigere în teren prin vibropercuții, în special a unor elemente metalice sub formă de tuburi, palplanșe sau profile metalice.

Schema constructivă a acestui mecanism vibropercutant, folosit ulterior și la lucrări experimentale de vibroforare, este prezentată în fig.3.4, putându-se distinge următoarele trei părți principale:

- vibromecanismul propriu-zis (1) care constituie și masa vibropercutantă;
- motorul electric (2) fixat pe placa superioară (3), care este suspendată pe arcuri;
- sistemul de prindere de elementul de înfipt, care constituie și nicovale (4).

De la motorul electric montat pe placa superioară, mișcarea se transmite prin două trepte, a câte trei curele trapezoidale, la una

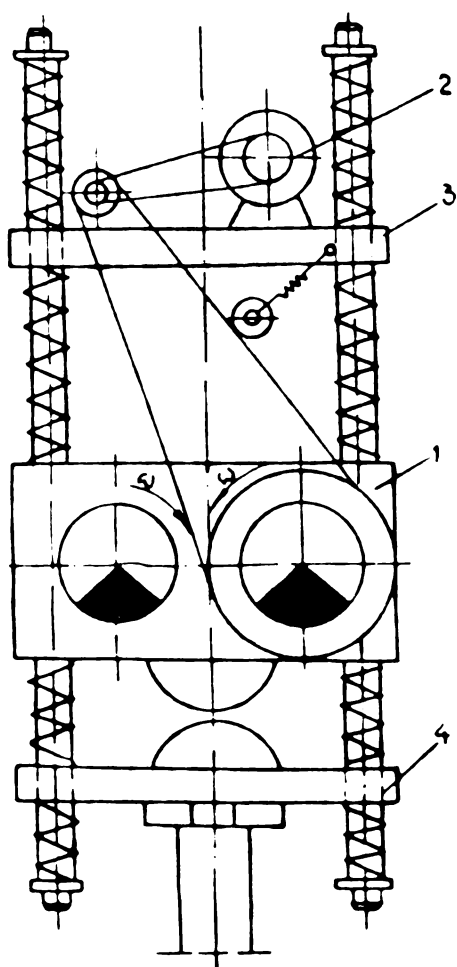


Fig.3.4.Schema constructivă a vibropercutorului experimental tip VPE-1

din axele pe care se găsesc masele excentricilor vibromecanismului. Prin rotirea acestei axe, care este cuplată cu a doua axă cu mase excentrice prin roți dințate, masele excentrice se rotesc în sens contrar, ceea ce conduce la anularea componentelor orizontale ale forțelor centrifuge, generate de masele excentrice în rotație. În felul acesta se obține o forță perturbatoare a cărei intensitate depinde de frecvența de rotație și de momentul static al maselor excentrice, obținându-se astfel o mișcare oscilatorie unidirecțională (după verticală).

Prin oscilația produsă, masa percutantă (ciocanul) imprimă elementului de înfipt, prin intermediul nicovalei, ciocniri periodice, care contribuie la învingerea rezistențelor opuse de pământ (frontale și laterale).

Valorile inițiale ale principalilor parametri ai vibropercutorului experimental

se înscriu în următoarele limite de valori:

- momentul static al maselor excentrice în rotație 100-240 daNcm;
- turația maselor excentrice în rotație 746-982 rot/min.;
- forța perturbatoare maximă 1000 -2550 daN;
- puterea motorului electric de antrenare 4,5 KW.

3.1.2. Instalații de vibroforare

După efectuarea unor cercetări și încercări experimentale privind lucrările de vibroforare, prin folosirea unor instalații improvizate, respectiv obținerea unor concluzii practice în această direcție, în cadrul catedrei de Drumuri și Fundații au fost realizate cu concursul autorului, două instalații de vibroforare, care la început au fost folosite ca modele funcționale pentru experimentări, iar ulterior și pentru executarea unor lucrări de vibroforare cu caracter de producție.

Realizarea acestora a constat în echiparea cu vibromecanisme și instrumente de vibroforare a unor autoforeze existente, care nu funcționau pe principiul vibrațiilor sau al vibropercuțiilor.

Astfel, în colaborare cu ISPIF București și cu catedra de mecanică teoretică de la Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, o autoforeză de tip AVB 3-100, a fost echipată cu vibropercutorul experimental VPE 1, pentru care au fost stabilite următoarele valori a parametrilor principali:

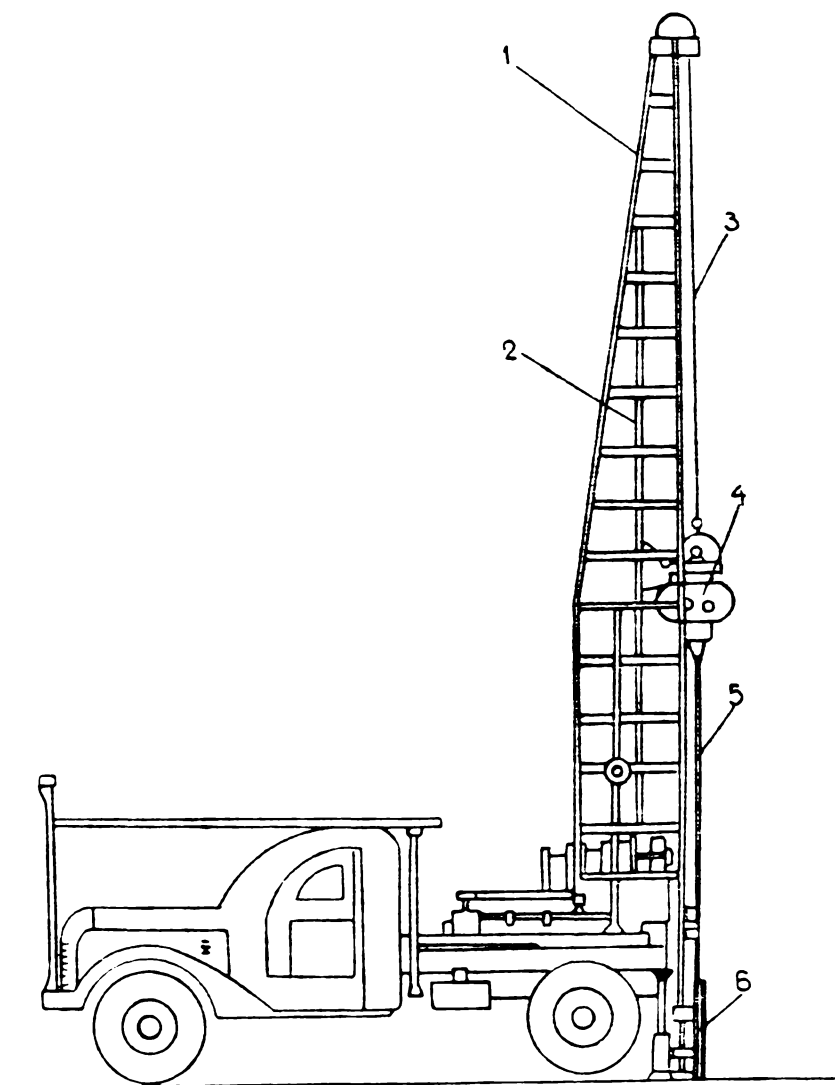
- momentul static a maselor excentrice în rotație 240 daNcm;
- turația maselor excentrice în rotație 1100 rot/min.;
- forța perturbatoare maximă 3100 daN;
- puterea motorului electric de antrenare 4,5 KW;
- masa piesei percutante a vibromecanismului 370 Kg;
- masa totală a vibromecanismului 700 Kg.

Instalarea vibropercutorului pe autoforeză s-a făcut prin montarea pe turla existentă a două glisiere executate din profile U. Folosind cablul de manevră al prăjinii de foraj (demonțată), vibropercutorul se poate manevra pe verticală (culisind pe glisierele de ghidaj) cu foarte mare ușurință (fig.3.5).

Energia electrică necesară alimentării motorului electric de antrenare a vibropercutorului, a fost furnizată de un grup electrogen de 30 KW, care a corespuns pe deplin scopului propus, asigurând pornirea și oprirea ușoară a electromotorului.

A doua instalație de vibroforare, folosită în prima fază tot ca model funcțional pentru experimentări și apoi pentru realizarea

unui volum relativ mare de feraje în condiții de producție, s-a realizat prin adaptarea la funcționare pe bază de vibropercuții și vibrații a unei autoforeze de tip UKB 2-100. Alcătuirea constructivă



de principiu a vibroforezei UKB 2-100, se poate urmări în schema prezentată în fig.3.6.

Pe turla de foraj a autoforezei, prin intermediul unui cadru de ghidaj s-a montat vibratorul experimental tip VE-1, adaptat la posibilitatea de a funcționa ca vibropercutor.

Curentul electric necesar pentru acționarea motorului electric de antrenare a vibropercutorului și a troliilor de manevră, a fost furnizat de un generator de 18 KW, montat pe vibroforeză și acționat la rîndul său de un motor cu explozie,

Fig.3.5. Schema constructivă a vibroforezei independent de motorul AVB 3-100(model funcțional)

1-turla;2-cadru de ghidaj;3-cablul de manevră; 4-vibropercutorul;5-prăjina de foraj; 6- carotiera

autoforezei.

Părțile componente precum și principalii

parametrii ai instalației de forță se pot urmări în schema mecanică de principiu din fig.3.7. Urmărind această schemă se observă principiul de lucru al instalației de forță, care constă în următoarele: se pornește motorul cu explozie care antrenează generatorul de curent, producînd astfel energie electrică; apoi prin intermediul tabloului de comandă se pot porni cele două motoare electrice, unul de antrenare a vibropercutorului iar celălalt de acționare a troliilor mecanice de manevră. La pornirea motorului electric de antrenare a vibropercutorului, pentru a compensa necesarul sporit de energie electrică la pornire, se acționează asupra reostatului pînă cînd electromotorul ajunge la turația sa de regim (1450 rot/min).

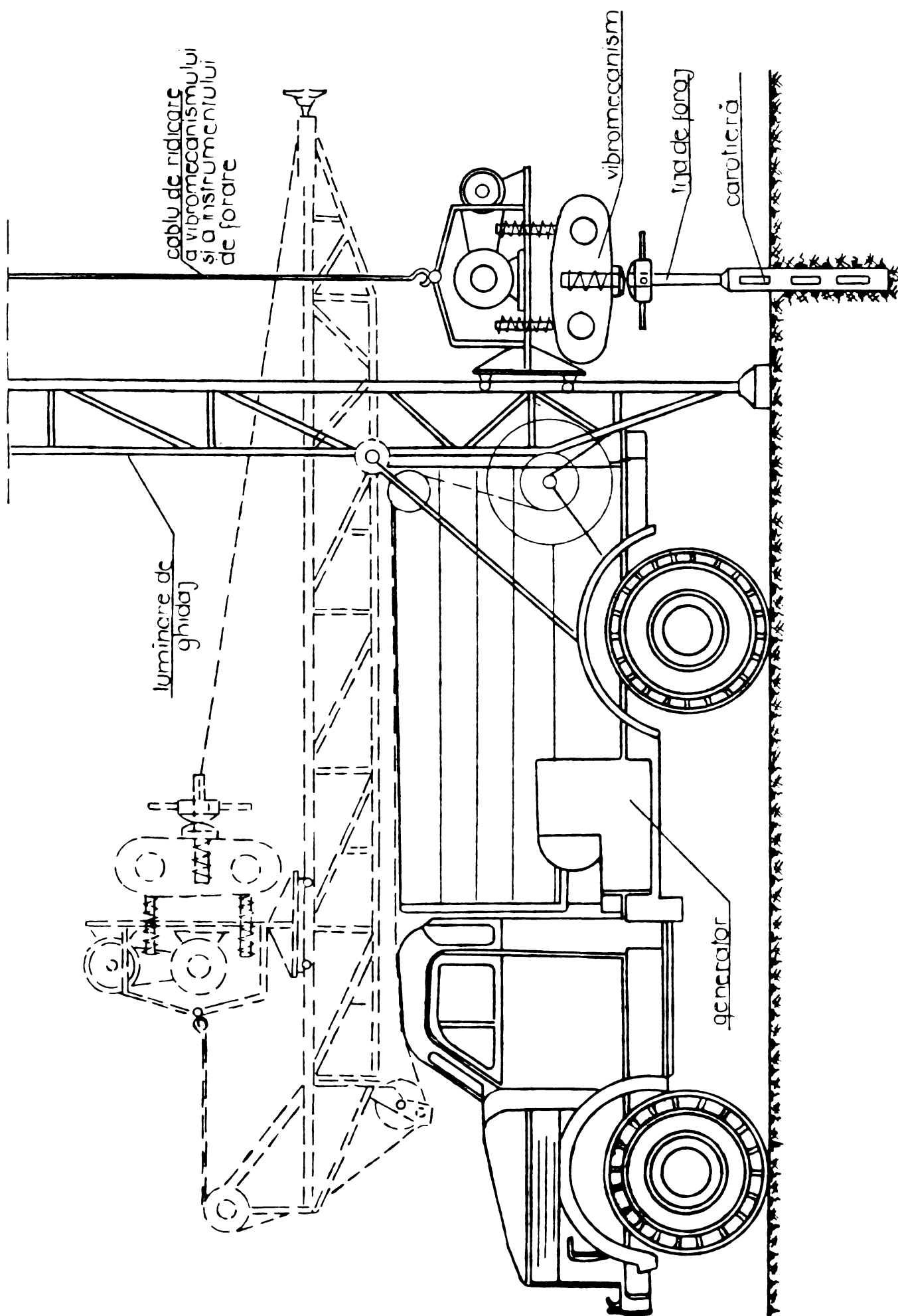


Fig. 3.6. Schema constructivă a vibroforezei UKB 2-100 (model funcțional)

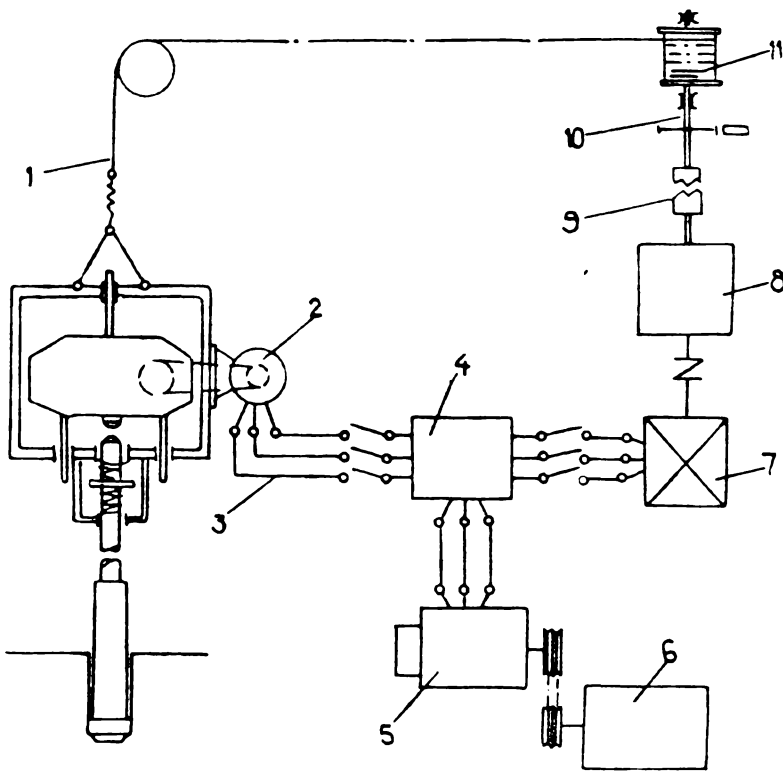


Fig.3.7.Schema instalației de forță a vibroforezei UKB 2-100

1-vibropercutorul; 2-motorul electric; 3-sistemul de prindere; 4-tabloul de comandă; 5-generatorul de curent; 6-motorul cu explozie; 7-motorul electric al troliului; 8-reductorul; 9-clichet de fixare; 10-frâna cu bandă; 11-troliu.

cercetări care se prezintă în detaliu în capitolul 4. Valorile acestor parametri sînt:

- momentul static al maselor excentrice în rotație 300 daNm;
- turația maselor excentrice în rotație 700-1000 rot/min;
- forța perturbatoare maximă 1500 -3000 daN;
- puterea motorului electric de antrenare 5,8 KW;
- masa piesei vibropercutante 350 Kg;
- masa totală a vibropercutorului 750 Kg.

În momentul de față vibroforeza UKB 2-100 este casată, datorită uzării totale a autovehiculului purtător.

Experimentarea de către autor a instalației de vibroforare UKB 2-100, precum și utilizarea ei la executarea în condiții de producție a unor lucrări de forare, o perioadă de peste 8 ani, au condus la stabilirea unor concluzii utile pentru practica vibroforării, mai ales în ceea ce privește aplicarea acestei metode la executarea forajelor geotehnice cu recoltări de probe netulburate. Totodată constatările și observațiile făcute într-o perioadă de timp relativ lungă, au stat la baza proiectării și realizării în cadrul catedrei de

Prinderea carotierei sau a prăjinii de foraj de cadrul vibropercutorului, s-a realizat printr-un sistem elastic de arcuri.

Dat fiind faptul că de la început s-a urmărit, ca vibroforeza UKB 2-100 să poată fi folosită și pentru executarea forajelor geotehnice cu recoltări de probe netulburate, la alegerea parametrilor principali ai vibropercutorului, s-au avut în vedere concluziile rezultate din cercetările efectuate de autor, privind influența vibrațiilor și vibropercuțiilor asupra caracteristicilor geotehnice ale pămînturilor,

Drumuri și Fundații, a unei noi instalații de vibroforare, denumită "Autovibroforeză hidraulică - AVFH-1" (fig.3.8).

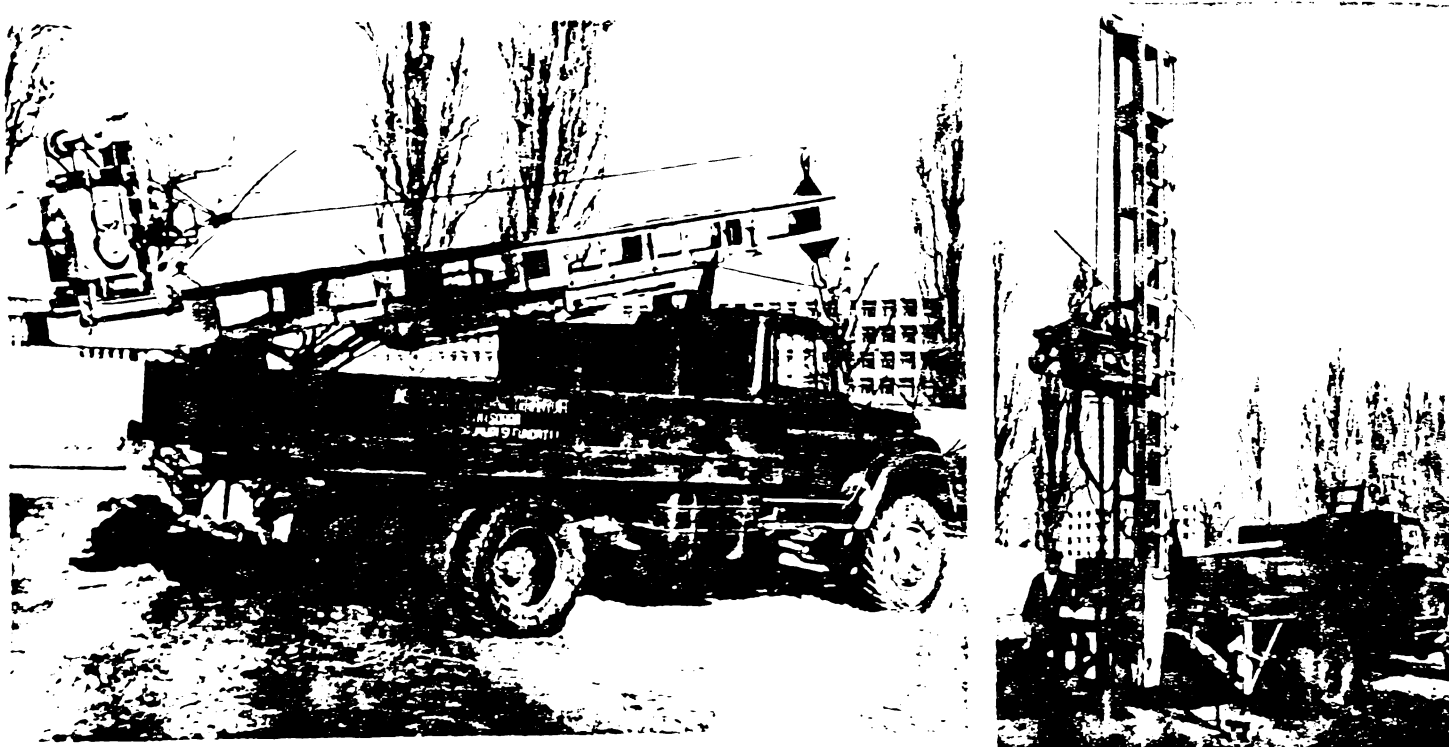


Fig.3.8. Autovibroforeza hidraulică AVFH-1

În principiu, autovibroforeza hidraulică AVFH-1, este alcătuită din următoarele părți componente:

- autocamion SR 114, folosit ca vehicul purtător;
- generator de energie hidraulică;
- vibromecanism;
- luminare de ghidaj;
- dispozitiv de ridicare-coborîre;
- sistem de calare.

Vibromecanismul constă dintr-un vibrator de tip mecanic centrifugal, cu posibilitate de a fi adaptat și pentru funcționare ca vibropercutor.

Avînd în vedere gama mai largă a lucrărilor de vibroforare, pentru care este destinată instalația AVFH-1 (foraje geotehnice și hidrogeologice, foraje pentru ancoreje pretensionate fixate în teren, puțuri filtrante cu rol de coborîre a nivelului apei subterane, etc), precum și executarea de foraje tubate, parametrii principali ai vibromecanismului proiectat au fost astfel stabiliți, încît să asigure posibilitatea executării unor foraje cu diametru pînă la 300 mm și chiar mai mult. Valorile acestor parametri sînt:

- | | |
|-------------------------------|--------------------|
| - momentul maselor excentrice | 400 daNcm; |
| - turația maselor excentrice | 700-1000 rot/min.; |
| - forța perturbatoare max. | 4250 daN; |
| - masa vibromecanismului | 675 daN; |

Comparînd valorile de mai sus cu cele ale parametrilor vibratorului VE-1, montat pe vibroforeza UKB 2-100, se observă că ridicarea valorii maxime a forței perturbatoare de la 3000 daN la 4250 daN, s-ă făcut pe seama sporirii momentului maselor excentrice de la 300 daNcm la 400 daNcm, păstrînd aceleași limite pentru domeniul de variație a turației (700 - 1000 rot/min).

Faptul că pentru sporirea capacității de înfigere a vibromecanismului de pe autovibroforeza hidraulică AVFH-1, în comparație cu cel de pe vibroforeza UKB 2-100, s-a acționat numai asupra momentului maselor excentrice, nu și asupra turației, se bazează în exclusivitate pe unele concluzii practice rezultate din cercetările și încercările experimentale efectuate de autor. Astfel, după cum se ve arăta atît în cadrul acestui capitol cît și în următorul, încercările experimentale efectuate au evidențiat că, dintre cei doi parametri principali (momentul și turația maselor excentrice), variația momentului are influență sensibil mai accentuată asupra mărimii vitezei efective de vibroforare, în comparație cu cea a variației turației. Pe de altă parte domeniul de variație al turației maselor excentrice, situat între limitele de 700 rot/min și 900 rot/min, s-a dovedit a fi cel mai corespunzător, sub aspectul calității probelor netulburate, recoltate prin vibroforare din pămînturi argiloase și semiargiloase (vezi cap.IV).

Acționarea axelor cu mase excentrice ale vibromecanismului este realizată de către un motor hidraulic de tip 716-Bx-1000, montat pe cadrul vibromecanismului care este protejat împotriva vibrațiilor prin intermediul unor arcuri elicoidale. Transmisia mișcării de rotație de la motorul hidraulic la vibromecanism, se face prin intermediul unor curele trapezoidale și a unor fulii montate pe arborii, intermediar și principal, ai vibromecanismului.

Generatorul de energie hidraulică constă dintr-un motor Diesel tip D-115, cu putere nominală de 45 CP și turația maximă de funcționare de 2400 rot/min, cuplat elastic cu o pompă hidraulică axială, tip 720 EV-1000. Pompa hidraulică funcționează imersată într-un rezervor de ulei, de unde uleiul sub presiune este trimis la receptori printr-un distribuitor și furtune de înaltă presiune.

Lumînerea de ghidaj este confecționată sub formă de grindă metalică chesonată și ajurată (cu goluri), avînd rolul de a susține și a ghida vibromecanismul montat pe ea. Manevrarea ei de la poziția de transport (puțin înclinată față de orizontală) la cea de lucru (verticală), se face cu ajutorul a doi cilindri hidraulici.

Dispozitivul de ridicare-coborîre a echipamentului de vibroforare (prăjina + instrument de vibroforare) se compune dintr-un palan

cu patru ramuri, acționat de un cilindru hidraulic, care este montat pe lumânarea de ghidaj.

Calarea instalației în punctul de lucru se face cu ajutorul a patru cricuri mecanice, montate în suporturi speciale, sub platforma autocamionului, care pe timpul transportului se rabat în poziție orizontală.

Comanda tuturor dispozitivelor hidraulice (motorul hidraulic, cilindrii) cu ajutorul cărora se asigură funcționarea vibromecanismului și realizarea celorlalte operații necesare vibroforării (manevrarea lumânării de ghidaj, ridicarea și coborârea dispozitivului de vibroforare etc), se execută centralizat de la distribuitorul de presiune. De asemenea frecvența de rotație a axelor cu mase excentrice ale vibromecanismului poate fi variată în mod continuu, după necesități, prin reglarea unghiului de înclinație al rotorului pompei față de stator, cu ajutorul unui mecanism destinat acestui scop.

Din cele prezentate mai sus rezultă că atât din punct de vedere constructiv cât și funcțional, autovibroforeza hidraulică AVFH-1 este superioară celorlalte două vibroforeze (UKB 2-100, și AVB 3-100) realizate anterior ca modele funcționale de către catedra de Drumuri și fundații. Perfecționarea schemei constructive și funcționale a acestei instalații, a fost posibilă însă tocmai pe baza concluziilor rezultate din lucrările experimentale și de producție executate cu cele două vibroforeze realizate anterior (în special cu vibroforeza UKB 2-100).

3.1.3. Instrumente de vibroforare (carotiere)

Toate carotiarele folosite la executarea încercărilor experimentale, și ulterior la lucrări de vibroforare pentru producție, au fost proiectate de către autor și executate fie în cadrul atelierului mecanic al catedrei de Drumuri și Fundații, fie în alte unități de profil. În fig.3.9. se prezintă trei tipuri principale de carotiere proiectate și experimentate cu bune rezultate de către autor, care sînt destinate executării de lucrări de vibroforare în trei categorii de pămînturi.

Carotiera cu o singură fantă longitudinală, avînd unghiul de tăiere de 150° și unghiul de ascuțire al cuțitului tăietor de 70° (fig.3.9 a) este destinată și a fost folosită pentru executarea forajelor prin metode vibroforării în pămînturi argiloase. Pentru vibroforări în pămînturi semiargiloase (argile prăfoase și nisipoase, prafuri nisipoase, nisipuri prăfoase, nisipuri argiloase etc), a fost conceput și realizat tipul de carotieră din fig.3.9 b, prevăzu-

tă cu mai multe fante longitudinale însă cu un unghi de tăiere mai redus. In cazul pământurilor lipsite complet de coeziune, pentru

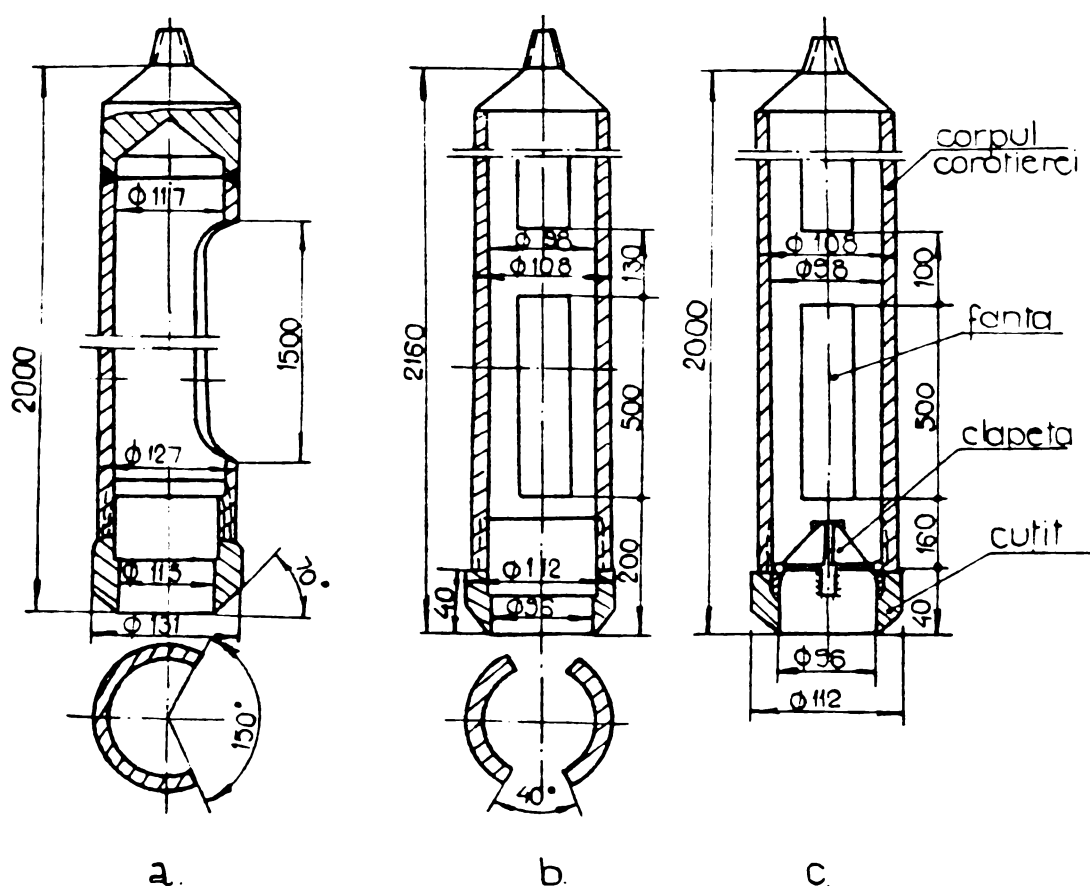


Fig.3.9. Carotiere

a-carotieră cu o fantă;b-carotieră cu mai multe fante;c-carotieră cu mai multe fante și cu clapete

menținerea materialului în carotieră pe timpul extragerii din foraj, a fost proiectată și executată carotiera cu clapete, a căror închidere pe timpul extragerii se realizează sub acțiunea greutateii coloanei de pământ din carotieră.

Din dimensiunile cotate pe schițele din fig.3.9, se observă că alcătuirea constructivă a carotierelor proiectate și realizate, respectă concluziile și recomandările subliniate în cadrul capitolului II. Astfel pentru reducerea forțelor de frecare dintre carotieră și pământ, pe lângă prezența fantelor longitudinale, grosimea peretelui carotierei s-a prevăzut pe cât posibil mai redusă (5 mm), iar între diametrii (interior și exterior) ai cuțitului și cei ai corpului carotierei, s-a creat o diferență în limita a 2-4 %.

Înafara celor trei carotiere prezentate în fig.3.9, atât pentru executarea unor încercări experimentale privind influența diametrului asupra vitezei efective de vibroforare, cât și pentru echiparea instalațiilor de vibroforare menționate anterior, au fost executate și alte carotiere, de aceeași formă constructivă, dar cu diametru diferit.

De asemenea se menționează că au fost proiectate și realizate și unele carotiere cu alte forme constructive (carotiere cu ștuțuri interioare, carotieră cu ștuț frontal), care vor fi prezentate în continuare, odată cu descrierea lucrărilor experimentale sau de producție la care au fost folosite.

3.2. Aspecte cercetate prin încercări experimentale

În cadrul cercetărilor bazate atât pe încercări cu caracter pur experimental, cât și pe unele lucrări de producție, executate cu ajutorul vibromecanismelor, instalațiilor și instrumentelor de vibroforare prezentate în paragraful anterior, s-a urmărit în principal verificarea concluziilor de bază ale teoriei și studiului principalelor legități de variație a vitezei de vibroforare și a vitezei de execuție a vibroforajului. Se subliniază, că prin viteza de vibroforare, se înțelege viteza determinată pe baza numai a timpului consumat pentru înaintarea carotierei în teren pe lungimea unei curse (marș de vibroforare) sau pe toată adâncimea vibroforajului. Prin viteza de execuție a vibroforajului, se înțelege viteza determinată pe baza timpului total, obținut prin cumulara la timpul de vibroforare și a timpului consumat pentru efectuarea operațiilor anexe aferente curselor de vibroforare.

Atât prin prisma mărimii și variației vitezei de vibroforare cât și a celei de execuție, s-a urmărit să se verifice în ce măsură modelul dinamic simplificat, adoptat pentru reprezentarea procesului vibroforării, respectiv unele relații de calcul deduse pe baza acestuia, corespund fenomenului real din natură.

În acest sens pe baza încercărilor experimentale efectuate, s-a analizat influența pe care o exercită diverși factori asupra vitezei de vibroforare, cum ar fi: parametrii vibromecanismului folosit, diametrul carotierei, adâncimea forajului, natura terenului.

Un alt aspect urmărit în cadrul cercetărilor experimentale efectuate, a constat în evidențierea diferenței cantitative și calitative, dintre mărimea vitezei de vibroforare, corespunzătoare procedurii de forare prin vibropercuții și cea corespunzătoare procedurii de forare prin vibrare pură.

O atenție deosebită s-a acordat analizării raportului dintre mărimea timpului de vibroforare (de înaintare a carotierei în teren) și cea a timpului consumat pentru efectuarea operațiilor anexe, inclusiv modulul de variație pe adâncime a acestuia din urmă, precum și măsurilor de ordin tehnico-tehnologic, prin care se poate obține reducerea timpului destinat operațiilor anexe.

3.2.1. Influența parametrilor vibromecanismului asupra vitezei de vibroforare

Atît din încercările experimentale [64], [68], [118], cît și din lucrările cu caracter de producție, executate cu ajutorul vibromecanismelor menționate în paragraful 3.1, a reieșit că domeniul de valori în care se înscriu parametrii proiectați și realizați ai acestora, asigură condiții bune pentru înfigerea în teren, pînă la adîncimi de 10-15 m, a diverselor elemente (piloți, palplânse, tuburi metalice etc). Din acest motiv în cadrul cercetărilor experimentale proprii, privind procesul și tehnologia vibroforării, s-a urmărit mai mult unele aspecte de ordin calitativ, referitoare la influența pe care o exercită asupra vitezei de vibroforare, anumiți parametri ai vibromecanismelor folosite.

Unele cercetări privind înfigerea în teren prin vibropercuții a tuburilor metalice [118], au pus în evidență productivitatea relativ mai ridicată a vibropercutoarelor, în comparație cu cea a vibrotoarelor legate rigid de elementul de înfipt, mai ales în cazul pămînturilor argiloase și semiargiloase. De asemenea din punct de vedere al parametrilor vibromecanismelor folosite la înfigerea în teren a elementelor tubulare metalice, s-a constatat că momentul și frecvența de rotație a maselor excentrice, au un rol hotărîtor în determinarea efectului vibropercuțiilor [118].

Dat fiind faptul că procesul de vibroforare constă în principiu tot în înfigerea în pămînt prin vibropercuții sau prin vibrare, pe porțiuni limitate (marșuri sau curse de vibroforare), a unui tub metalic (carotiera), o parte din cercetările proprii s-au axat pe evidențierea unor aspecte legate de influența exercitată de cei doi parametri asupra vitezei de vibroforare, respectiv asupra modului de variație a acestuia, atît pe lungimea unei curse, cît și pe întreaga adîncime de vibroforare considerată. În acest sens cu ajutorul unei instalații improvizate (lumînare de ghidaj echipată cu trolu) pe care s-a montat vibropercutorul VPE-1, s-au executat încercări pe un amplasament experimental (Timișoara I), constînd din foraje cu adîncime în jur de 12,00 m, executate prin vibropercuții, cu diferite valori pentru cei doi parametri subliniați mai sus (momentul static și turația maselor excentrice ale vibropercutorului).

Stratificația terenului pe amplasamentul experimental ales, cuprinde în zona de suprafață un strat argilos (argilă nisipoasă), extins pînă în jurul adîncimii de 2,50 m. În continuare urmează un strat de nisip prăfos, care reazemă pe o fișie de argilă compactă cu grosime relativ redusă (<1,00 m), prezentă în stratificație între

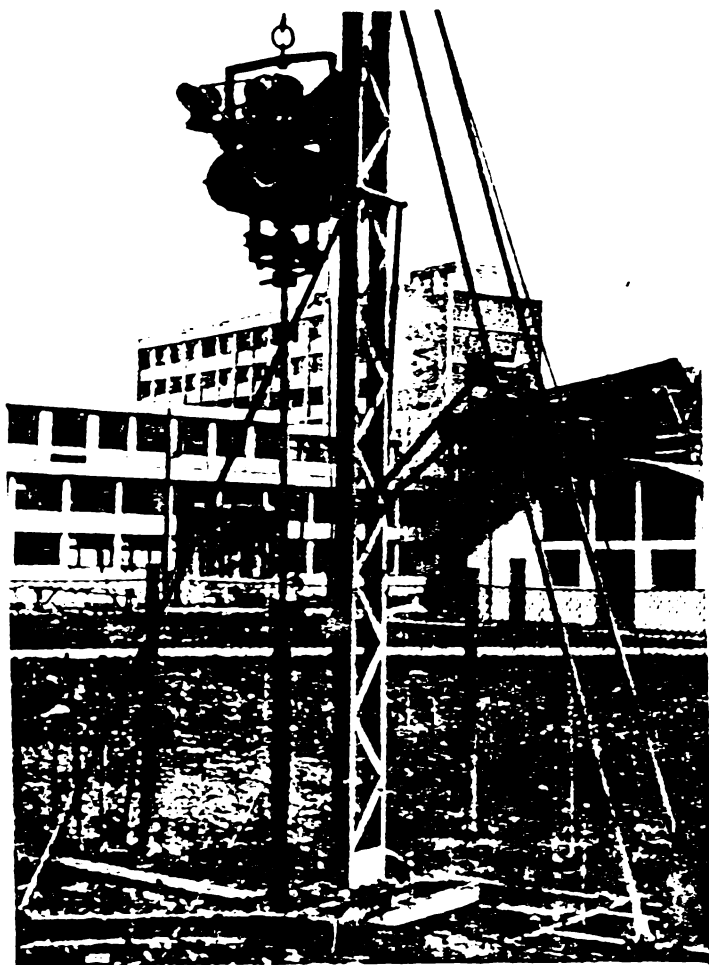


Fig.3.10.Executarea forajelor prin vibropercuții pe amplasamentul experimental „Timișoara I”

cotele de -5,00 și -6,00 m. Stratificația continuă în adâncime cu straturi de nisip, de granulozități diferite și cu unele incluziuni argiloase, sub formă de lentile sau de slab liant.

Pentru condițiile existente de stratificație, ca instrument de vibroforare a fost folosită o carotieră cu mai multe fante (fig.3.9 b), avînd diametrul de 108 mm și lungimea de 2160 mm. În cazurile cînd pe ultima porțiune a forajului (sub adîncimea de 6,00 m), la extragere au avut loc pierderi a pămîntului din carotieră, s-a recurs la folosirea tipului de carotieră cu clapete (fig.3.9c), cu aceleași dimensiuni și formă constructivă.

La executarea prin vibropercuții a forajelor experimentale pe amplasamentul a cărei stratificație a fost descrisă mai sus, au fost realizate cinci variante de valori a parametrilor vibropercutorului VPE-1 (tabelul 3.1), rezultate din combinarea a trei valori diferite pentru turație și două pentru momentul static al maselor excentrice.

Tabelul 3.1.

Valorile parametrilor vibropercutorului VPE-1 (variante folosite)

Parametri	Variantele				
	I	II	III	IV	V
Mom.mas.excentr., M_{ex} [daN cm]	162	162	162	240	240
Turația mas.excentr. N_{ex} [rot/min]	746	847	982	747	847
Viteza unghiulară, $\omega = 2\pi N_{ex} / 60$ [s ⁻¹]	78,1	88,6	102,8	78,1	88,6
Forța pert.max. $P_o = M_{ex} \omega^2 / g$ [daN]	1007	1296	1745	1492	1920
Reportul: $\eta = P_o / G$	1,44	1,85	2,49	2,13	2,74

Pentru fiecare variantă de parametri, s-a executat câte o grupă de 4-6 foraje prin vibropercuții, la care s-au cronometrat timpii necesari pentru înaintarea în teren a carotierei, pe intervale de 0,5 m. Lungimea unei curse (marș) de vibroforare s-a luat pe cât posibil egală cu 2,00 m, adică aproximativ identică cu lungimea carotierelor folosite.

În scopul comparării productivității celor două procedee de vibroforare (vibropercuții și vibrare pură), prin prisma mărimii vitezei de vibroforare, obținută pentru aceeași variantă de valori a parametrilor (varianta III), pe același amplasament s-a executat și o grupă de cinci foraje experimentale prin vibrare pură.

Valorile medii ale timpilor parțiali de vibroforare pe intervalele de 0,5 m, pentru care s-au făcut cronometrările, cele ale timpilor cumulați pe adâncime, precum și cele ale vitezelor de vibroforare calculate pe lungimea fiecărui interval de 0,5 m și a fiecărei curse de vibroforare, sînt prezentate centralizat în tabelele 3.2; 3.3 și 3.4).

Tabelul 3.2.

Timpii și vitezele de vibroforare pentru foraje experimentale executate prin vibropercuții: $M_{ex} = 162 \text{ daNcm}$

Interv. de adâncime	N = 746 rot/min				N = 847 rot/min			
	Timp med. part.	Timp cumul.	Vit. vi- brof. part.	Vit. vi- brof. pe cursă	Timp med. part.	Timp cumul.	Vit. vi- brof. part.	Vit. vi- brof. pe cursă
	[min]	[min]	$\frac{m}{min}$	$\frac{m}{min}$	[min]	[min]	$\frac{m}{min}$	$\frac{m}{min}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0-0,5	0,31	0,31	1,61	1,15	0,25	0,25	2,00	1,69
0,5-1,0	0,36	0,67	1,38		0,29	0,54	1,72	
1,0-1,5	0,50	1,17	1,00		0,31	0,85	1,61	
1,5-2,0	0,56	1,73	0,89		0,33	1,18	1,51	
2,0-2,5	0,52	2,25	0,96	0,75	0,32	1,50	1,56	1,21
2,5-3,0	0,64	2,89	0,78		0,38	1,88	1,31	
3,0-3,5	0,74	3,63	0,67		0,46	2,34	1,08	
3,5-4,0	0,76	4,39	0,65		0,49	2,83	1,02	
4,0-4,5	0,71	5,10	0,70	0,59	0,45	3,28	1,11	
4,5-5,0	0,82	5,92	0,60		0,58	3,86	0,86	
5,0-5,5	0,85	6,77	0,58		0,56	4,42	0,89	
5,5-6,0	0,96	7,73	0,52		0,59	5,01	0,84	

Continuarea tabelului 3.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6,0 -6,5	0,87	8,60	0,57	0,49	0,54	5,55	0,92	0,79
6,5 -7,0	0,94	9,54	0,53		0,64	6,19	0,78	
7,0 -7,5	1,04	10,58	0,48		0,62	6,81	0,80	
7,5 -8,0	1,16	11,74	0,43		0,72	7,53	0,69	
8,0 -8,5	1,04	12,78	0,48	0,40	0,68	8,21	0,73	0,59
8,5 -9,0	1,16	13,94	0,43		0,82	9,03	0,60	
9,0 -9,5	1,36	15,30	0,36		0,90	9,93	0,55	
9,5-10,0	1,41	16,71	0,35		0,98	10,91	0,51	
10,0-10,5	1,22	17,93	0,40	0,29	0,84	11,75	0,59	0,47
10,5-11,0	1,47	19,40	0,34		0,96	12,61	0,52	
11,0-11,5	1,82	21,22	0,27		1,19	13,80	0,42	
11,5-12,0	2,17	23,39	0,23		1,30	15,10	0,38	

Tabelul 3.3.

Timpii și vitezele de vibroforare pentru foraje experimentale executate prin vibropercuții și vibrare: $M_{ex} = 162 \text{ daNcm}$

Interval de adânc.	Vibropercuții N = 982 rot/min				Vibrare N = 982 rot/min.			
	Timp mediu part.	Timp cumul.	Vit.vi-brof. part.	Vit.vi-brof. pe cursă	Timp med. part.	Timp cumul	Vit.vi-brof. part.	Vit.vi-brof. pe cursă
	[min.]	[min.]	$\frac{m}{min.}$	$\frac{m}{min.}$	[min.]	[min.]	$\frac{m}{min.}$	$\frac{m}{min.}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0-0,5	0,20	0,20	2,50	2,19	0,27	0,27	1,85	1,46
0,5-1,0	0,23	0,43	2,17		0,31	0,58	1,61	
1,0-1,5	0,23	0,66	2,17		0,34	0,92	1,47	
1,5-2,0	0,25	0,91	2,00		0,44	1,36	1,13	
2,0-2,5	0,24	1,15	2,08	1,56	0,42	1,78	1,19	0,97
2,5-3,0	0,31	1,46	1,61		0,49	2,27	1,02	
3,0-3,5	0,37	1,83	1,35		0,59	2,86	0,84	
3,5-4,0	0,36	2,19	1,38		0,56	3,42	0,89	
4,0-4,5	0,33	2,52	1,51	1,20	0,53	3,95	0,94	0,64
4,5-5,0	0,38	2,90	1,31		0,64	4,59	0,78	
5,0-5,5	0,48	3,38	1,04		0,84	5,43	0,59	
5,5-6,0	0,47	3,85	1,06		1,07	6,50	0,46	
6,0-6,5	0,40	4,25	1,25	0,99	0,65	7,25	0,76	0,71
6,5-7,0	0,49	4,74	1,02		0,60	7,85	0,83	
7,0-7,5	0,50	5,24	1,00		0,68	8,53	0,73	
7,5-8,0	0,62	5,86	0,80		0,77	9,30	0,64	
8,0-8,5	0,52	6,38	0,96		0,71	10,01	0,70	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
8,5-9,0	0,59	6,97	0,84	0,75	0,76	10,77	0,65	0,57
9,0-9,5	0,71	7,68	0,70		0,90	11,67	0,55	
9,5-10,0	0,84	8,52	0,59		1,13	12,80	0,44	
10,0-10,5	0,78	9,30	0,64	0,52	1,05	13,85	0,47	0,40
10,5-11,0	0,93	10,23	0,53		1,20	15,05	0,41	
11,0-11,5	1,05	11,28	0,47		1,30	16,35	0,38	
11,5-12,0	1,08	12,36	0,46		1,45	17,80	0,34	

Tabelul 3.4.

Timpii și vitezele de vibroforare pentru foraje experimentale executate prin vibropercuții $M_{ex} = 240 \text{ daNm}$

Interval de adâncime	N = 746 rot/min				N = 847 rot/min			
	Timp med. part.	Timp cumul.	Vit.vi-brof. part.	Vit.vi-brof. pe cursă	Timp med. part.	Timp cumul.	Vit.vi-brof. part.	Vit.vi-brof. pe cursă
	[min.]	[min.]	$\frac{m}{min}$	$\frac{m}{min}$	[min.]	[min.]	$\frac{m}{min}$	$\frac{m}{min}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0-0,5	0,19	0,19	2,63	2,10	0,17	0,17	2,94	2,43
0,5-1,0	0,21	0,40	2,38		0,20	0,37	2,50	
1,0-1,5	0,26	0,66	1,92		0,22	0,59	2,27	
1,5-2,0	0,29	0,95	1,72		0,23	0,82	2,17	
2,0-2,5	0,25	1,20	2,00	1,63	0,20	1,02	2,50	1,83
2,5-3,0	0,30	1,50	1,66		0,26	1,28	1,92	
3,0-3,5	0,32	1,82	1,56		0,30	1,58	1,66	
3,5-4,0	0,35	2,17	1,42	1,29	0,33	1,91	1,51	1,45
4,0-4,5	0,32	2,49	1,56		0,30	2,21	1,66	
4,5-5,0	0,38	2,87	1,31		0,33	2,54	1,51	
5,0-5,5	0,40	3,27	1,25		0,35	2,89	1,42	
5,5-6,0	0,45	3,72	1,11	1,10	0,39	3,28	1,28	1,20
6,0-6,5	0,40	4,12	1,25		0,36	3,64	1,38	
6,5-7,0	0,45	4,57	1,11		0,39	4,03	1,28	
7,0-7,5	0,52	5,09	0,96		0,44	4,47	1,13	
7,5-8,0	0,54	5,53	0,92	0,85	0,47	4,94	1,06	0,89
8,0-8,5	0,50	6,03	1,00		0,45	5,39	1,11	
8,5-9,0	0,56	6,59	0,89		0,55	5,94	0,90	
9,0-9,5	0,61	7,20	0,81		0,60	6,54	0,83	
9,5-10,0	0,68	7,88	0,73	0,54	0,64	7,18	0,78	0,65
10,0-10,5	0,66	8,54	0,75		0,62	7,80	0,80	
10,5-11,0	0,92	9,46	0,54		0,75	8,55	0,65	
11,0-11,5	1,00	10,46	0,50		0,82	9,27	0,60	
11,5-12,0	1,09	11,55	0,45	0,90	10,27	0,55		

Atît vitezile de vibroforare corespunzătoare celor patru intervale de 0,5 m considerate pe lungimea fiecărei curse, cît și cele corespunzătoare lungimii totale a unei curse, s-au calculat prin împărțirea lungimii intervalului, respectiv a cursei, la timpul necesar pentru înaintarea în pămînt a carotierei pe aceste porțiuni. În consecință valorile obținute, sînt viteze medii de vibroforare și se consideră că ele corespund mijlocului fiecărui interval sau curse.

Din analizarea mărimilor vitezilor de vibroforare, corespunzătoare celor cinci variante de valori a parametrilor vibromecanismului folosit, se observă că în general acestea sînt destul de ridicate, chiar și pe lîngă valori ale factorului $\eta = A\omega^2/g$, mai mici decît 2. Astfel valoarea vitezei medii de vibroforare, corespunzătoare întregii adîncimi a forajelor (adică cea calculată prin împărțirea lungimii forajului la valoarea totală a timpului cumulat), variază între 0,51 m/min (varianta I cu $P_0 = 1007$ daN și $\eta = 1,44$) și 1,17 m/min (varianta V cu $P = 1920$ daN și $\eta = 2,74$). Valorile rezultate experimental sînt comparabile cu cele obținute și de alți

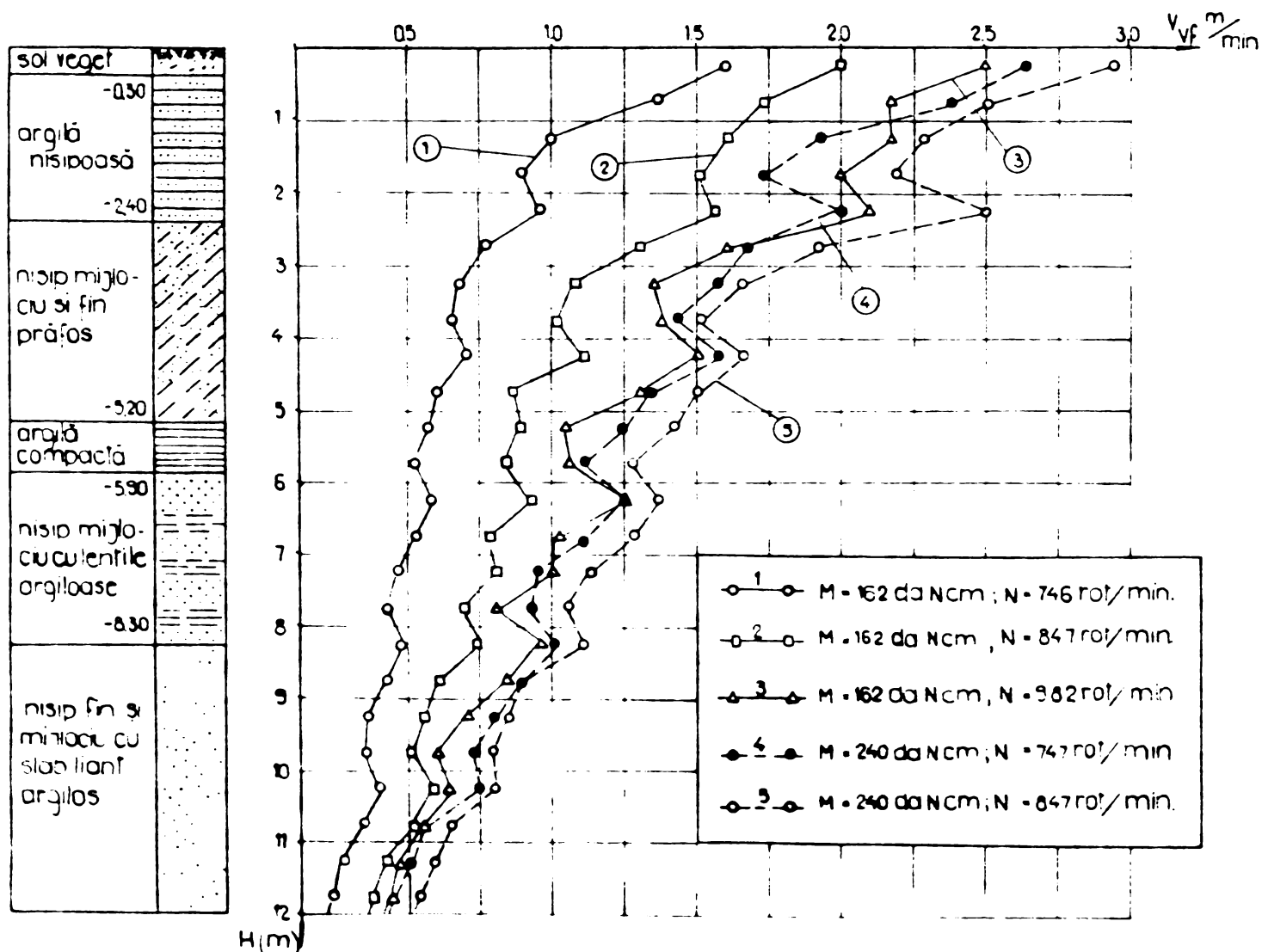


Fig.3.10. Diagramele de variație pe adîncime a vitezilor parțiale de vibroforare

cercetători [97], pentru condiții asemănătoare de teren, adâncime de vibroforare și domeniu de valori a parametrilor vibromecanismului.

Diagramele prezentate în fig.3.10, construite pe baza valorilor vitezelor parțiale medii (pe intervale de 0,5 m), evidențiază faptul că începutul fiecărei curse de vibroforare se caracterizează în general printr-o viteză de vibroforare mai mare, decât cea corespunzătoare sfârșitului cursei anterioare. În cazul când stratificarea terenului este omogenă, sau este alcătuită din straturi puțin diferențiate și cu caracteristici geotehnice apropiate, acest lucru este absolut normal, dacă se are în vedere că rezistența opusă de pământ, prin frecarea laterală, crește pe măsura adâncirii carotierei în teren. Salturile de variație a vitezei de vibroforare, prin trecerea de la o cursă la alta, sînt mai accentuate în zona de început a vibroforajului, reducîndu-se pe măsura creșterii adîncimii. Acest lucru se datorește faptului că prin creșterea adîncimii de vibroforare, lungimea și elasticitatea prăjinii de foraj sporesc, ceea ce face ca unele oscilații orizontale ale prăjinii să se intensifice și să consume tot mai mult din energia vibropercuțiilor, transmisă dispozitivului de vibroforare. Același motiv face ca pe măsura creșterii adîncimii de vibroforare, diferențele absolute dintre vitezele de vibroforare, corespunzătoare celor cinci variante de valori ale parametrilor vibropercuțiilor să devină din ce în ce mai mici (fig.3.10 și 3.11).

Unele mici salturi care apar în variația vitezei de vibroforare pe lungimea unei curse, se datoresc în exclusivitate unor neomogenități locale ale pământului, precum și eventualelor perturbații care pot apărea în regimul de funcționare a vibromecanismului.

Urmărind diagramele de variație pe adîncimea a vitezelor medii de vibroforare corespunzătoare lungimii curselor (fig.3.11) și făcînd corelarea lor cu valorile parametrilor corespunzători celor cinci variante prezentate în tabelul 3.1, se pot sublinia și alte aspecte calitative și cantitative, legate de influența momentului și turației maselor excentrice asupra vitezei de vibroforare.

Astfel prin compararea între ele a diagramelor 1 și 2, respectiv 4 și 5 (fig.3.11), se observă că efectul variației turației asupra vitezei de vibroforare, este cu atît mai redus, cu cît valoarea momentului maselor excentrice este mai ridicată. Pentru aceeași creștere a turației (de la 746 la 847 rot/min), respectiv a factorului η (de 1,28 ori), creșterea vitezei de vibroforare, în cazul cînd valoarea momentului maselor excentrice este egală cu 240 daNcm, reprezintă în valoare absolută aproximativ 0,45 din cea corespunzătoare cazului cînd momentul M al maselor excentrice este de 162 daNcm.

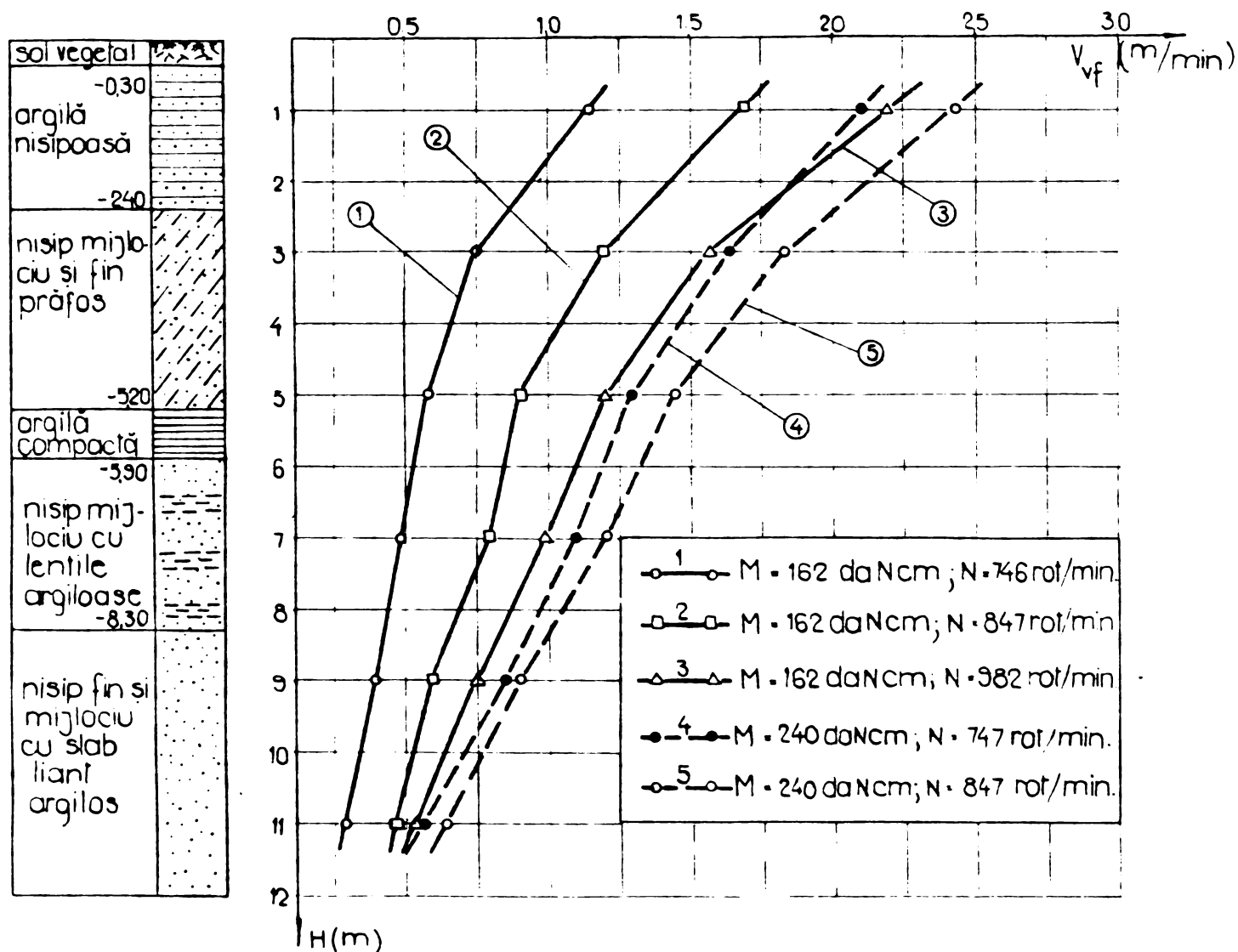


Fig.3.11. Diagramele de variație pe adâncime a vitezelor medii de vibroforare corespunzătoare lungimii curselor

Pe de altă parte din compararea diagramelor 3 și 4 cu diagrama 1 (fig.3.11), respectiv a valorilor η_3 și η_4 cu η_1 (tabelul 3.1), rezultă că pentru obținerea unui spor al vitezei de vibroforare de aproximativ același ordin de mărime, prin variația turației trebuie realizată o valoare a factorului η de circa 1,16 ori mai mare (2,49 față de 2,13), față de cazul când acest lucru se realizează prin variația momentului maselor excentrice și cu menținerea constantă a turației.

Diferențele evidente între vitezele de vibroforare, corespunzătoare celor cinci variante de valori a parametrilor, obținute numai prin variația momentului și turației maselor excentrice, confirmă pe deplin concluzia că acești doi parametri au holul hotărîtor în determinarea efectului vibropercuțiilor și în cazul vibroforării pământurilor.

Totodată aspectele constatate și subliniate mai sus, evidențiază că dintre cei doi parametri, influența variației momentului maselor excentrice asupra vitezei de vibroforare este sensibil mai accentuată, în comparație cu cea a variației turației.

Pe baza analizării sub aspect cantitativ a valorilor vitezei de vibroforare, obținute în cazul experimentărilor de față și compararea lor cu unele date oferite de literatura de specialitate [97], se poate concluziona că, sub aspectul mărimii vitezei de vibroforare, domeniile de valori cuprinse între 700 și 1000 rot/min, pentru turația maselor excentrice, respectiv între 200 și 300 daNcm, pentru moment, asigură realizarea unei productivități ridicate, pentru lucrările de executare prin vibropercuții a forajelor de mică adâncime (10-15 m) și cu diametru redus (100-150 mm), în pământuri argiloase și semiargiloase. Volumul relativ mare de lucrări de vibroforare (atât cu caracter experimental cât mai ales cu caracter de producție), executate ulterior cu vibroinstalația UKB 2-100, au confirmat concluzia menționată mai sus, privind domeniile de valori recomandate pentru cei doi parametri ai vibropercuțiilor (după cum s-a menționat vibropercutorul cu care s-a echipat vibroinstalația UKB 2-100, a avut turația variabilă între 700 și 1000 rot/min, iar momentul maselor excentrice de 300 daNcm).

Forajele experimentale executate pe același amplasament prin vibrare pură (asigurată prin blocarea ciocanului de nicovale vibropercutorului și prin aceasta creerea unei legături rigide între vibromecanism și prăjina de foraj), au arătat că prin prisma vitezei de vibroforare, în acest caz eficiența vibrațiilor este mai redusă în comparație cu cea a vibropercuțiilor. Așa după cum reiese și din datele prezentate în tabelul 3.3, la forare prin vibrare pură timpul total cumulat este 17,80 minute, ceea ce este echivalent cu o viteză medie de vibroforare de 0,67 m/min. În cazul forajelor de aceeași adâncime, executate prin vibropercuții cu aceeași parametri (varianta III), timpul total cumulat este de 12,36 minute, ceea ce înseamnă o viteză medie de vibroforare cu aproximativ 30% mai mare (0,97 m/min) decât în cazul vibrării pure.

Analizând forma diagramei de variație pe adâncime, atât a vitezelor parțiale, cât mai ales a celor medii pe curse (fig. 3.12), se observă că pe zona din stratificație unde pământurile argiloase și semiargiloase predomină (între 0,00 și -6,00 m), diferențele dintre vitezele aferente forării prin vibropercuții (1) și cele obținute la forarea prin vibrare pură (2), sînt mai mari. Sub adîncimea de 6,00 m, unde fracțiunile argiloase sau prăfoase apar doar sub formă de incluziuni în mase nisipurilor, aceste diferențe sînt mai

reduse, datorită tendinței de creștere a vitezei la forarea prin vibrare pură, fără a ajunge însă la nivelul celei corespunzătoare forării prin vibropercuții. Acest lucru demonstrează că eficiența

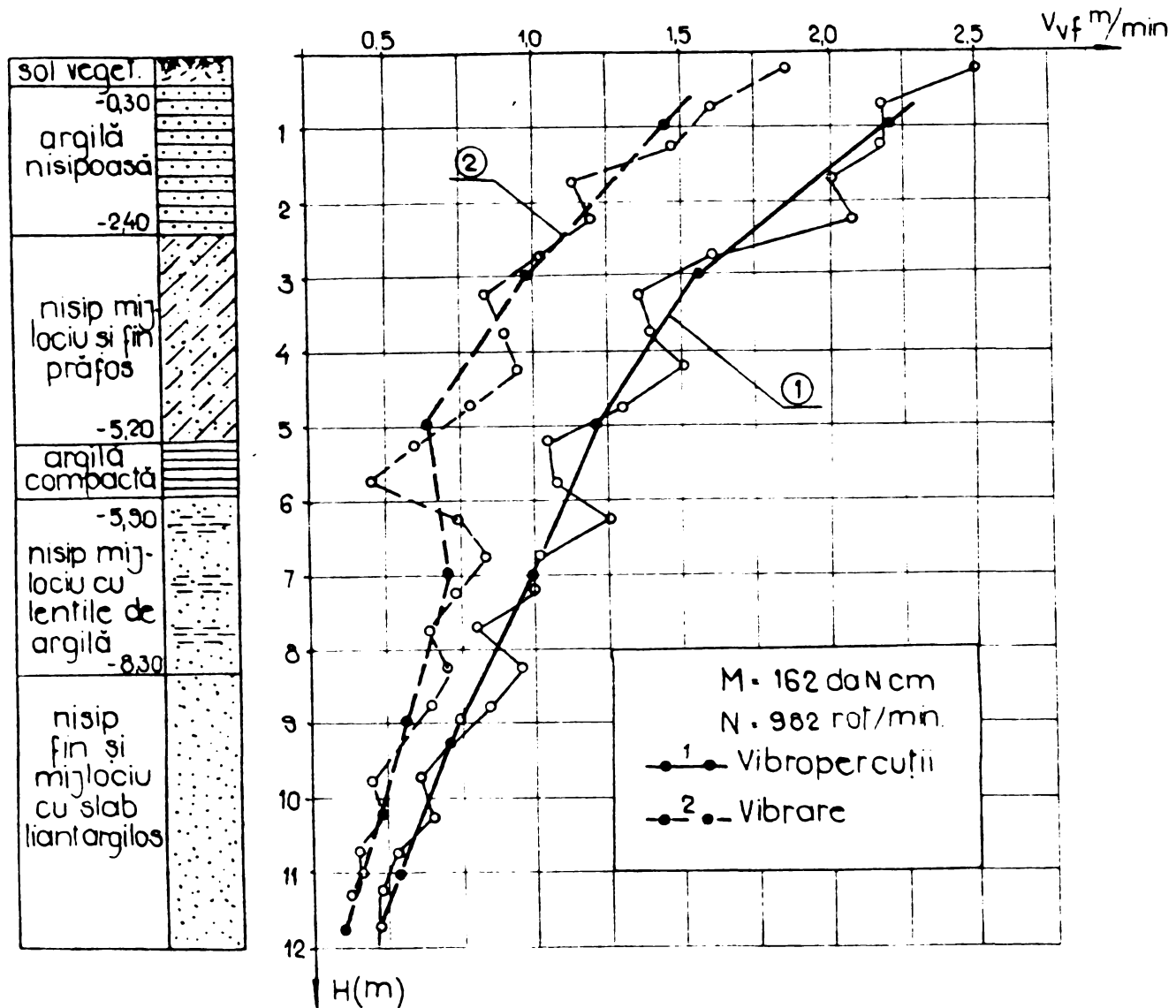


Fig. 3.12. Diagramele de variație pe adâncime a vitezelor medii de vibroforare pentru foraje executate prin vibropercuție și vibrare.

vibropercuțiilor asupra vitezei de vibroforare, în comparație cu vibrarea pură, este mult mai substanțială în cazul pământurilor argiloase și semiargiloase, față de cel al nisipurilor.

Concluzia enunțată este bine pusă în evidență și de diagrama de variație pe adâncime a vitezelor parțiale (fig.3.12), corespunzătoare forării prin vibrare pură, unde se observă că în zona fișiei de argilă compactă, viteza aferentă ultimei porțiuni a cursei respective se reduce foarte mult, apărând un salt pronunțat în diagramă.

La executarea unor foraje geotehnice pentru producție pe un amplasament din municipiul Deva, unde stratificația terenului cuprindea în mare parte straturi de argile relativ compacte și cu consistență ridicată, prin folosirea cu caracter experimental a vibrării pure nu s-a reușit înfigerea carotierei nici măcar pe adâncimea primei curse.

Prin folosirea procedeului de vibroforare prin vibropercuții cu aceiași parametri și aceeași carotieră, pe amplasamentul respectiv s-au executat în bune condițiuni un număr de 20 de foraje, cu adâncime de 6-10 m, obținându-se o viteză medie de vibroforare de 0,25-0,40 m/min. Pe lângă eficiența sporită a vibropercuțiilor în comparație cu vibrarea pură, evidențiată de încercările experimentale menționate anterior, din constatările făcute cu ocazia realizării acestei lucrări de producție, rezultă că în cazul unor argile compacte și de consistență ridicată, forarea prin vibrare pură poate fi chiar nerealizabilă în practică.

3.2.2. Influența diametrului carotierei asupra vitezei de vibroforare

După cum s-a arătat în cadrul capitolului II, paragraful 2.2.1., viteza de vibroforare prin vibropercuții poate fi exprimată printr-o relație teoretică (2.16), care transcrisă sub o formă mai simplificată prin intermediul unor coeficienți (2.17), este:

$$v_{vf} = \frac{1}{\sqrt{H}} \frac{1}{A\ell + B} - C$$

Din analizarea structurii expresiilor notate prin coeficienți A și B (paragraf 2.2.1), rezultă că valorile acestora, în afară de alți factori, depind direct proporțional și de diametrul carotierei, respectiv al cuștitului acesteia. Cum în expresie de mai sus, cei doi coeficienți, A și B, se găsesc la numitorul acesteia, înseamnă că în ultimă analiză, mărimea vitezei de vibroforare este invers proporțională cu diametrul carotierei, folosite ca instrument de vibroforare. În consecință, teoretic rezultă că pe lângă o constantă asigurată a tuturor celorlalți parametri de care mai depinde viteza de vibroforare, valoarea acesteia este cu atât mai mică cu cât diametrul carotierei este mai mare.

Încercările experimentale privind influența diametrului carotierei asupra vitezei de vibroforare, executate pe același amplasament și cu același vibromecanism ca și cele analizate în paragraful anterior, au avut drept scop de a verifica în ce măsură legitatea evidențiată teoretic prin relația generală 2.16, este confirmată în practica executării forajelor prin vibropercuții. În acest sens alături de forajele experimentale executate cu carotiera, cu \varnothing 108 mm s-au mai executat alte două grupuri de foraje, cu adâncime în jur de 10,00 m, folosind două carotiere de aceeași formă constructivă (tot carotiere cu mai multe fante longitudinale de tipul celei prezentate în fig.3.9 b), dar cu diametri mai mari: 127 mm și 154 mm.

În vederea comparării vitezelor de vibroforare, obținute pentru cele trei carotiere de diametri diferiți, la executarea forajelor experimentale parametri vibropercuțiilor au fost aceiași (valorile corespunzătoare variantei III - tabelul 3.1).

În tabelul 3.5 sînt date valorile medii ale timpilor parțiali și ale vitezelor de vibroforare, corespunzătoare lungimii curselor precum și ale timpilor cumulați pentru întreaga adîncime de vibroforare.

Tabelul 3.5.

Timpii și vitezele de vibroforare pentru foraje executate cu carotiere de diametri diferiți - Vibropercuții $M_{ex} = 162$ daNo.
 $N_{ex} = 982$ rot/min

Interv. de adînc.	Carotieră \varnothing 108 mm			Carotieră \varnothing 127 mm			Carotieră \varnothing 154 mm		
	Timp parț.	Timp cumul.	Vit.vi-brof. pe curs. [m/min]	Timp parț.	Timp cumul.	Vit.vi-brof. pe curs. [m/min]	Timp parț.	Timp cumul.	Vit.vi-brof. pe curs. [m/min]
	[min]	[min]	[m/min]	[min]	[min]	[m/min]	[min]	[min]	[m/min]
0,0-2,0	0,91	0,91	2,19	0,88	0,88	2,25	0,80	0,80	2,48
2,0-4,0	1,28	2,19	1,56	1,32	2,20	1,51	1,25	2,05	1,60
4,0-6,0	1,66	3,85	1,20	1,81	4,01	1,10	2,00	4,05	1,00
6,0-8,0	2,01	5,86	0,99	2,56	6,57	0,78	3,33	7,38	0,60
8,0-10	2,66	8,52	0,75	3,92	10,49	0,51	6,66	14,04	0,30

Analizînd influența diametrului carotierei asupra vitezei de vibroforare, numai prin prisma valorilor timpilor totali de vibroforare (cumulați pe toată adîncimea - tabelul 3.5), rezultă că dependența invers proporțională dintre viteza de vibroforare și diametrul carotierei, evidențiată prin relația teoretică menționată anterior (2.17), ar fi confirmată în practică. Intra-adevăr în cazul folosirii carotierei cu diametrul cel mai mic (108 mm), viteza de vibroforare corespunzătoare întregii adîncimi a forajelor (adică calculată prin împărțirea lungimii forajului la valoarea timpului total de vibroforare), are valoare mai ridicată (1,17 m/min) față de cazul folosirii celorlalte două carotiere cu diametri mai mari (\varnothing 127 - $v_{vf} = 0,95$ m/min, \varnothing 154 - $v_{vf} = 0,71$ m/min).

Urmărind în mod comparativ variația pe adîncime a timpilor cumulați de vibroforare (fig.3.13), se constată că în zona de început a vibroforajelor (pînă la adîncime în jur de 3 m), mărimile acestora sînt foarte apropiate și chiar mai reduse în cazul carotierelor cu diametru mai mare. Acest lucru denotă că pentru adîncimi mici de vibroforare, influența diametrului carotierei asupra vitezei de vibroforare este redusă, existînd tendința ca în cazul

carotierelor cu diametru mai mare să se obțină chiar valori mai ridicate ale vitezei de vibroforare. Mai evident rezultă această concluzie

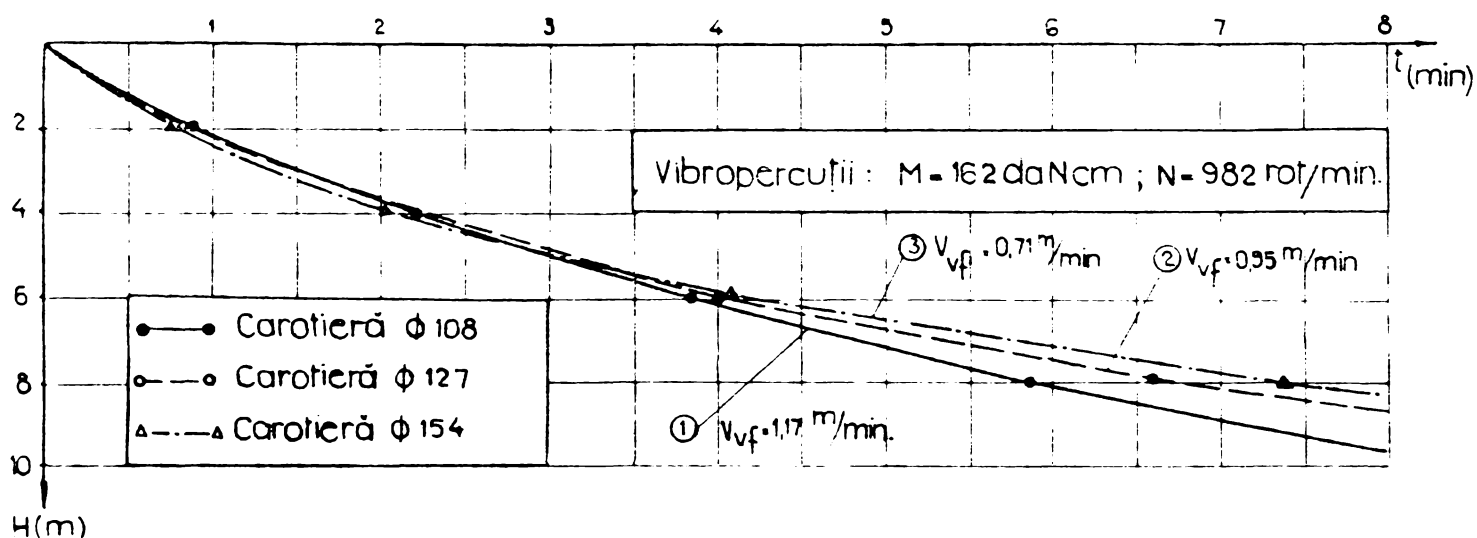


Fig. 3.13. Variația pe adâncime a timpului total (cumulat) de vibroforare pentru carotiere cu diametri diferiți

din fig. 3.14, unde sînt prezentate diagramele de variație pe adâncime a vitezelor de vibroforare corespunzătoare lungimii curselor (2,00 m).

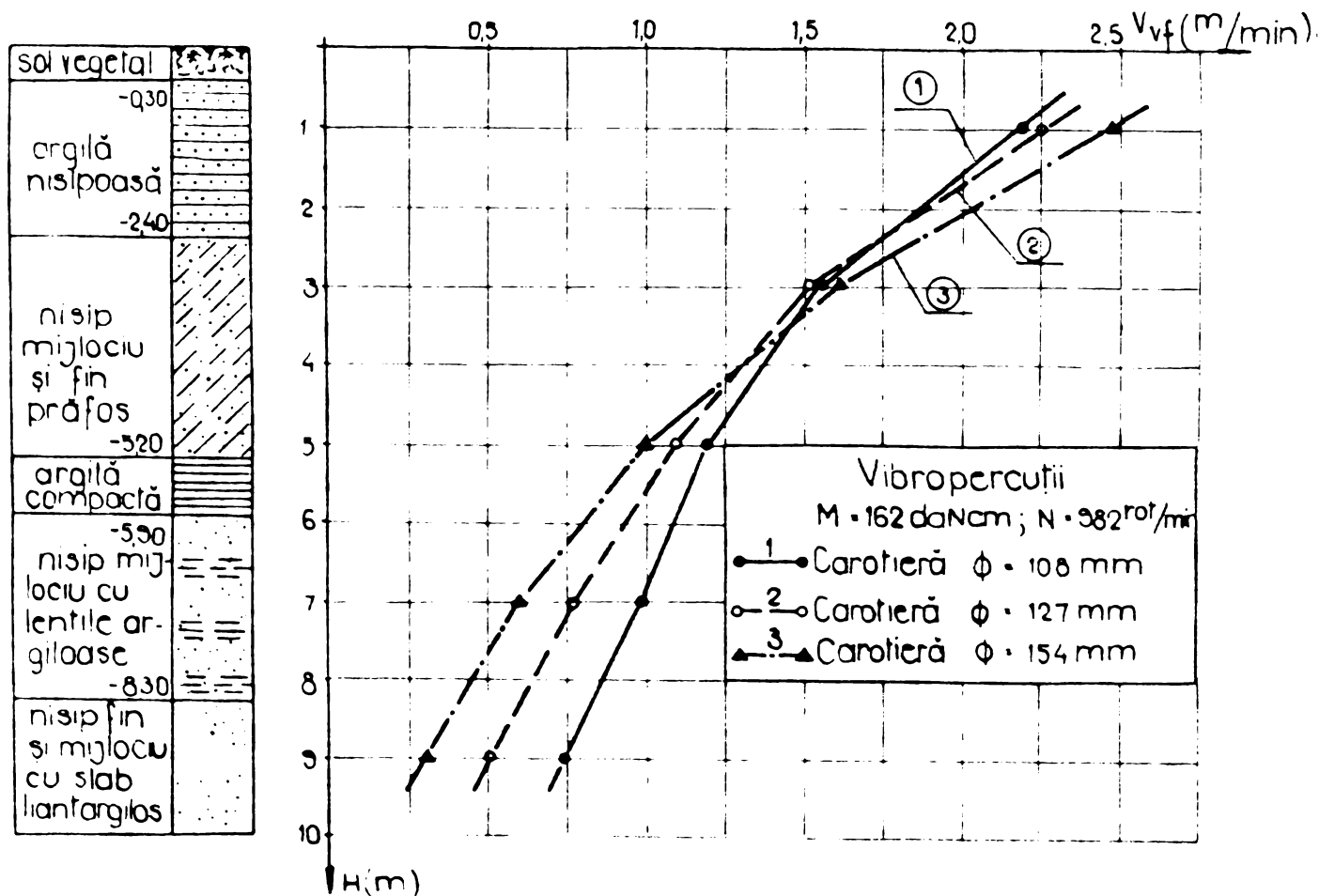


Fig. 3.14. Diagramele de variație pe adâncime a vitezelor de vibroforare corespunzătoare lungimii curselor pentru carotiere cu diametri diferiți

Pe figura alăturată se observă clar că în cazul carotierei cu diametru de 127 mm, viteza de vibroforare corespunzătoare primei curse (0,0-2,0 m), este cu puțin mai mare decât cea aferentă carotierei cu diametru de 108 mm. În cazul carotierei cu diametru de 154 mm, acest spor de viteză de vibroforare este relativ mai accentuat pentru prima cursă, menținându-se chiar și pe parcursul celei de a doua curse de vibroforare (2,0-4,0 m). Constatările reliefate mai sus permit sublinierea unei concluzii utile pentru practica și tehnologia lucrărilor de vibroforare, care poate fi enunțată astfel: în scopul atingerii unei viteze de vibroforare cât mai mari, se indică ca începerea vibroforării să se facă cu o carotieră de diametru mai mare trecând apoi în mod treptat la carotiere cu diametru mai mic, pe măsură ce adâncimea de vibroforare crește. Respectarea acestui principiu în tehnologia de execuție a lucrărilor de vibroforare, conduce și la ușurarea operațiilor de ridicare-coborîre a instrumentului de vibroforare, respectiv la reducerea timpului consumat de aceste operații auxiliare.

3.2.3. Influența adâncimii forajului asupra vitezei de vibroforare

Din relația teoretică de calcul a vitezei de vibroforare (2.16), prezentată și analizată în detaliu în paragraful 2.2.1. din cadrul capitolului II, rezultă că un alt factor de care depinde mărimea vitezei de vibroforare este adâncimea forajului. După cum s-a arătat pentru foraje cu adâncimea de 10-15 m, executate prin vibropercuții, în relația teoretică de calcul amintită, influența adâncimii forajului asupra vitezei de vibroforare este evidențiată prin prezența coeficientului k_H , care ține seama de variația pe adâncime a rigidității prăjinii de foraj, și a cărei valoare poate fi considerată că este funcție numai de adâncimea forajului ($k_H = 1/\sqrt{H}$).

Din toate diagramele de variație pe adâncime a vitezei de vibroforare (atît sub formă de valoare medie pe lungimea unei curse, cît și sub formă de viteze parțiale corespunzătoare unor intervale mai reduse), prezentate în paragrafele anterioare, a rezultat că pe măsura creșterii adâncimii forajului, are loc reducerea vitezei de vibroforare, după o lege neliniară.

Pentru a vedea în ce măsură relația teoretică de calcul (2.16) reflectă legea reală de reducere a vitezei de vibroforare, pe măsura creșterii adâncimii forajului, pe un alt amplasament experimental (Tinașoara II) s-a executat o nouă serie de încercări experimentale, destinate special acestui scop.

Dat fiind faptul, că asupra modului de variație pe adâncime a vitezei de vibroforare o influență hotărâtoare o exercită și neomogenitatea terenului, la alegerea amplasamentului experimental s-a avut în vedere ca acesta să se caracterizeze printr-o stratificație cât mai omogenă. Astfel după cum rezultă și din fig.3.15, pe amplasamentul experimental "Timișoara II", stratificația terenului pe adâncimea de execuție a forajelor experimentale ($\approx 10,0$ m), deși este alcătuită din mai multe straturi, acestea diferă relativ puțin între ele, atât sub aspectul felului pământurilor cât și a rezistenței acestora.

Pe baza caracteristicilor pământului în care s-au executat forajele, a parametrilor principali ai vibromecanismului (vibratorul VEI adaptat pentru funcționare ca vibropercutor), a dimensiunilor constructive și a tipului de carotieră folosită (carotieră cu $\varnothing 127$ mm și cu o singură fantă longitudinală - fig.3.9 a), s-a calculat cu ajutorul relației (2.16), valoarea funcției $v_{vf}=f(H)$, rezultând următoarea expresie:

$$v_{vf} = \frac{2,40}{\sqrt{H}} - 0,29 \quad (3.1)$$

Datele inițiale și valorile coeficienților A, B și C, folosite pentru calculul funcției $v_{vf}=f(H)$, se pot urmări în tabelul 3,6,

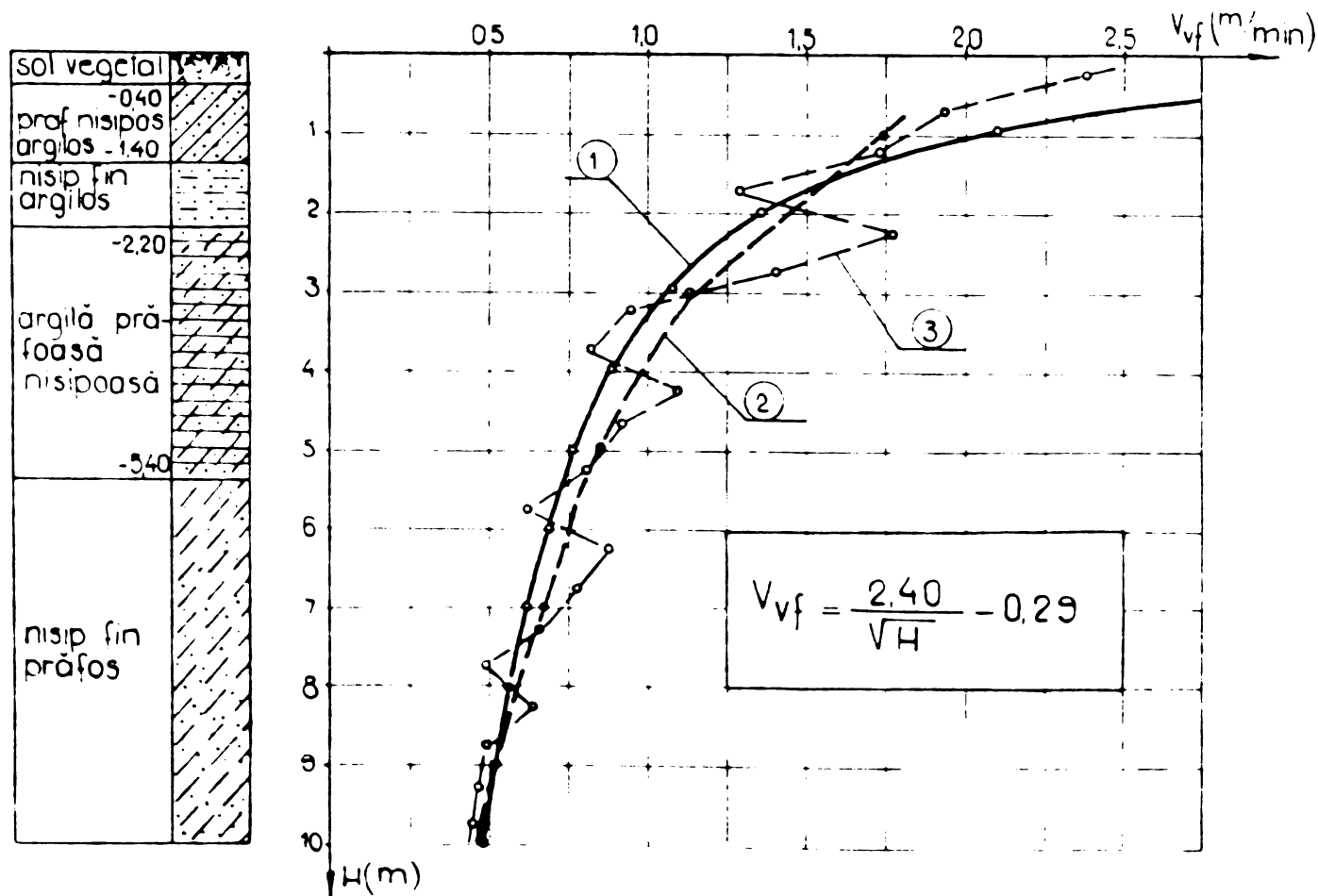


Fig.3.15. Variația pe adâncime a vitezei de vibroforare

iar în tabelul 3.7 sînt date vitezele de vibroforare, determinate experimental și prin calcul cu relația 3.1.

Tabelul 3.6.

Date inițiale pentru calculul funcției $v_{vf}=f(H)$

Mărimi de calcul	Notație	Valoarea și unit.de măsură	Observații
0	1	2	3
1. Vibromecanismul			
Masa părții percutante	m_1	350 Kg	Val.asigurată prin construcția vibromecanismului
Mom.maselor excentrice	M_{ex}	350 daNcm	Idem
Turația maselor excentr.	N_{ex}	970 rot/min	Idem
Viteza ungh.de rotație	ω	101,5 sec ⁻¹	$\omega = 2\pi N_{ex}/60$
Viteza de lovire	v_1	1,52 m/sec	Calculată cu rel.2.63
Numărul de lovituri	n	485 lov/min	Val.determ.în funcție de turația maselor ex.considerînd reg. de lucru $i = 2$
Coeficientul de restituire a vitezei	R	0,5	Val.apreciată conform unor recom.din lit. [117] , [97].
2. Carotiera			
Diametrul exterior	D	127 mm	Dimens.constructivă
Diametrul interior	d	117 mm	" "
Diam.ext.al cuțitului	D_1	131 mm	" "
Diam.int.al cuțitului	d_1	115 mm	" "
Lungimea carotierei	l	2000 mm	" "
Lungimea fantei	l_f	1500 mm	" "
Unghiul de deschidere al fantei	α_f	150°	" "
Diam.prăgini de foraj	ϕ	60 mm	" "
Masa dispozitivului de foraj (prăgina+carotiera)	m_2	145 Kg	Val.determ.pe baza dimens.constructive
Masa sporită a dispozitivului de foraj	m_2'	174 Kg	$m_2' = 1,2 m_2$ - conform unor rec.din lit. [97]
Coeficienții de reducere a frecării dintre carotieră și teren	k_1	0,68	Val.det.pe baza dim.constructive ale carotierei
	k_2	0,85	Val.apreciată conf. unor recomand.din lit. [97].

0	1	2	3
<u>3. Caract. pământului</u>			
Rezist. normată de frec. pe supraf. lat. a carotierei	f^n	33 KN/m ²	Val. aprec. conform STAS 2561-70 pentru pământuri prăfos-nisipoase
Rezist. normată la compr. sub vârful carotierei	R^n	1500 KN/m ²	"
Deformația elastică	h_e	0,0012 m	Val. aprec. pe baza unor încerc. de compresibilitate
<u>4. Mărimi rezultate</u>			
	A	0,180	$A = \frac{\pi f^n (D+d) k_1 k_2}{n \frac{m_2 V_1^2}{2} \left(\frac{1+R}{1 + \frac{m_2}{m_1}} \right)^2}$
	B	0,056	$B = \frac{\pi R^n (D_1^2 - d_1^2)}{4A}$
	C	0,290	$C = \frac{nh_e}{2}$
Expresia rezultată pt. funcția	$v_{vf} = f(H)$		$v_{vf} = \frac{2,40}{\sqrt{H}} - 0,29$

Tabelul 3.7.

Vitezele de vibroforare determinate experimental și prin calcul cu relația 3.1.- Foraje experimentale executate prin vibropercuții cu carotieră Ø 127 mm. $M_{ex} = 300$ daNcm; $N_{ex} = 970$ rot/min.

Intervalul de adâncime	Timp mediu parțial [min.]	Timp mediu cumulat [min.]	Vit. vibrof. parțial [m/min]	Vit. vibrof. pe cursă [m/min]	Vit. vibrof. calculat cu rel. 3.1. [m/min]
0	1	2	3	4	5
0,00 - 0,50	0,21	0,21	2,38	1,74	3,10
0,50 - 1,00	0,26	0,47	1,92		2,11
1,00 - 1,50	0,29	0,76	1,72		1,67
1,50 - 2,00	0,39	1,15	1,28		1,41
2,00 - 2,50	0,28	1,43	1,78	1,12	1,23
2,50 - 3,00	0,36	1,79	1,39		1,09
3,00 - 3,50	0,53	2,32	0,94		0,99
3,50 - 4,00	0,61	2,93	0,82		0,90
4,00 - 4,50	0,42	3,35	1,19	0,83	0,84
4,50 - 5,00	0,55	3,90	0,91		0,78
5,00 - 5,50	0,62	4,52	0,81		0,73
5,50 - 6,00	0,81	5,33	0,62		0,69

0	1	2	3	4	5
6,00 - 6,50	0,57	5,90	0,88	0,67	0,65
6,50 - 7,00	0,64	6,54	0,78		0,62
7,00 - 7,50	0,76	7,30	0,66		0,59
7,50 - 8,00	1,02	8,32	0,49		0,56
8,00 - 8,50	0,79	9,11	0,63	0,51	0,53
8,50 - 9,00	1,00	10,11	0,50		0,51
9,00 - 9,50	1,04	11,15	0,48		0,49
9,50 - 10,00	1,10	12,25	0,45		0,47

In fig.3.15 sînt prezentate diagramele de variație pe adîncime a vitezelor de vibroforare parțiale (adică calculate pe intervale de 0,5 m - diagrama 3), a celor medii pe cursă (lungime de 2,00 - curba 2) și respectiv a vitezei de vibroforare calculată cu relația teoretică 3.1. După cum se poate observa înafara zonei de început a vibroforării, atît calitativ (adică sub aspectul formei) cît și cantitativ, diagrame de variație pe adîncime a vitezei medii pe cursă determinată experimental (2), este apropiată de cea trasată cu ajutorul valorilor calculate cu relația teoretică (3.1). Acest lucru dovedește că modelul dinamic adoptat pentru procesul forării prin vibropercuții, cu toate simplificările pe care le conține, corespunde din punct de vedere practic, iar relația teoretică 2.16 poate fi folosită pentru evaluarea prin calcul a vitezei de vibroforare, atît în cazul pămînturilor coezive, cît și a celor semicoezive.

3.2.4. Raportul dintre timpul de vibroforare și timpul consumat pentru realizarea operațiilor anexe

Cercetările și încercările experimentale analizate în paragrafele anterioare, s-au referit la studiul unor aspecte legate în exclusivitate de viteza de vibroforare, adică de viteza de înaintare a carotierei în teren pe lungimea unei curse de vibroforare. După cum s-a văzut timpul de vibroforare pe lungimea unei curse, chiar dacă crește pe măsura sporirii adîncimii, cantitativ este foarte redus (de la zecimi de minute pînă la cîteva minute, funcție de lungimea cursei, nivelul de adîncime al acesteia și bineînțeles și natura terenului).

Este evident că analizarea comparativă a eficienței metodei vibroforării, față de alte procedee de execuție a forajelor, nu se poate face numai prin prisma vitezei, respectiv a timpului de vi-

broforare propriuzisă, ci este necesar a se avea în vedere viteza de vibroforare, înțeleasă ca viteză de execuție, adică determinată atât de timpul de vibroforare cât și de cel destinat realizării operațiilor anexe (coborîrea și extragerea din foraj a instrumentului de vibroforare, curățirea carotierei de pământ, recoltarea probelor, montarea de noi tije pentru lungirea prăjinii de foraj, operații care sînt aferente fiecărei curse).

De aceea pentru stabilirea tehnologiei de lucru aplicată la executarea forajelor cu ajutorul modelului funcțional de vibroinstalație, realizat prin adaptarea autoforezei UKB 2-100, autorul a întreprins unele cercetări experimentale și în direcția determinării raportului dintre timpul de vibroforare și timpul destinat realizării operațiilor anexe, respectiv a modului de variație a acestuia din urmă în funcție de adîncimea de vibroforare.

Încercările experimentale s-au efectuat pe un amplasament (Timișoara III), care de astă dată a avut caracter de producție, în sensul că forajele executate, în număr de 17, au servit la cercetarea terenului de fundare și elaborarea studiului geotehnic pentru construcțiile necesare extinderii unui mare obiectiv industrial din municipiul Timișoara. În principiu stratificația terenului în zona amplasamentului este formată dintr-un prim strat de umplutură, realizată din pămînturi nisipos-argiloase, cu grosime de 1,00-1,60 m, rezemat pe un strat natural de argilă nisipoasă, extins pînă la adîncimea de 2,80 - 3,00 m. Stratificația continuă în adîncime cu nisipuri de diverse granulozități, pe alocuri cu fragmente de pietriș și cu unele intercalații de lentile argilos-prăfoase.

Dat fiind faptul că din stratul de argilă nisipoasă a fost necesar să se recolteze probe cu structură netulburată, la vibroforare pînă în jurul adîncimii de 3,00-3,50, a fost folosită o carotieră cu diametru de 140 mm, prevăzută cu ștuț frontal pentru recoltarea probelor netulburate (forma constructivă și dimensiunile acestei carotiere se prezintă în capitolul IV). În continuare, pentru vibroforare și recoltarea probelor tulburate, a fost folosită o carotieră cu clapete, avînd diametrul mai mic (108 mm) și lungimea mai mare (2160 mm), în comparație cu cea utilizată pentru recoltarea probelor cu structură netulburată.

Datorită lungimii mai reduse a carotierei cu ștuț frontal (1680 mm), cât mai ales faptului că nivelul de recoltare a probelor cu structură netulburată a diferit de la un foraj la altul, lungimile curselor de vibroforare, pînă în jurul adîncimii de 3,00-3,50 m, nu fost inegale, mărimile lor stabilindu-se în funcție de necesitățile concrete.

Pentru un număr de 8 foraje, din cele 17 executate prin vibroforare, la care stratificația a fost relativ asemănătoare, s-a procedat la măsurarea riguroasă atât a timpului de vibroforare, cât și a timpului necesar pentru efectuarea tuturor operațiilor anexe, aferește fiecărei curse de vibroforare. Înafara condițiilor de stratificație relativ apropiate, pentru cele 8 vibroforaje s-au asigurat condiții identice și din punct de vedere a tehnologiei de vibroforare aplicate, inclusiv menținerea aceleași echipe de lucru (echipă, formată din doi muncitori sondori, un șofer mecanic pentru asigurarea tuturor manevrelor necesare ale vibroinstalației și un șef de echipă).

Mărimile timpilor de lucru, înregistrate defalcate pe operații de lucru (vibroforare și operații anexe) pentru lungimea fiecărei curse de vibroforare a celor 8 foraje, sînt prezentate în tabelul 3.8.

După cum se poate observa din datele prezentate, timpul de vibroforare (de înaintare a carotierei în teren pe lungimea unei curse și pe toată adîncimea de vibroforare) este mult mai redus decît timpul consumat pentru efectuarea operațiilor anexe. Pentru adîncimea medie a forajelor de față (în jur de 10,00-11,00 m) timpul total mediu de execuție a unui foraj prin vibropercuții cu vibroinstalația UKB 2-100, a fost de aproximativ 193 minute, din care timpul de vibroforare reprezintă în medie doar 12,3% (circa 24 minute), restul de 87,7% (circa 169 minute), fiind destinat operațiilor anexe. Corespunzător timpilor medii înregistrați în cadrul încercărilor experimentale (de fapt lucrări de producție) prezentate, valoarea medie a vitezei de vibroforare (corespunzătoare întregii adîncimi a unui foraj), rezultă în jur de 0,45 m/minut, pe cîtă vreme viteza medie de execuție este doar 0,06 m/min, adică aproape 8 ori mai redusă.

Din aspectele cantitative și calitative menționate rezultă destul de clar concluzia că productivitatea și eficiența metodei vibroforării este condiționată în cea mai mare măsură de timpul consumat pentru efectuarea operațiilor anexe, deoarece viteza de execuție a vibroforajelor este determinată în proporție de aproape 90% de mărimea acestui timp. Prin concluzia subliniată nu trebuie să se înțeleagă că problema vitezei de vibroforare, respectiv a timpului consumat pentru înaintarea carotierei în teren pe lungimea unei curse, ar fi lipsite de importanță practică. După cum a reieșit din cele prezentate în paragrafele anterioare, prin intermediul vitezei de vibroforare se pot studia legăturile principale ale procesului

Tabelul 3.8.

Timpii de lucru repartizați pe operații. Foraje executate prin vibropercuții cu instalația UKB 2-100

Nr. for.	Intervale de vibroforare și timpii totali	Timpii pe intervale și pe operații în minute			Timpii pe oper. în proc. din timp. tot.	
		Vibroforare	Operații anexe	Vibrofor. + op. anexe	Vibroforare	Operații anexe
o	1	2	3	4	5	6
F ₁	0,00 - 1,00	0,50	6,00	6,50	7,70	92,30
	1,00 - 2,00	1,25	14,00	15,25	8,20	91,80
	2,00 - 3,00	1,00	18,00	19,00	5,25	94,75
	3,00 - 5,00	3,60	19,00	22,60	15,90	84,10
	5,00 - 7,00	5,50	31,00	36,50	15,10	84,90
	7,00 - 9,00	5,00	32,00	37,00	13,50	86,50
	9,00 - 10,20	2,50	40,00	42,50	5,90	94,10
	Timpii totali	19,35	160,00	179,35	10,80	89,20
Timpii pt. 1 ml	1,90	15,68	17,58	-	-	
F ₂	0,00 - 1,20	1,00	7,50	8,50	11,75	88,25
	1,20 - 2,20	1,80	15,50	17,30	10,40	89,60
	2,20 - 2,50	0,50	17,00	17,50	2,85	97,15
	2,50 - 4,30	3,00	20,50	23,50	12,75	87,25
	4,30 - 6,30	4,00	25,00	29,00	13,80	86,20
	6,30 - 8,30	4,50	30,00	34,50	13,05	86,95
	8,30 - 10,30	5,40	42,00	47,40	11,40	88,60
	Timpii totali	20,20	157,50	177,70	11,35	88,65
Timpii pt. 1 ml	1,96	15,29	17,25	-	-	
F ₃	0,00 - 1,10	0,80	12,00	12,80	6,25	93,75
	1,10 - 2,10	1,20	17,00	18,20	6,60	93,40
	2,10 - 3,20	1,80	20,00	21,80	8,25	91,75
	3,20 - 5,20	3,00	22,00	25,00	12,00	88,00
	5,20 - 7,20	4,80	27,00	31,80	15,10	84,90
	7,20 - 9,20	5,60	30,00	35,60	15,75	84,25
	9,20 - 10,60	4,00	33,00	37,00	10,80	89,20
	Timpii totali	21,20	161,00	182,20	11,65	88,35
Timpii pt. 1 ml	2,00	15,18	17,18	-	-	

continuesea tabelului 3.8.

o	1	2	3	4	5	6
F ₄	0,00 - 1,30	1,10	15,00	16,10	6,85	93,15
	1,30 - 2,20	1,00	18,00	19,00	5,25	94,75
	2,20 - 3,50	2,00	21,00	23,00	8,70	91,30
	3,50 - 5,50	3,50	25,00	28,50	12,30	87,70
	5,50 - 7,40	5,00	27,00	32,00	15,60	84,40
	7,40 - 9,20	5,50	30,00	35,50	15,50	84,50
	9,20 -10,50	4,00	31,00	35,00	11,40	88,60
	Timpii totali	22,10	167,00	189,10	11,70	88,30
Timpii pt. 1 ml	2,10	15,90	18,00	-	-	
F ₅	0,00 - 1,65	1,45	14,00	15,45	9,00	91,00
	1,65 - 3,20	1,95	21,00	22,95	8,00	92,00
	3,20 - 5,10	3,40	22,00	25,40	13,40	86,60
	5,10 - 7,00	4,90	26,00	30,90	15,85	84,15
	7,00 - 9,00	5,80	30,00	35,80	16,20	83,80
	9,00 -10,00	4,00	33,00	37,00	10,80	89,20
	10,00-11,40	4,70	36,00	40,70	11,55	88,45
	Timpii totali	26,20	182,00	208,20	12,60	87,40
Timpii pt. 1 ml	2,30	15,96	18,25	-	-	
F ₆	0,00 - 1,45	1,60	14,00	15,60	10,25	89,75
	1,45 - 2,80	2,00	17,00	19,00	10,50	89,50
	2,80 - 3,40	0,75	19,00	19,75	3,80	96,20
	3,40 - 5,40	3,00	24,00	27,00	11,10	88,90
	5,40 - 7,30	5,00	27,00	32,00	15,60	84,40
	7,30 - 9,30	6,00	33,00	39,00	15,40	84,60
	9,30 -10,90	4,20	35,00	39,20	10,70	89,30
	Timpii totali	22,55	169,00	191,55	11,80	88,20
Timpii pt. 1 ml	2,06	15,50	17,55	-	-	
F ₇	0,00 - 1,30	1,50	15,00	16,50	9,10	90,90
	1,30 - 2,60	2,10	17,00	19,10	11,00	89,00
	2,60 - 3,60	2,20	20,00	22,20	9,90	90,10
	3,60 - 5,50	3,50	23,00	26,50	13,20	86,80
	5,50 - 7,50	5,40	26,00	31,40	17,20	82,80
	7,50 - 9,50	6,00	32,00	38,00	15,80	84,21
	9,50 -11,30	7,50	39,00	46,50	16,10	83,90
	Timpii totali	28,20	172,00	200,20	14,10	85,90
Timpii pt. 1 ml	2,50	15,22	17,70	-	-	

o	1	2	3	4	5	6
F ₈	0,00 - 1,65	1,70	15,00	16,70	10,10	89,90
	1,65 - 3,30	2,50	19,00	21,50	11,60	88,40
	3,30 - 5,30	4,00	23,00	27,00	14,80	85,20
	5,30 - 7,30	4,50	25,00	29,50	15,25	84,75
	7,30 - 9,30	5,50	30,00	35,50	15,50	84,50
	9,30 - 10,30	7,00	34,00	41,00	17,10	82,90
	Timpii totali	30,20	183,00	213,20	14,15	85,85
	Timpii pt. 1 ml	2,70	16,33	19,03	-	-
Timpii totali me- dii	23,75	168,93	192,68	12,30	87,70	
Timpii medii pt. 1 ml	2,20	15,65	17,80	-	-	

de vibroforare, necesare unei bune corelări a parametrilor vibromecanismelor folosite, cu adâncimea de vibroforare și cu natura pământului în care se execută vibroforajele.

Pe același amplasament experimental s-au executat de către aceeași echipă de lucru și foraje prin metoda clasică (foraj rotativ), cu ajutorul autoforezei mecanice AB-2. Pentru stratificație relativ identică cu cea în care s-au executat forajele prin vibropercuții, timpul mediu total de execuție a unui foraj până la adâncimea de 10 m prin metoda clasică, a rezultat de aproximativ 460 minute.

Din simpla comparare a valorilor medii a timpului total de execuție, corespunzătoare celor două metode aplicate la executarea forajelor cu adâncime în jur de 10,0 m, se observă o reducere a mărimii acestuia în cazul metodei vibroforării cu aproximativ 58% (193 minute față de 460 minute), față de cea a timpului mediu total de execuție a unui foraj cu metoda clasică.

Referitor la exprimarea cantitativă și la modul de variație, în funcție de adâncimea de vibroforare (H), a timpului destinat efectuării operațiilor anexe (t_g), în capitolul II s-a arătat că mărimea acestuia se poate exprima printr-o dependență liniară de forma $t_g = a + bH$ (relația 2.25), unde "a" și "b" sînt niște coeficienți a căror valori depind de tehnologia și instalația de lucru folosită.

Transcriind relația (2.25) prin ecuația unei drepte de forma:

$$x = a + by, \quad (3.2.)$$

prin aplicarea metodei celor mai mici pătrate, parametrul "b" se determină cu ajutorul relației:

$$b = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\overline{y^2} - (\bar{y})^2} \quad (3.3)$$

Considerînd că măsurătorile (cronometrarea timpilor în cazul de față) s-au făcut cu aceeași precizie, atunci termenii din membrul drept al relației (3.3) se pot calcula cu ajutorul următoarelor formule:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k, \quad (3.4) \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_k, \quad (3.5) \quad \overline{y^2} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_k^2; \quad (3.6)$$

$$\overline{xy} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k y_k, \quad (3.7)$$

Avînd în vedere că dreapta corespunzătoare funcției liniare căutate, trece întotdeauna prin punctul de coordonate (\bar{x}, \bar{y}) [103], expresia acestei funcții, inclusiv parametrul "a", se obțin prin simpla înlocuire a mărimilor b, \bar{x} și \bar{y} , în ecuația dreptei scrisă sub forma:

$$x - \bar{x} = b(y - \bar{y}) \quad (3.8)$$

Calculul parametrilor funcției liniare $t_g = f(H)$, efectuat pe baza datelor experimentale obținute la cele opt foraje executate prin metoda vibroforării, pe amplasamentul experimental și de producție "Timișoara III", este prezentat sub formă centralizată în tabelul 3.9.

Tabelul 3.9.

Calculul centralizat a parametrilor funcției liniare

$$t_g = f(H)$$

Mărimi de calcul	Notății	Valori calcul.	Observații
Abscisa punctului "k"	$x_k = t_{ak}$	-	Conf. tab. 3.8 și fig. 3.16
Ordonata punctului "k"	$y_k = H_k$	-	" " " "
Numărul punctelor	n	56	-
Valori medii empirice	\bar{x}	24,13	Calc. cu relația 3.4
	\bar{y}	5,84	Calc. cu relația 3.5
Mărimi intermediare de calcul	$\overline{y^2}$	45,64	Calc. cu relația 3.6
	\overline{xy}	167,98	Calc. cu relația 3.7
Parametrii funcției liniare propuse: $x = a + by$	b	2,34	Calc. cu relația 3.3
	a	10,45	Calc. cu relația 3.8

În urma înlocuirii mărimilor calculate în ecuația (3.8), rezultă următoarea expresie pentru dependența liniară $t_a = f(H)$:

$$t_a = 10,45 + 2,34 H \quad (3.9)$$

Analizînd semnificația celor doi coeficienți (a și b) ai relației 2.25, se poate observa că primul reprezintă timpul în minute destinat efectuării unor operații anexe, a căror durată nu depinde de adîncimea forajului, cum sînt: curățirea carotierei de pămîntul extras din foraj, recoltarea probelor tulburate și netulburate, demontarea și montarea carotierei, legătura dintre primul tronson al prăjinei de foraj și vibromecanism, etc. În principiu valoarea acestui coeficient se poate considera că depinde de doi factori principali: particularitățile tehnologiei de lucru aplicată de către echipa de vibroforare și destinația forajului.

După unele date oferite de literatura de specialitate [37], domeniul de variație a coeficientului "a" se poate încadra între zero și 20 de minute, menționîndu-se trei situații distincte. Astfel în cazul cînd vibroforarea se execută cu două carotiere (care se schimbă alternativ între ele la fiecare cursă) și cînd forajul nu are destinație geotehnică, adică nu se recoltează probe de teren, valoarea acestui coeficient este foarte redusă (în condiții normale nedeșășind 1 minut) și se poate considera din punct de vedere practic ca fiind egală cu zero. În situația cînd se lucrează cu o singură carotieră și nu se recoltează probe netulburate din foraj, mărimea valorică a coeficientului "a" se apreciază la 7-10 minute. Cînd vibroforarea se execută cu o singură carotieră și se efectuează recoltări de probe netulburate de pe întreaga adîncime a forajului, limitele între care se recomandă a se încadra valoarea coeficientului "a" sînt 15-20 minute.

Cel de al doilea coeficient (b), reprezintă timpul raportat la unitatea de lungime a forajului (min/m), iar mărimea se depinde de experiența practică și calificarea echipei de vibroforare, de starea tehnică a instalației și a echipamentelor de lucru și de gradul de mecanizare a operațiilor de ridicare și coborîre a dispozitivului de vibroforare în foraj. Domeniul de variație recomandat de unele date existente în literatura de specialitate, pentru valoarea coeficientului "b" este de 0,5-2,0. Limita inferioară a domeniului de variație recomandat, corespunde situației cînd gradul de mecanizare a operațiilor de ridicare-coborîre este ridicat, instalația asigură o viteză mare de extragere a dispozitivului de vibroforare din foraj, iar experiența practică și calificarea brigăzii de vibroforare sînt de asemenea ridicate. Limita superioară este caracteristică situației

cînd viteza de extragere a dispozitivului de vibroforare este redusă, iar calificarea și experiența practică a brigăzii de vibroforare sînt relativ scăzute.

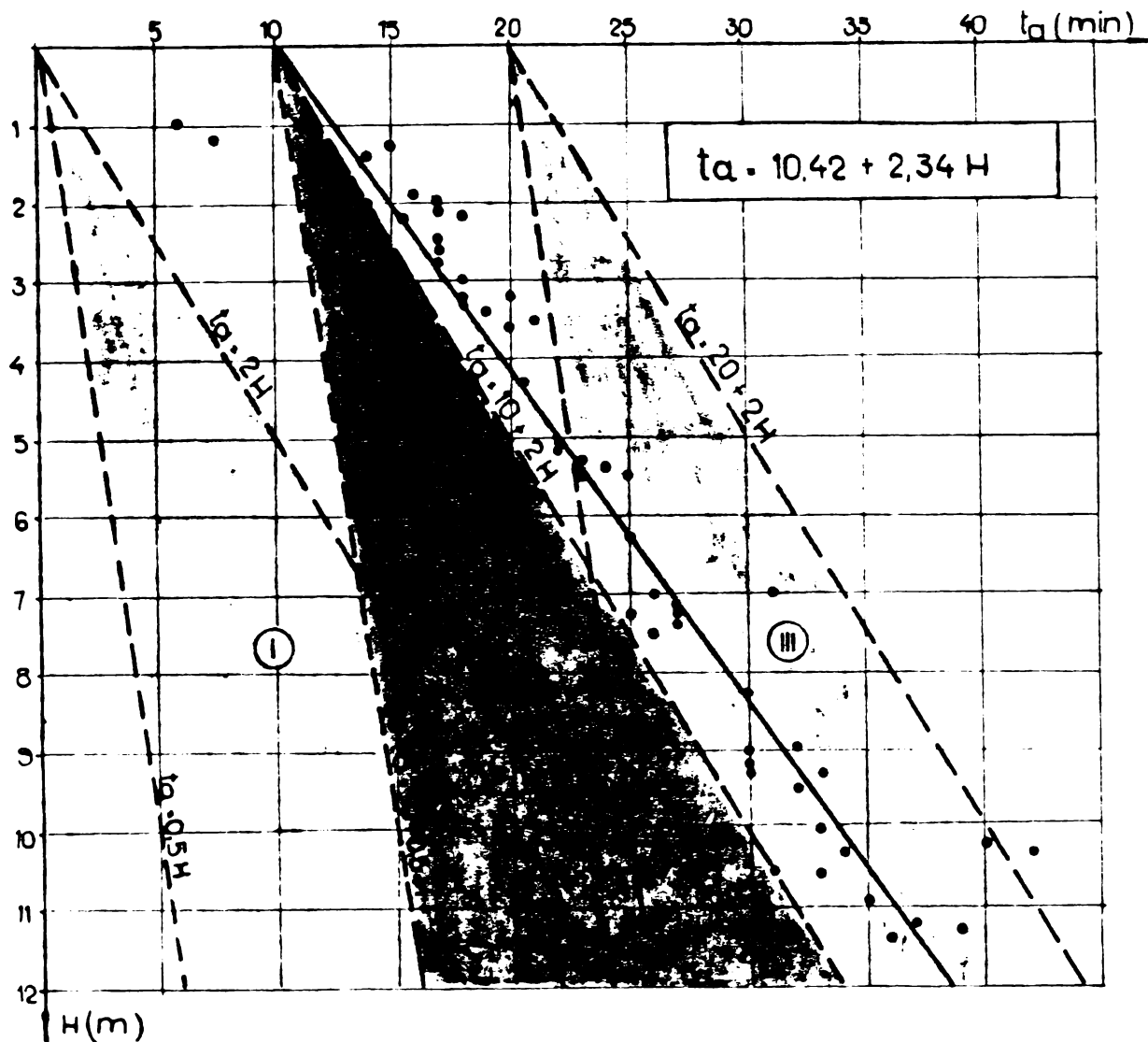


Fig.3.16. Variația pe adîncime a timpului destinat operațiilor anexe ale vibroforării

În fig.3.16. este reprezentată dependența liniară $t_a = f(H)$ prin dreapta de regresie corespunzătoare expresiei 3.9, obținută în urma prelucrării statistice a datelor experimentale. În aceeași figură sînt reproduse și domeniile posibile în care se poate situa graficul dependenței $t_a = f(H)$, delimitate pe baza valorilor limită recomandate pentru coeficienții "a" și "b", corespunzătoare diferitelor variante ale condițiilor de lucru.

Analizînd poziția relativă a dreptei trasată pe baza expresiei 3.9, față de domeniile respective, se observă că aceasta se situează în mare parte în domeniul III, dar în imediata vecinătate a domeniului II, poziție care concordă destul de bine cu condițiile tehnologice folosite la executarea vibroforajelor experimentale.

Faptul că pînă în jurul adîncimii de 3,00 m, din foraje s-au recoltat și probe netulburate, a condus la obținerea unei valori a primului coeficient ($a = 10,45$), cu puțin mai mare decît limita superioară a domeniului recomandat pentru cazul cînd vibroforarea se execută cu o singură carotieră și nu se recoltează probe netulburate. Viteza relativ scăzută, asigurată de trolul vibroinstalației pentru extragerea dispozitivului de vibroforare din foraj, precum și experiența practică redusă a echipei de lucru (fapt explicabil dacă se are în vedere că era prima lucrare cu caracter de producție), constituie cauzele care au determinat ca valoarea celui de al doilea coeficient ($b=2,34$), să nu se înscrie în domeniul recomandat (0,5-2,0).

Deși prin prisma timpului total de vibroforare, cercetările și încercările experimentale efectuate au scos în evidență o productivitate a metodei vibroforării de peste două ori mai mare în comparație cu metoda clasică, totuși din analiza întreprinsă asupra timpului destinat operațiilor anexe, rezultă că există încă rezerve de ridicare a productivității, pe seama reducerii acestuia.

In ceea ce privește timpul destinat unor operații anexe care nu depind de adîncimea forajului, reducerea sa se poate obține prin luarea unor măsuri de ordin tehnologic, cum ar fi folosirea la vibroforare a cel puțin două carotiere, care se schimbă la fiecare cursă. Prin aceasta timpul de curățire poate fi eliminat total sau parțial din volumul de timp destinat operațiilor anexe, deoarece concomitent cu executarea vibroforării pe lungimea unei curse cu o carotieră, se poate efectua curățirea și pregătirea carotierei folosită în cursa anterioară.

Prin ridicarea gradului de mecanizare și automatizare a operațiilor de ridicare-coborîre și în special prin mărirea vitezei de extragere a dispozitivului de vibroforare din teren, se poate obține reducerea și a timpului destinat unor operații anexe dependente de adîncimea forajului.

Acest ultim aspect a constituit unul din criteriile de bază care s-au avut în vedere la proiectarea și realizarea în cadrul catedrei de Drumuri și Fundații a noii instalații de vibroforare, denumită AVFH-1. Avînd în vedere valoarea relativ ridicată a coeficientului "b", obținută în cadrul încercărilor experimentale efectuate cu vibroinstalația UKB 2-100, generată în special de viteza redusă a operațiilor de ridicare-coborîre, instalația de vibroforare AVFH-1 a fost prevăzută cu un sistem de acționare hidromecanic, la care toate comenzile se execută hidraulic, asigurîndu-se o viteză mult mai ridicată a diferitelor operații anexe aferente vibroforării pe lungimea unei curse.

Din unele încercări de testare efectuate, a rezultat că, în cazul instalației de vibroforare AVFH-1, timpul destinat executării operațiilor anexe reprezintă în medie 65-70% din timpul total de execuție a unui foraj cu o adâncime în jur de 10 m, adică cu aproximativ 15-20 % mai puțin decât în cazul vibroforezei UKB 2-100 (în jur de 88 %).

3.3. Observații și constatări rezultate în urma realizării unor lucrări de vibroforare pentru producție

Așa cum s-a mai menționat, pe baza concluziilor rezultate în urma efectuării unui volum relativ mare de cercetări și încercări cu caracter experimental privind procesul și tehnologia vibroforării, au fost create cele două modele funcționale de vibroforeze (AVB 3-100 și UKB 2-100). Cu ajutorul acestora, precum și a altora improvizate la fața locului, metoda vibroforării a fost folosită în continuare pentru realizarea unor lucrări de foraje destinate diverselor scopuri ale producției.

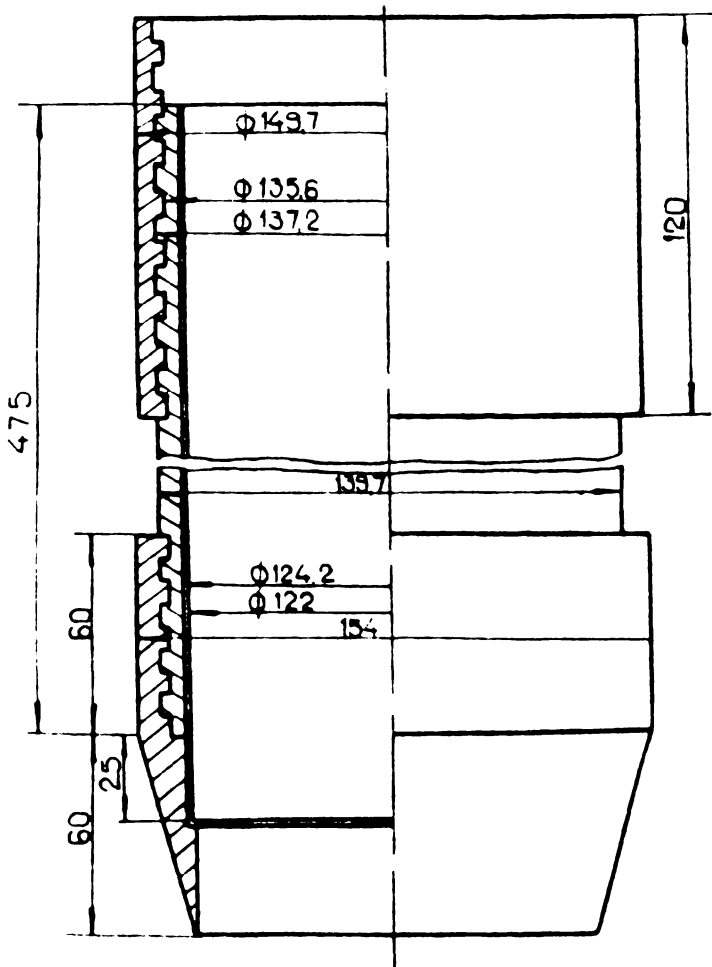
Diferitele aspecte ale procesului și tehnologiei vibroforării evidențiate prin cercetările și încercările experimentale efectuate în prealabil, au fost urmărite și cu ocazia executării acestor lucrări de producție, rezultând o serie de observații și constatări, care au confirmat și au întregit principalele concluzii desprinse din lucrările cu caracter experimental.

În cadrul acestui paragraf se face o prezentare succintă a unora dintre lucrările de vibroforare cu caracter de producție, selectate în special dintre cele efectuate în perioada de început, cu sublinierea principalelor observații și constatări rezultate din urmărirea execuției acestora.

3.3.1. Lucrări de vibroforare efectuate pe unele șantiere ale ISPIF București

Vibroforeza AVB 3-100, realizată ca model funcțional pentru executarea forajelor prin metoda vibroforării de către ISPIF București în colaborare cu Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timișoara (catedra de Mecanică teoretică și Catedra de drumuri și fundații), a fost experimentată în cadrul mai multor lucrări de foraje, executate pentru producție pe diverse șantiere din municipiul București (Floresca, Pei, Dudești, Soseaua Olteniței) și din țară (litoralul Mării Negre) [116].

Ca și instrumente de vibroforare, vibroforeza a fost echipată cu carotiere cu fante longitudinale de tipul celor prezentate în fig.3.9. Dat fiind faptul că forajele executate pe șantierele din municipiul București, erau în mare parte de natură geotehnică, pentru recoltarea probelor de teren, vibroforeza a fost echipată și cu carotiere destinate special acestui scop. După cum se poate vedea și pe fig.3.17, acest al doilea tip de carotieră, se caracterizează prin faptul că este alcătuită din mai multe tronsoane cu lungime de 500 mm, a căror îmbinare este asigurată prin intermediul unor mufe. În interior fiecare tronson este prevăzut cu câte un ștuț, executat din țevă cu perete subțire și diametru corespunzător unei bune așezări în carotiera propriu-zisă. Scopul ștuțurilor interioare este acela de a permite recoltarea și transportarea probelor netulburate la laborator precum și o extragere ușoară a probelor din carotieră.



Pentru vibroforare și recoltarea probelor, se montează 2-3 tronsoane, realizându-se o lungime a carotierei de 1,0-1,5 m, completându-se diferența de înălțime cât permite gabaritul turlei de foraj al vibroforezei cu prăjina de foraj, realizată la rîndul său din tronsoane de tije metalice, cu \varnothing 75 mm, îmbinate prin filet cu pasul mare, care înlesnește efectuarea unor manevre rapide.

Pe diverse șantiere din municipiul București, cu vibroforeza AVB 3-100, au fost executate foraje geotehnice cu recoltări de probe tulburate și netulburate, pe adîncimi între 12,0 și 14,0 m. Stratificațiile terenului s-au caracterizat în general prin alternanța unor straturi

Fig.3.17. Carotieră demontabilă, alcătuită din tronsoane îmbinate cu mufe argiloase, (argile nisipoase, nisipuri argiloase, argile plastic-vîrtoase) cu straturi de nisipuri fine și mijlocii, pe alocuri chiar și cu rar pietriș.

In marea majoritate a cazurilor pe aceleași amplasamente au fost executate în paralel și foraje manuale, pentru a putea compara

atât productivitatea metodei vibroforării (forare prin vibropercuție în acest caz), cât și stratificațiile și calitatea prebelor obținute prin cele două metode.

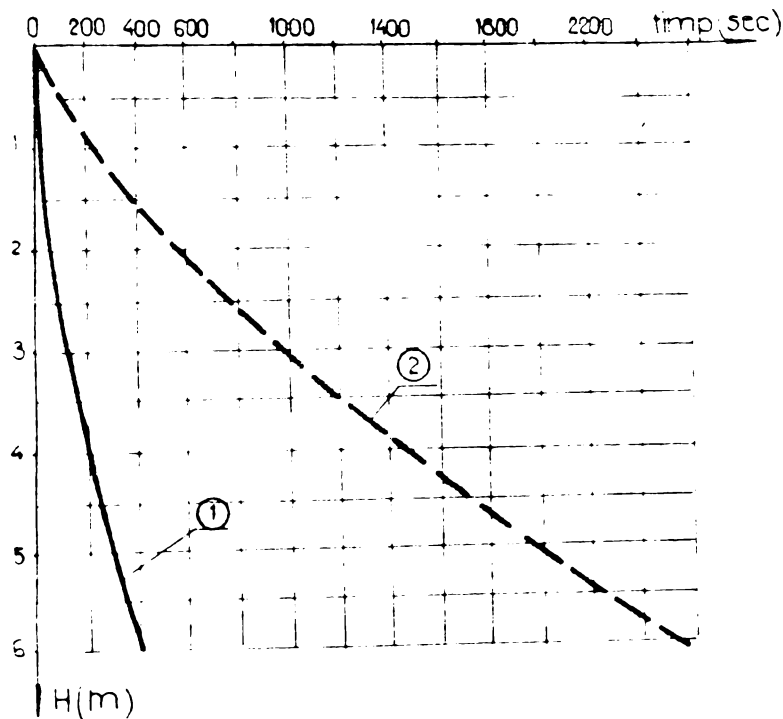


Fig.3.18. Variația pe adâncime a timpului de înaintare a carotierei într-un teren de categoria a III-a. 1-vibroforare; 2-forare manuală

In fig.3.18 se prezintă rezultatele obținute pe unul din șantierele ISPIF, pentru teren de categoria a III-a, prin prisma mărimii și variației pe adâncime, a timpilor de înaintare efectivă în pământ a carotierei, corespunzător celor două metode aplicate la executarea unor foraje cu adâncime de 6,00 m. Se constată o reducere considerabilă a timpului de înaintare a carotierei (de peste șase ori)

în cazul forării prin vibropercuții, față de metoda forării manuale, realizându-se o viteză medie de vibroforare de 1,5 m/sec.

Din compararea stratificațiilor rezultate, precum și a indicilor geotehnici determinați pe probe recoltate prin cele două metode de execuție a forajelor - manuală și prin vibroforare (vibropercuții) - s-a constatat o bună concordanță [116].

Constatările subliniate mai sus au fost confirmate și în cazul forajelor cu adâncime mai mare, astfel la executarea unor foraje cu adâncimi până la 14,0 m în pământuri de aceeași categorie, viteza de vibroforare a fost 0,7 - 1,0 m/min, iar timpul total de execuție a unui foraj prin metoda vibroforării s-a redus în medie cu 60-65 %, față de forarea manuală [116].

Analizând raportul dintre timpul de vibroforare și timpul consumat pentru efectuarea operațiilor anexe, mărimile cantitative înregistrate și cu ocazia executării acestor lucrări au confirmat pe deplin concluzia subliniată în paragraful anterior, potrivit căreia timpul de vibroforare este foarte redus în comparație cu cel destinat operațiilor anexe. La executarea primilor patru metri de foraj, a unui grup de foraje executate pe șantierele "Floreasca", timpul mediu total de execuție a fost în jur de 113 minute, din care timpul mediu

de vibroforare a reprezentat doar aproximativ 4 minute, adică mai puțin de 4%, ceea ce dovedește încă odată că ridicarea substanțială a productivității metodei vibroforării se poate obține prin reducerea timpului consumat pentru efectuarea operațiilor anexe.



Fig. 3.19. Vedere generală a vibroforezei AVB 3-100



Fig. 3.20. Probe de teren recoltate cu carotiera demontabilă

În fig. 3.19 este redată vederea generală a vibroforezei AVB 3-100, iar în fig. 3.20 este prezentată o probă de teren recoltată cu carotieră demontabilă după generatoare.

3.3.2. Lucrări de vibroforare efectuate pe un șantier al ISCH București

Un alt exemplu de aplicare în producție a metodei vibroforării îl constituie forările necesare lucrărilor de readucere în poziție verticală a unui castel de apă și de consolidare a terenului de fundare pentru această construcție [81], [116]. În stratificația terenului de fundare, ponderea cea mai mare o are un strat de loess cu grosime de circa 10 m. Datorită tasării inegale a stratului de loess, cauzată de umezirea sa neuniformă, castelul de apă a suferit o înclinare de aproximativ 2° . Ca soluție de readucere în poziție verticală a construcției, s-a prevăzut inundarea terenului de fundare (a stratului de loess) din partea opusă a înclinării, în așa măsură încât să se obțină aceeași tasare sub toată secțiunea fundației și apoi consolidarea stratului de loess prin procedeul electrosilicatizării [121]. Pentru introducerea electrozilor necesari electrosilicatizării au fost executate foraje atât verticale cât și înclinate sub o pantă de 2:1 și respectiv 1:1 (fig. 3.21).

Adâncimea forajelor verticale executate în imediata vecinătate a castelului a fost în jur de 5,00 m, iar a celor executate la distanță de 25 m față de castel (necesare experimentării electrosilicatizării) a fost de 2,5 m.

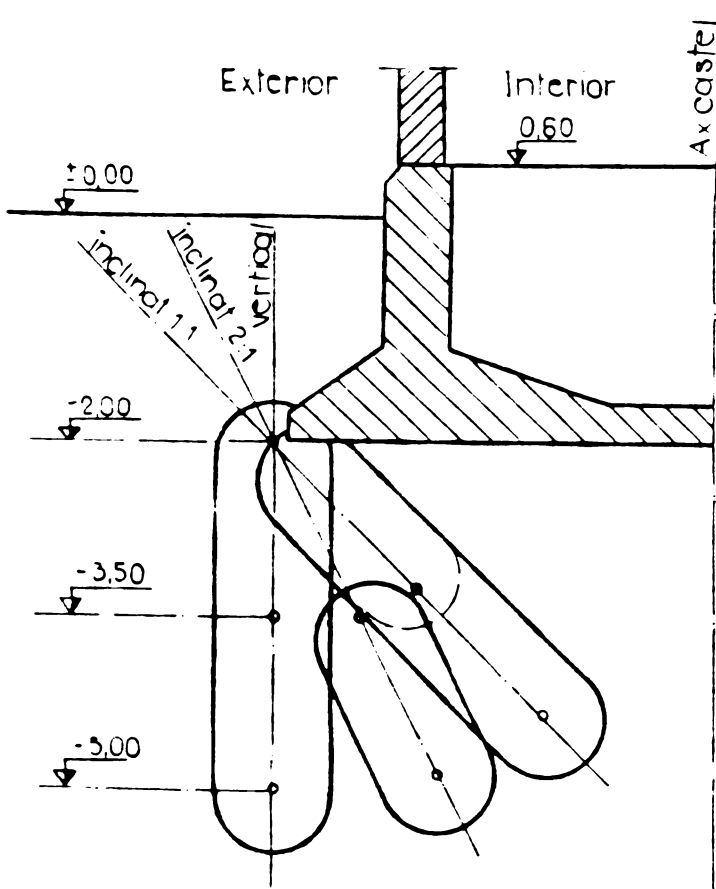


Fig.3.21. Secțiune transversală prin zona consolidată din jurul castelului

Forajele înclinate au avut o lungime de aproximativ 5,5 m pentru înclinarea de 2:1 și 7 m pentru înclinarea de 1:1.

Funcție de adâncimea de la care s-au recoltat probele, umiditatea terenului în care s-au executat forajele a fost de 11,2-19,7%, pentru zona neumectată și de 12-26,2% pentru zona umectată, iar porozitatea a variat între 45% și 48%.

Forajele pentru recoltarea probelor necesare determinării umidității și porozității terenului, s-au efectuat manual, iar cele necesare introducerii electrozilor, stît în poziție verticală cît și înclinată, s-au executat prin metoda vibroforării.

Ca vibromecanism s-a folosit vibratorul VE 3, iar ca instru-

ment de vibroforare, o carotieră de tipul celei prezentate în fig. 3.9.b (carotieră cu mai multe fante longitudinale), avînd următoarele dimensiuni geometrice: lungimea de 1000 mm, diametrul exterior de 50 mm, grosimea peretelui de 3 mm, diametrul exterior al cușitului de 52 mm și diametrul interior al cușitului de 42 mm.

Cîteva date comparative privind executarea forajelor prin procedeul manual și prin vibrare în loess se pot urmări în tabelul 3.10.

Tabelul 3.10

Rezultate obținute la executarea forajelor în loess, manual și prin vibrare (carotieră \varnothing 50 mm)

Nr. for.	Adîncimea de foraj	Timpul de forare în minute				Viteza medie de execuție a for. [m/min]	
		Manual	V i b r a r e			Manual	Vibrare
Vibrofor.	Vibrofor.+ op. anexe		Total				
0	1	2	3	4	5	6	7
1	2,80	38	1,5	13	14,5		
2.	5,00	60	4	18	22		
3	5,10	63	3,5	21	24,5		
4	5,20	57	4,5	20	25,5	0,08	0,201

Continuare tabelul 3.10

o	1	2	3	4	5	6	7
5.	5,00	57	4,5	19	23,5	0,08	0,201
6	3,00	42	2	15	17		
7	5,15	70	5	21	26		
8	5,00	59	5	20	25		

Din datele prezentate se observă că viteza medie de execuție a forajelor prin vibrare este de peste 2,5 ori mai mare decât în cazul forării manuale. De asemenea din analiza mărimii timpilor obținuți la forarea prin vibrare, rezultă și de această dată că timpul consumat pentru înaintarea carotierei în teren (de vibroforare propriu-zisă) este mult mai mic decât cel consumat pentru efectuarea diverselor operații anexe.

În tabelul 3.11 sînt prezentate valorile timpilor totali de execuție pentru foraje executate prin vibrare sub diferite înclinări.

Tabelul 3.11.

Rezultate obținute la executarea forajelor cu diferite înclinări prin vibrare (carotieră \varnothing 50 mm)

Nr. for.	Foraje verticale			Foraje cu încl.2:1			Foraje cu încl.1:1		
	Adînc. foraj [m]	Timp total de exec. [min.]	Viteza medie de exec. [m/min.]	Adînc. foraj [m]	Timp total de exec. [min.]	Viteza medie de exec. [m/min.]	Adînc. foraj [m]	Timp total de exec. [min.]	Viteza medie de exec. [m/min.]
1	5,00	22	0,21	5,50	31	0,19	7,00	55	0,14
2	5,10	24,5		5,45	28		7,00	60	
3	5,20	25		5,50	27		6,80	52	
4	5,00	23,5		5,40	25		7,00	58	
5	5,15	24		5,50	30		6,50	48	
6	5,00	25		5,50	28		5,90	50	

După cum se poate observa, vitezele medii de execuție a forajelor verticale și ale celor cu înclinare de 2:1 sînt foarte apropiate ca valoare. Acest lucru este explicabil, dacă se are în vedere că adîncimea celor două categorii de foraje diferă relativ puțin, și ca atare timpii destinați operațiilor anexe sînt aproximativ de același ordin de mărime, iar creșterea timpului de vibroforare, care are loc în cazul forajelor cu înclinare de 2:1, influențează puțin asupra reducerii vitezei de execuție a acestora. În cazul forajelor cu înclinare de 1:1, reducerea vitezei de execuție în comparație cu cele verticale, este mai substanțială. Această reducere se datorește atât

creșterii timpului de vibroforare, datorită înclinării și adâncimii mai mari a forajelor, cât mai ales sporirii mărimii timpului consumat pentru efectuarea operațiilor anexe. Comparând vitezele de execuție cu cele obținute la forajele manuale (tabelul 3.10) se pune în evidență productivitatea mult mai ridicată a metodei vibroforării (vibrare pură în acest caz) față de cea manuală, chiar și în cazul executării unor foraje cu înclinare de 45° (de aproape două ori mai mare).

În ceea ce privește manifestarea "efectului de pilot", s-a observat că aceasta depinde printre altele, de umiditatea și compacitatea stratului de loess străpuns. Astfel, în zonele unde umiditatea a fost cuprinsă între 15 % și 25 %, efectul de pilot nu s-a manifestat, umplerea carotierei realizându-se pe toată lungimea sa (1,00 m). În unele zone unde umiditatea loessului a fost de 12-15 %, în mare parte umplerea carotierei s-a realizat doar parțial, datorită manifestării efectului de pilot. De asemenea la forajele cu înclinare de 1:1, după străbaterea primilor 5,00 m, a început manifestarea efectului de pilot, datorită compacității mai ridicate a loessului de sub fundația castelului.

Transformând vibratorul VE 3 în vibropercutor și executând foraje experimentale cu aceeași carotieră în stratul de loess, s-a observat că efectul de pilot începe să se manifeste de la o adâncire a carotierei în teren, relativ redusă (sub 0,5 m). Acest lucru permite să se sublinieze că, în cazul pământurilor loessoide, forarea prin vibrare pură poate conduce la rezultate mai bune decât cea prin vibropercuție, cel puțin sub aspectul deranjării structurii naturale a terenului prin manifestarea efectului de pilot.

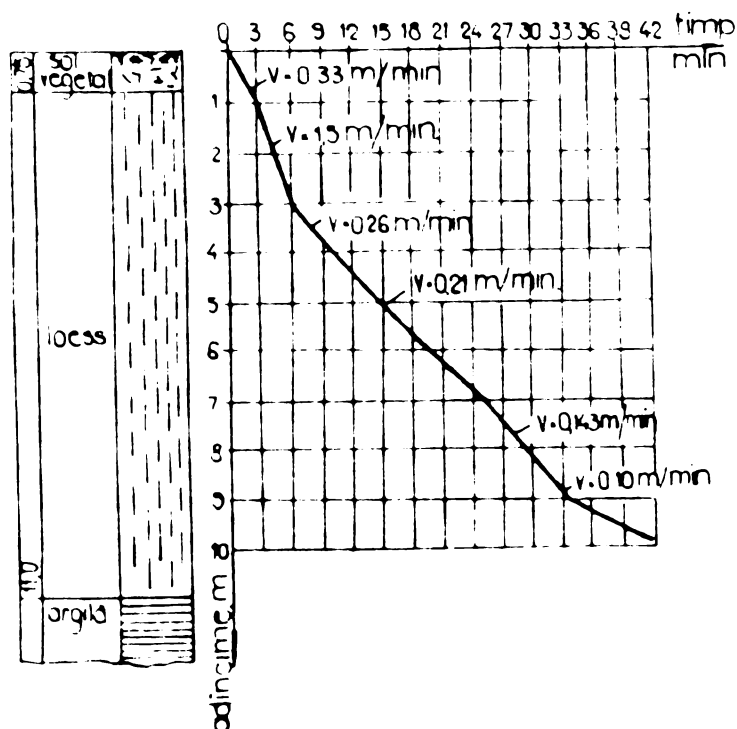


Fig. 3.22. Variația pe adâncime a timpului de vibroforare

Pe același șantier s-au executat foraje experimentale (tot prin vibrare pură) folosind și o altă carotieră, cu aceeași formă constructivă, dar cu dimensiuni mai mari (lungimea de 2000 mm și diametru de 108 mm - fig. 3.9b).

În fig. 3.22, se prezintă rezultatele obținute (timpii și vitezele medii de vibroforare pe porțiuni) la forajele experimentale executate cu carotiera de diametru \varnothing 108 mm.

Având în vedere valorile relativ reduse ale principalilor

parametri ai vibratorului folosit (VE 3), în special a momentului maselor excentrice (34 daNcm, turația fiind de 900 rot/min), precum și caracteristicile geometrice ale carotierei folosite, timpul mediu de vibroforare cumulat pe toată adâncimea (42 minute), se poate considera totuși, ca fiind relativ redus (viteza medie de vibroforare fiind de aproximativ 0,23 m/minut). Se precizează de asemenea că efectul de pilot nu s-a manifestat în cazul folosirii carotierei cu diametru de 108 mm, iar caracteristicile geotehnice ale probelor recoltate au fost foarte apropiate ca valori, de cele obținute pe probe recoltate din forajele manuale.

3.3.3. Lucrări de vibroforare efectuate pentru TCIF Timișoara

Pe lângă executarea de foraje cu caracter experimental, respectiv a unor foraje geotehnice necesare cercetării condițiilor de fundare pe diverse amplasamente din municipiul Timișoara și din județ, vibroforeza UKB 2-100 a fost testată în perioada de început și prin executarea cu ajutorul ei, a unui volum mare de foraje (circa 500 ml), necesare realizării unor puțuri hidrogeologice de observație, în diverse zone ale Cîmpiei Banatului. În cele ce urmează se prezintă unele aspecte ale executării unor astfel de puțuri hidrogeologice prin metoda vibroforării, pe diverse șantiere de irigații și desecări, ale Trustului de Construcții și Îmbunătățiri Funciare Timișoara [81].

Stratificația terenului în care s-au executat majoritatea puțurilor hidrogeologice cu vibroforeza UKB2-100, este alcătuită în general dintr-un pachet de straturi argiloase și prăfoase (argile lutoase plastic vîrtoase, prafuri argiloase, plastic consistente spre vîrtoase), urmate în adâncime de straturi formate din pămînturi necoezive, (nisipuri de diverse granulozități cu rar pietriș), pe alocuri cu slabe incluziuni argiloase și prăfoase. Diferențierile care apar în stratificația terenului de la o zonă la alta, respectiv de la un puț la altul, constau în faptul că straturile de pămînt necoeziv apar la adâncimi diferite (între 4 și 10 m) față de nivelul terenului, datorită în special caracterului denivelat al acestuia. Din acest motiv și adâncimea de execuție a forajelor, respectiv a puțurilor hidrogeologice, a variat între 5 și 11 m.

Instrumentul de vibroforare folosit a constatat dintr-o carotieră cu mai multe fante longitudinale (de tipul celei prezentate în fig. 3.9 b) cu diametrul interior de 140 mm și lungime de 2000 mm .

După executarea prin vibroforare (vibropercuții) a forajelor, pînă la adîncimea necesară (adică pînă la un nivel situat cu 1-1,5 m mai jos față de partea superioară a stratului de pămînt necoeziv), în găurile forate s-au introdus tuburile de observație, a căror diametru exterior era de 102 mm. Aceste tuburi s-au confecționat din material plastic (PVC), avînd la partea inferioară pe o lungime de aproximativ 1,5 m, practicate orificii pentru pătrunderea apei în tub. Pentru ca prin porțiunea filtrantă să nu pătrundă și particule fine de teren, tubul pe această porțiune este protejat cu o plasă fină de sîrmă, iar în interspațiul dintre tub și peretele găurii forate s-a introdus material granular (nisip cu pietriș), creînd astfel un filtru invers local.

Timpul mediu total de execuție a unui astfel de puț hidrogeologic de observație, cu o adîncime în jur de 5,0 m a fost de aproximativ 70 de minute, iar a unuia cu adîncime în jur de 11,0 m, de aproximativ 195 minute. Avînd în vedere că în medie 15-25 de minute (funcție de adîncimea forajului) au fost consumate pentru pregătirea și montarea în găurile de foraj a tuburilor filtrante, rezultă o valoare de 3,85-5,45 m/h, pentru viteza medie de execuție a unor foraje cu adîncimea de 5,0-11,0 m, prin metoda vibroforării în pămînturi semi-argiloase. În ceea ce privește timpul mediu de vibroforare (adică de înaintare a carotierei în teren), acesta a fost în jur de 8 minute pentru forajele cu adîncime de 5,0 m și de aproximativ 21 minute pentru cele cu adîncime de 11,0 m, ceea ce este echivalent cu o viteză medie de vibroforare, corespunzătoare întregii adîncimi a forajelor, de 0,50 - 0,60 m/min. Comparînd mărimea timpului mediu de vibroforare cu cea a timpului total de execuție a vibroforajelor (adică inclusiv timpul destinat operațiilor anexe) aceasta reprezintă în jur de 12,5 - 14,5 % din ultima valoare.

După cum se poate observa, mărimile cantitative ale vitezei de vibroforare și ale celei de execuție, precum și ale raportului dintre timpul de vibroforare și cel destinat operațiilor anexe, rezultate în urma unui volum relativ mare de foraje executate prin metoda vibroforării, în scopul realizării de puțuri hidrogeologice, sînt foarte apropiate de cele obținute în cadrul lucrărilor experimentale efectuate cu aceeași vibroforare și în condiții de teren relativ asemănătoare, pe amplasamentul experimental și de producție "Timișoara III". Acest lucru permite să se considere că și concluziile rezultate în urma prelucrării datelor experimentale, care au fost subliniate în paragraful 3.2, sînt confirmate în practica executării forajelor prin metoda vibroforării.

CAPITOLUL IV

PARTICULARITATI SPECIFICE ALE EXECUTARII FORAJE-
LOR GEOTEHNICE CU RECOLTARI DE PROBE NETULBURATE
PRIN METODA VIBROFORARII

4.1. Considerații generale

Problema principală care se pune la executarea forajelor de prospectare tehnico-geologică și geotehnică, indiferent de procedeul de execuție, constă în obținerea unor date cât mai complete asupra structurii geologice a zonei cercetate, necesare proiectării și executării ulterioare a construcțiilor. Cu cât concordanța acestor date cu realitatea este mai bună, cu atât gradul de siguranță al construcțiilor proiectate și executate pe baza lor, va fi mai ridicat.

La forajele de cercetare tehnico-geologică și geotehnică a terenurilor de fundare, calitatea forării, respectiv a procedeului de execuție a forajelor și de recoltare a probelor, se poate analiza în principiu prin prisma următoarelor aspecte principale:

- precizia reflectării reale a profilului litologic și hidrogeologic a terenului în care se execută forajele;
- gradul de păstrare a structurii netulburate pentru probele recoltate în vederea determinării caracteristicilor fizice și mecanice prin încercări de laborator;
- precizia datelor obținute prin efectuarea în forajele executate a unor încercări experimentale la fața locului;
- gradul de schimbare a proprietăților de rezistență și de stabilitate generală a masivului în care se execută forajele (aspect care interesează în special în cazul cercetării tehnico-geologice și geotehnice a terenurilor afectate de instabilitate).

Pentru aprecierea vibroforării ca procedeu de execuție a forajelor de cercetare tehnico-geologică și geotehnică a terenurilor de fundare, importanță majoră prezintă în special primele două aspecte, dintre cele menționate mai sus. Măsura în care precizia reflectării profilului litologic natural este ridicată, iar influența vibrațiilor sau vibropercuțiilor asupra proprietăților fizice și mecanice ale pământului din probele recoltate este redusă, constituie criteriile principale de apreciere a calității și eficienței metodei vibroforării, ca procedeu de execuție a forajelor de cercetare tehnico-geologică și geotehnică a terenurilor de fundare.

Din cele prezentate rezultă că procesul de execuție al forajelor geotehnice prin vibroforare include două aspecte distincte, atât din punct de vedere al tehnologiei de lucru cât și al instrumentelor de forare folosite. Primul aspect îl constituie forarea (vibroforarea) propriu zisă, prin care se determină profilul litologic de stratificație, iar al doilea constă în recoltarea probelor netulburate, necesare determinării în condiții de laborator a caracteristicilor fizice și mecanice a pământurilor, din care este alcătuit terenul de fundare cercetat.

După cum s-a mai arătat pe parcursul lucrării, eficiența sporită a vibroforării ca procedeu de forare în general, este dată de viteza relativ mare de înaintare în teren a instrumentului de forare. De aceea la stabilirea, atât a parametrilor vibromecanismului utilizat și a alcătuirii constructive a instrumentelor de forare folosite, cât și a tehnologiei de lucru propriuzise, se are în vedere în general condiția obținerii unei viteze maxime de forare pentru o anumită categorie de pământ.

Sub aspectul determinării profilului litologic de stratificație, această condiție este suficientă și în cazul forajelor tehnico-geologice și geotehnice, cu precizarea că în procesul de vibroforare să nu apară "efectul de pilot", prin care evident că se produce denaturarea poziției limitelor de stratificație, datorită mișcării relative a pământului din interiorul carotierei în raport cu cel din exterior.

Sub aspectul recoltării probelor netulburate prin metoda vibroforării, condiția obținerii unei viteze maxime posibile de înaintare a carotierei în teren, considerată în mod singular ca și criteriu de bază, în alegerea parametrilor vibromecanismului, a tehnologiei de lucru și a tipului constructiv de carotieră, este insuficientă din punct de vedere practic. În cazul forajelor geotehnice cu recoltări de probe netulburate, executate prin vibroforare, alegerea parametrilor vibroforării este condiționată în primul rând, de necesitatea obținerii unor probe de pământ cu un grad de tulburare a structurii naturale pe cât posibil redus la minim.

Realizarea acestui deziderat, respectiv corelarea parametrilor vibroforării cu diferitele tipuri de pământuri, astfel încât influența lor, asupra modificării caracteristicilor fizice și mecanice a probelor de pământ recoltate, să fie minimă, nu se poate obține decât pe baza unor încercări experimentale.

4.2. Precizia reflectării profilului litologic real

Precizia de determinare prin forare a poziției limitelor de schimbare a stratificației terenului de fundare, prezintă importanță practică în special în cazul unor profile litologice complexe, în care se succed straturi sub formă de intercalații relativ subțiri, dar care se diferențiază mult din punct de vedere al proprietăților fizice și mecanice.

Se poate menționa de la început că problema modului de determinare a preciziei reflectării profilului litologic real, obținut prin diverse procedee de forare, este foarte puțin tratată în literatura de specialitate. Mai mult decât atât, chiar pentru noțiunea însăși de "precizie" diverși cercetători au considerat semnificații diferite. Unele aspecte ale acestei probleme, atât de ordin calitativ cât și cantitativ, au fost totuși evidențiate prin studiile și cercetările întreprinse de cercetătorul sovietic L.Kunik [45], în cadrul tezei sale de doctorat, elaborată sub conducerea profesorului B.M.Rebric.

Aceste cercetări s-au axat în mare parte pe determinarea unor criterii privind aprecierea cantitativă a preciziei de reflectare a profilului litologic real, în cazul forajelor executate prin diverse procedee: vibroforare, forare prin lovituri cu dispozitiv de forare inelar, forare rotativă manuală, forare cu șnecuri. Indicii cantitativi de apreciere a preciziei stabiliți de L.Kunik în cercetările sale sînt următorii: valoarea medie (\bar{x}) a mărimii abaterii poziției limitelor de schimbare a stratificației, față de cele reale (stabilite prin săpături deschise sub formă de puțuri sau degoliri naturale existente); abaterea medie patrată (s_k); coeficientul de imperfecțiune a reflectării profilului litologic (k_g), definit ca raport între numărul straturilor care nu se observă la forare și numărul total de straturi intersectate; grosimea medie a straturilor neobservate în procesul de forare (\bar{m}_g). Prin considerarea acestor indici cantitativi, noțiunea de "precizie a reflectării a profilului litologic real", pentru oricare procedeu de forare, deși se prezintă ca o mărime complexă, primește o semnificație mai concretă și bine determinată.

Cercetările experimentale propriuzise au constatat în determinarea stratificației terenului pe adîncime de 8-10 m, prin foraje executate cu diverse procedee și compararea ei, prin intermediul indicilor menționați mai sus, cu stratificația determinată prin sonde deschise sub formă de puțuri, care s-a considerat drept mărime etalon. Numărul straturilor de teren diferite, din profilele

litologice corespunzătoare amplasamentelor experimentale considerate, a fost de 5 - 14, iar grosimea minimă a unui strat de 0,05 - 0,20 m. Rezultatele prelucrării datelor experimentale, obținute de către L.Kuzik în cercetările sale, se pot urmări în tabelul 4.1.

Tabelul 4.1.

Indici cantitativi ai preciziei de reflectare a profilului litologic

Procedeul de forare	Num. valor. consid.	Indicii cantitativi ai preciziei				Clasificarea preciziei
		\bar{x} [m]	s_k [m]	k_g [%]	m_g [m]	
Vibroforare	25	0,03	$\pm 0,12$	5	0,10	Ridicată $k_g < 10\%$
Forare prin lov. cu disp. de ferare inelar	13	0,07	$\pm 0,23$	13	0,18	Medie $k_g = 10-20\%$
Forare rotativă în ceață (mas.)	16	0,17	$\pm 0,38$	28	0,30	Scăzută $k_g = 20-30\%$
Forare cu șnec	20	0,24	0,53	30	0,29	

Valorile prezentate în tabelul de mai sus demonstrează că, dintre toate procedeele de forare considerate, procedeul vibroforării se caracterizează prin cea mai ridicată precizie de reflectare a profilului litologic real al terenului. După cum se poate observa, valoarea medie a abaterii poziției limitelor de stratificație, față de cele reale este de cca 3 cm (de 2 până la 8 ori mai mică decât la celelalte procedee), iar abaterea medie patritică de $\pm 0,12$ (adică de 2 la 4 ori mai mică decât la restul procedeelelor). De asemenea atât valoarea coeficientului de imperfecțiune (k_g) a reflectării profilului, cât și valoarea medie a grosimii unui strat neobservat (m_g), sînt mult mai mici în cazul procedeeului vibroforării, în comparație cu celelalte procedee analizate în cazul de față.

Deși problema determinării preciziei de reflectare a profilului litologic real, n-a constituit obiectivul principal, urmărit de autor în cercetările sale proprii, sau în lucrări de producție efectuate cu concursul său, totuși o serie de observații făcute în această direcție, au arătat că procedeul vibroforării se caracterizează printr-un grad foarte ridicat de reflectare reală a stratificației terenului. Astfel cu ocazia efectuării a numeroase studii geotehnice, pentru diferite amplasamente din municipiul Timișoara,

din județul Timiș și județele limitrofe, stratificațiile determinate pe baza forajelor executate prin vibroforare cu vibroforeza UKB2-100, au fost comparate cu cele reale, acestea din urmă fiind evidențiate, fie prin unele sonde deschise, efectuate în paralel, fie cu ocazia executării săpăturilor pentru fundațiile construcțiilor respective.

Diferențele sesizate între pozițiile limitelor de schimbare a straturilor, corespunzătoare profilelor litologice determinate prin cele două procedee, sînt ne semnificative din punct de vedere practic (în general nedepășind 5-10 cm), ceea ce confirmă pe deplin concluzia menționată mai sus.

4.3. Deranjarea structurii naturale a probelor recoltate prin vibroforare

Atît rezultatele unor cercetări, cît mai ales experiența practică privind executarea forajelor geotehnice, arată că la oricare procedeu de recoltare a probelor netulburate, se produc unele modificări ale structurii naturale a pămîntului, iar evitarea în întregime a acestora nu este posibilă în practică. De asemenea experiența practică a dovedit că aceste modificări sînt mult mai pronunțate pe partea periferică a probelor (în vecinătatea pereților stuțului de recoltare), în comparație cu zona centrală.

În cazul recoltării probelor prin vibroforare (adică, cînd înfigerea carotierei se face prin vibrații sau vibropercuții) s-a observat [7], [19], [25], că zona de distrugere pronunțată a structurii naturale a pămîntului se extinde pe o grosime de 20-30 mm față de peretele carotierei. Această constatare a condus la conturarea unei prime concluzii referitoare la diametrul carotierelor folosite pentru recoltarea probelor prin vibroforare, în sensul că valoarea minimă a acestuia, trebuie să fie cel puțin 80-90 mm. Cu cît diametrul carotierei, respectiv raportul între aria secțiunii transversale a carotei și perimetrul ei, este mai mare, cu atît și volumul probei cu structură naturală practic nederanjată (sau mai corect spus cu un grad de tulburare foarte redus) este mai mare, permițînd astfel efectuarea încercărilor și determinărilor de laborator în bune condițiuni.

Necesitatea de a da un răspuns clar și argumentat în același timp, la întrebarea dacă metoda vibroforării poate fi acceptată ca procedeu curent de executare a forajelor geotehnice cu

recoltări de probe netulburate, a impus efectuarea unui volum relativ mare de cercetări și încercări experimentale, prin care s-a urmărit în primul rând determinarea cantitativă a modificărilor care au loc în structura probelor recoltate prin vibroforare. Dintre cercetările destinate acestui scop se pot menționa cele efectuate de : B.M.Gumenski și N.S. Komarov [26], V.M.Poji și M.L. Seikov [61] M.G.Efremov [19], B.P.Rebric [98], A.V. Vasiliev [135] și alții în URSS, I. Hrdy [34] în R.S.Cehoslovacia, J.E.Sanders [104] în SUA, la care se adaugă și cercetările din R.S.România, efectuate de autor [79], [80], [81], precum și de Ed.Strasser [127] de la Institutul de Proiectări Cluj-Napoca și T.Stoianovici [123], de la Institutul de Proiectări Tehnologice pentru Industria Ugoară București.

Deși diferențiate din punct de vedere al naturii pământului, al parametrilor și tipurilor de vibromecanisme utilizate, al tipurilor constructive de carotiere și chiar al tehnologiei aplicate la vibroforare și recoltarea probelor, esența tuturor acestor cercetări a constat în compararea caracteristicilor fizice și mecanice determinate pe probe recoltate prin vibroforare, cu cele obținute pe probe recoltate prin alte procedee (în special prin procedeul recoltării manuale din sonde deschise). Totuși existența diferențierilor menționate mai sus, a făcut ca și în rezultatele acestor cercetări, să apară unele neconcordanțe, mai ales în perioada de început.

În cazul pământurilor alcătuite din argile cu coeziune mare și relativ compacte ($e < 0,8 \div 0,9$), concordanța rezultatelor diverselor cercetări a fost în general mai bună, arătând că denaturările care intervin în structura probelor la recoltarea prin vibroforare, sînt relativ mici și ne semnificative din punct de vedere practic, fiind echivalente cu cele corespunzătoare altor procedee de recoltare (înfigerea stuțurilor prin betere spre exemplu). Acest lucru a constituit baza concluziei trasă de N.V.Kolomenskii [42] și de alți cercetători, în sensul că procedeul vibroforării poate fi aplicat cu rezultate bune la recoltarea probelor netulburate din pământuri argiloase. Din punct de vedere al parametrilor vibromecanismelor, cercetările au arătat că pentru astfel de condiții de teren cele mai corespunzătoare sînt vibropercutoarele, la care momentul excentricilor are valoarea de 150-300 daNcm, iar turația de rotație a acestora de 800-1500 rot/min.

În cazul unor pământuri argiloase caracterizate printr-o stare de compactitate mai redusă, precum și la pământurile loes-soide, unele cercetări efectuate cu caracter experimental sau de

producție, au arătat deranjări mai pronunțate ale structurii probelor recoltate prin vibroforare, concretizate într-o compactare mai intensă a pământului din carotieră, datorită în special manifestării "efectului de pilot". Acest lucru este ilustrat și de diagramele prezentate în figura 4.1. corespundente a trei procedee de recoltare a probelor: monoliți recoltați manual din sondaje deschise, ștuțuri recoltate din foraje prin batere și carote recoltate cu carotiere introduse în teren prin vibropercuții.

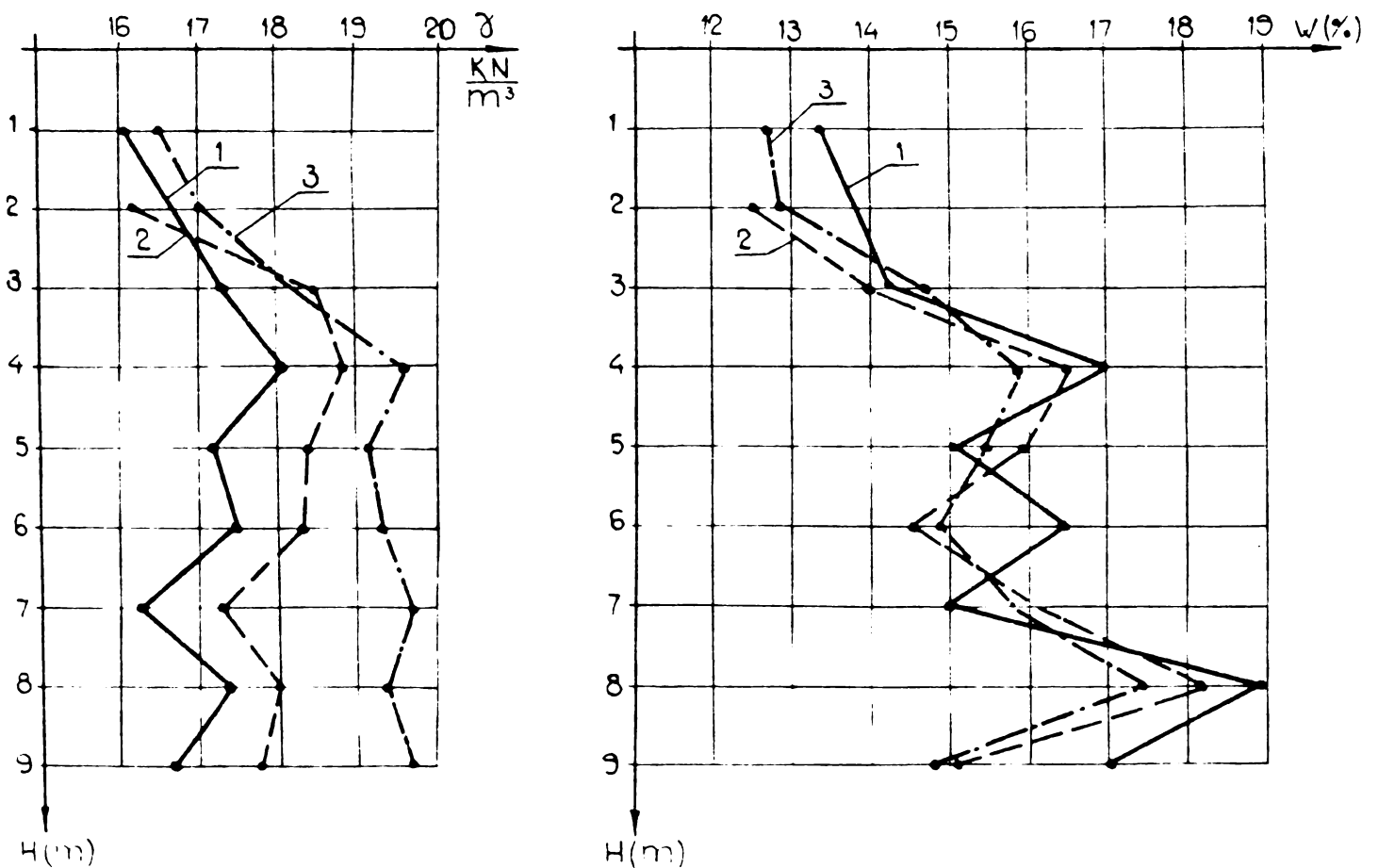


Fig.4.1. Variația pe adâncime a greutateii volumice (γ) și a umidității (w) pentru diverse procedee de recoltare a probelor 1 - monoliți recoltați din sondaje deschise; 2-ștuțuri recoltate din foraje prin batere; 3-carote recoltate prin vibropercuții

Se observă că diagramele de variație pe adâncime ale umidității diferă puțin între ele, ceea ce denotă că umiditatea este o caracteristică, asupra căreia influența procedeeului de recoltare a probelor netulburate este redusă, neprezentînd importanță din punct de vedere practic. În schimb asupra greutateii volumice, influența procedeeului de recoltare este evidentă în acest caz, fapt arătat și de diferențierea destul de pronunțată a celor trei diagrame de variație, corespunzătoare procedeelor de recoltare folosite.

Tendința de deplasare înspre dreapta, adică în sensul valorilor mai mari a greutateii volumice, în special a diagramei 3 (cea corespunzătoare procedeeului de recoltare prin vibropercuții), indică

tocmai deranjarea suplimentară a structurii probei prin compactarea intervenită în procesul de recoltare prin vibropercuții, comparativ cu situația corespunzătoare recoltării manuale sub formă de monoliți (diagrama 1).

Aceste aspecte referitoare la deranjarea structurii probelor recoltate prin vibroforare, respectiv dependența calitativă și cantitativă a acesteia, atât de parametrii vibroforării cât și de natura și proprietățile pământului, au impus diversificarea cercetărilor, în sensul stabilirii unor criterii și limite de aplicabilitate a metodei vibroforării la executarea forajelor geotehnice cu recoltări de probe netulburate.

Astfel în urma unui volum relativ mare de cercetări experimentale și prelucrări sistematice a rezultatelor, datorate în mare parte lui B.M.Rebric și colaboratorilor săi, s-a stabilit că în cazul pământurilor alcătuite din argile, deranjarea structurii naturale a probelor recoltate prin vibroforare începe să devină semnificativă și neadmisibilă din punct de vedere practic, numai pentru valori ale indicelui porilor $e > 0,9$. Această concluzie rezultă clar din fig.4.2, unde este reprezentată corelația dintre gradul de compactare relativă a probelor recoltate prin vibroforare și valoarea indicelui porilor, acesta din urmă fiind determinată pe probe recoltate manual sub formă de monoliți din sonde deschise. Prin gradul de compactare relativă (k_v) se înțelege raportul dintre greutatea volumică determinată pe probe recoltate prin vibroforare și cea determinată pe probe recoltate manual din sonde deschise.

Analizînd graficul prezentat se observă că pentru valori mici ale indicelui porilor, gradul de compactare relativă este redus, respectiv curba sa de variație (curba de regresie notată cu 1) se situează în domeniul delimitat de abaterile standard (curbele 2) a valorilor greutății volumice, determinate pe probe recoltate manual din sonde deschise. La valori ale indicelui porilor $e \approx 0,9$ curba de regresie (1) părăsește acest domeniu, iar pentru $e > 1$, diferențele devin substanțiale.

Din punct de vedere a umidității naturale s-a constatat că, la pământurile argiloase pentru valori $w = 12\div 18\%$ (adică în general apropiate de umiditatea optimă de compactare), compactarea probelor care intervine în procesul de recoltare este mai accentuată, față de alte mărimi ale umidității.

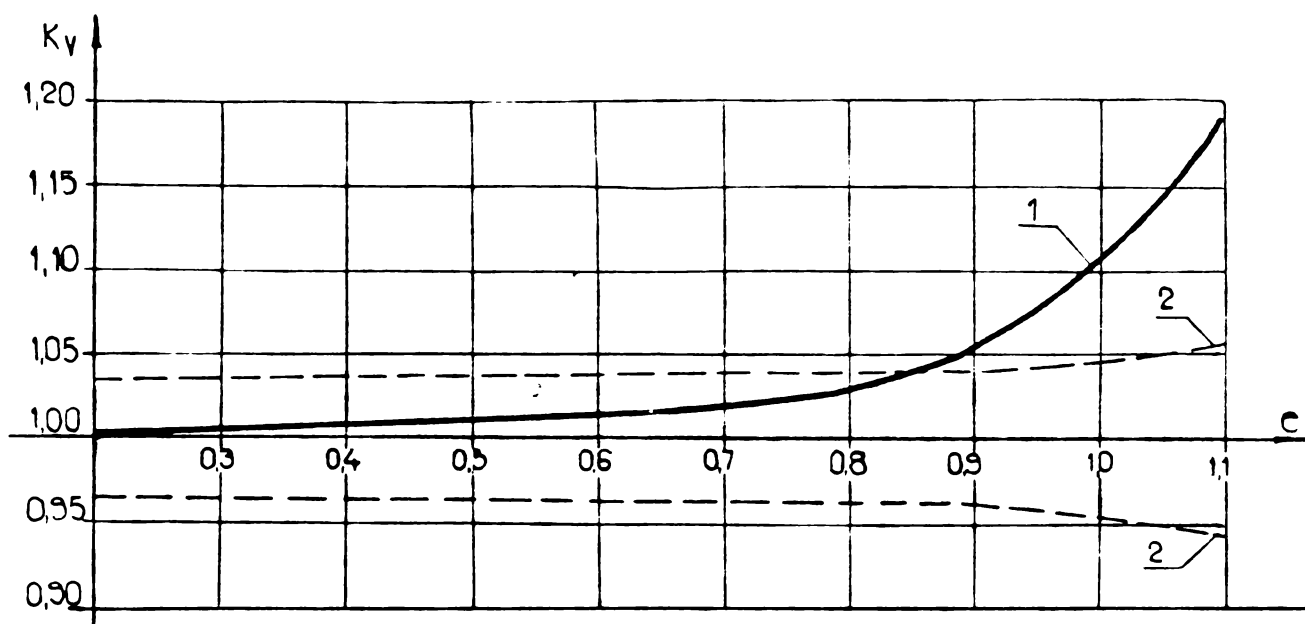


Fig.4.2. Variația gradului de compactare relativă a probelor recoltate prin vibroforare în funcție de indicele porilor

4.4. Studii și cercetări experimentale privind influența vibrațiilor și vibropercuțiilor asupra modificării caracteristicilor geotehnice ale probelor recoltate prin vibroforare

4.4.1. Scopul și obiectul cercetărilor

În mare parte rezultatele studiilor și cercetărilor, menționate în literatura de specialitate și concretizate în unele concluzii, privind influența vibrațiilor și vibropercuțiilor asupra modificării caracteristicilor geotehnice a probelor netulburate recoltate prin metoda vibroforării, se referă la pământuri argiloase cu coeziune și plasticitate relativ mare.

Problema posibilității recoltării prin vibroforare a probelor cu structură netulburată din pământuri argiloase, cu coeziune și plasticitate mai reduse (argile prăfoase sau prafuri argiloase, argile nisipoase sau nisipuri argiloase), a fost doar sporadic cercetată și mai puțin tratată în literatura de specialitate, mai ales în perioada de început a studiilor și cercetărilor legate de metoda vibroforării. Unele rezultate obținute pe parcurs, au fost insuficiente, pentru conturarea unor concluzii mai clare, privind în primul rând posibilitatea aplicării metodei vibroforării la recoltarea probelor netulburate și în cazul acestei categorii de pământuri, iar în al doilea rând, limitele în care trebuie să se încadreze parametrii vibromecanismelor utilizate, astfel încât deranjarea structurii probelor să nu fie semnificativă din punct de vedere practic.

Aspectul subliniat mai sus a constituit un prim motiv, pentru care cercetările proprii ale autorului, atât cu caracter experimental cât și de producție, privind influența vibrațiilor și vibropercuțiilor asupra modificării caracteristicilor geotehnice ale probelor recoltate prin vibroforare, au fost axate în mai mare măsură pe cazul pământurilor cu plasticitate și coeziune mai reduse, pentru care s-a ales denumirea convențională de "pământuri semicoezive" sau pământuri slab coezive".

Un al doilea argument care a stat la baza definirii scopului și obiectului cercetărilor proprii în această direcție, l-a constituit necesitatea stabilirii unei astfel de game de variație a parametrilor de lucru pentru vibroforeza UKB-2-100 (instalație care a fost descrisă în detaliu în cap.III), încât aceasta să poată fi folosită în bune condițiuni la recoltarea probelor netulburate și din pământuri semicoezive. Frecvența relativ mare, cu care apar în practică stratificații alcătuite din astfel de pământuri, în special pe unele emplasamente situate în municipiul Timișoara și județul Timiș, unde începând cu anul 1968, metoda vibroforării a fost folosită în mod curent de către catedra de Drumuri și fundații, pentru efectuarea studiilor geotehnice, a impus de la început efectuarea unor cercetări sistematice pentru stabilirea unor concluzii cu utilitate practică, privind corelarea parametrilor vibroforării cu proprietățile pământurilor semicoezive.

Aspectele principale urmărite în cadrul acestor cercetări au constat în următoarele:

- influența turației excentricilor vibromecanismului (vibropercutor sau vibrator) asupra modificării caracteristicilor geotehnice ale probelor recoltate prin vibroforare din pământuri semicoezive;

- manifestarea efectului de pilot și gradul de deranjare a structurii naturale a pământului provocate de acesta;

- determinarea cantitativă a diferențelor între valorile principalelor caracteristici fizice și mecanice determinate pe probe recoltate prin vibroforare și manual din sondaje deschise.

4.4.2. Metodica de efectuare a cercetărilor experimentale

În principiu metodica de efectuare a cercetărilor experimentale proprii privind influența vibrațiilor și vibropercuțiilor asupra modificării caracteristicilor geotehnice a probelor cu structură netulburată, recoltate prin vibroforare din pământuri semicoezive, este asemănătoare cu cea aplicată și de către alți cercetători care a fost menționată în mod succint în paragraful 4.3.

În mod concret pentru realizarea scopului propus prin aceste cercetări, s-au organizat două amplasamente experimentale, denumite în mod convențional "Timișoara II", care a avut numai caracter experimental și "Timișoara III", care a avut și caracter de producție. Pe aceste amplasamente experimentale s-au executat în paralel recoltări de probe prin procedeul manual (cu stanțe de laborator, ștuturi, sau sub formă de monoliți din sondaje deschise) și prin procedeul vibroforării (vibrații sau vibropercuții). Caracteristicile fizice și mecanice determinate prin încercări de laborator, efectuate după metodologiile indicate de normele și standardele în vigoare, pe cele două categorii de probe, au fost comparate între ele, cele corespunzătoare probelor recoltate manual fiind considerate drept mărimi etalon.

a. Amplasamentul experimental "Timișoara II"

Pentru executarea forajelor, respectiv recoltarea probelor netulburate prin vibroforare, pe acest câmp experimental s-a folosit o vibroinstalație provizorie (fig.4.3) compusă din următoarele părți principale:

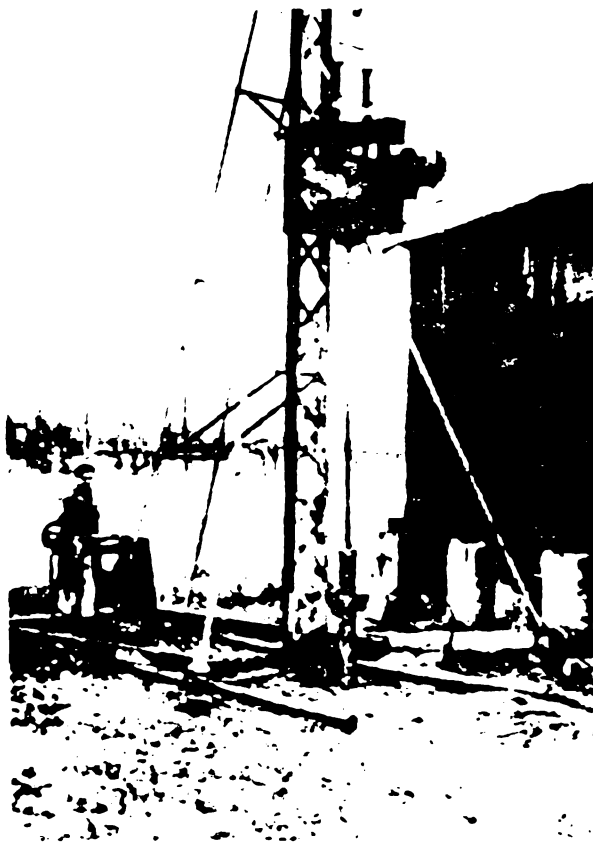


Fig.4.3. Imaginea vibroinstalației folosite

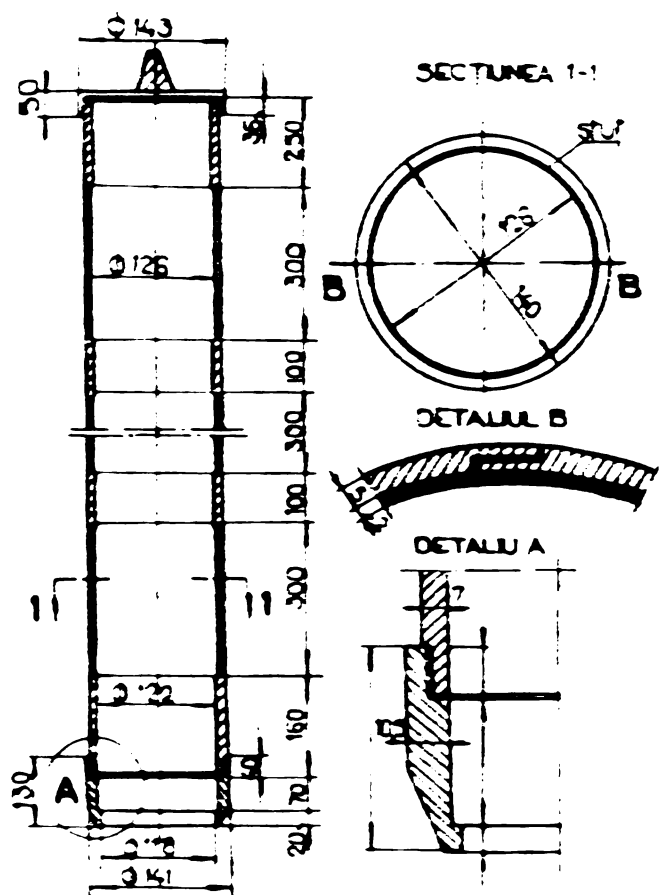
- vibromecanismul de producere a vibrațiilor sau vibropercuțiilor;
- dispozitiv (carotieră) de forare și de recoltare a probelor;
- prăjină de foraj, alcătuită din tronsoane de tije metalice îmbinate prin înfiletare;
- luminare de ghidaj și troliu mecanic pentru manevrarea vibromecanismului.

Ca vibromecanism s-a folosit vibratorul VE1 [68] al Facultății de Construcții din Timișoara, care pentru experimentări a fost adaptat la posibilitatea de a lucra și ca vibropercutor. Parametrii principali ai vibromecanismului folosit sînt:

- momentul maselor excentrice în rotație 300 daNcm;
- turația maselor excentrice în rotație 640 ÷ 970 rot/min;
- puterea electromotorului de antrenare 8 kW.

Dispozitivul de forare, respectiv de recoltare a probelor prin vibroforare a constat dintr-o carotieră demontabilă după generatoare - concepută de autor - ale cărei dimensiuni și alcătuire constructivă se pot urmări în fig.4.4. Carotiera este prevăzută în interior cu

trei ștuțuri (de fapt niște tuburi metalice cu pereți subțiri), care servesc la recoltarea probelor și mai ales la păstrarea acestora pînă la efectuarea determinărilor de laborator. Pentru extragerea probelor din carotieră, aceasta se demonteză după generatoare, separînd apoi cele trei ștuțuri cu pămîntul din interiorul lor.



Stratificația terenului în zona amplasamentului experimental ales (fig.4.5), este alcătuită pînă la adîncimea de cca 5,00 m dintr-o succesiune de straturi argilo-prăfoase și argilos-nisipoase (fig.4.6), adică pămînturi care se pot încadra în categoria de "pămînturi semicoezive" sau "pămînturi slab coezive", conform denumirii adoptate în mod

Fig.4.4. Carotieră demontabilă după generatoare prevăzută cu ștuțuri interioare

convențional. După cum se poate observa și din profilul litologic, prezentat în fig.4.5, pe acest amplasament experimental s-au executat șapte foraje cu adîncimea de 3,20 m, din care șase (F_1 și F_6) prin vibropercuții și unul prin vibrație pură (F_7). Recoltarea probelor metalburate s-a făcut de la patru niveluri (-1,20; -2,00; -2,40 și -2,80 m). La executarea celor șase foraje prin vibropercuții s-au folosit trei valori pentru turația maselor excentrice ale vibropercutorului: 640 rot/min (F_1 și F_2), 760 rot/min (F_3 și F_4) și 970 rot/min (F_5 și F_6). La executarea prin vibrație a forajului F_7 , turația maselor excentrice ale vibratorului a fost tot de 970 rot/min. Pentru momentul maselor excentrice s-a păstrat în toate cazurile o valoare constantă egală cu 300 daNcm.

Tehnologia de lucru utilizată la vibroforare și recoltarea probelor a cuprins următoarele operații:

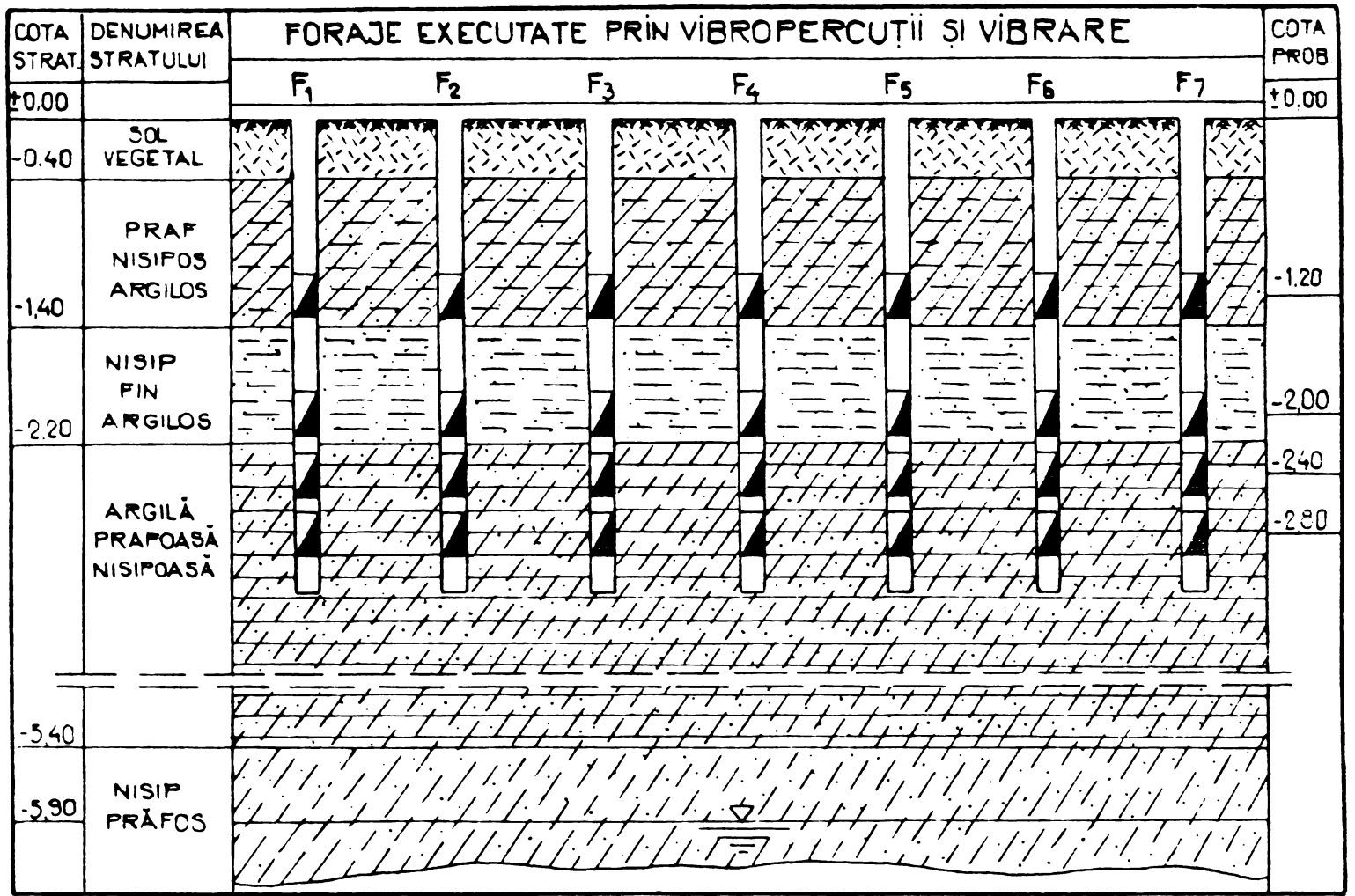


Fig.4.5. Profil litologic (amplasament experimental "Timișoara II")

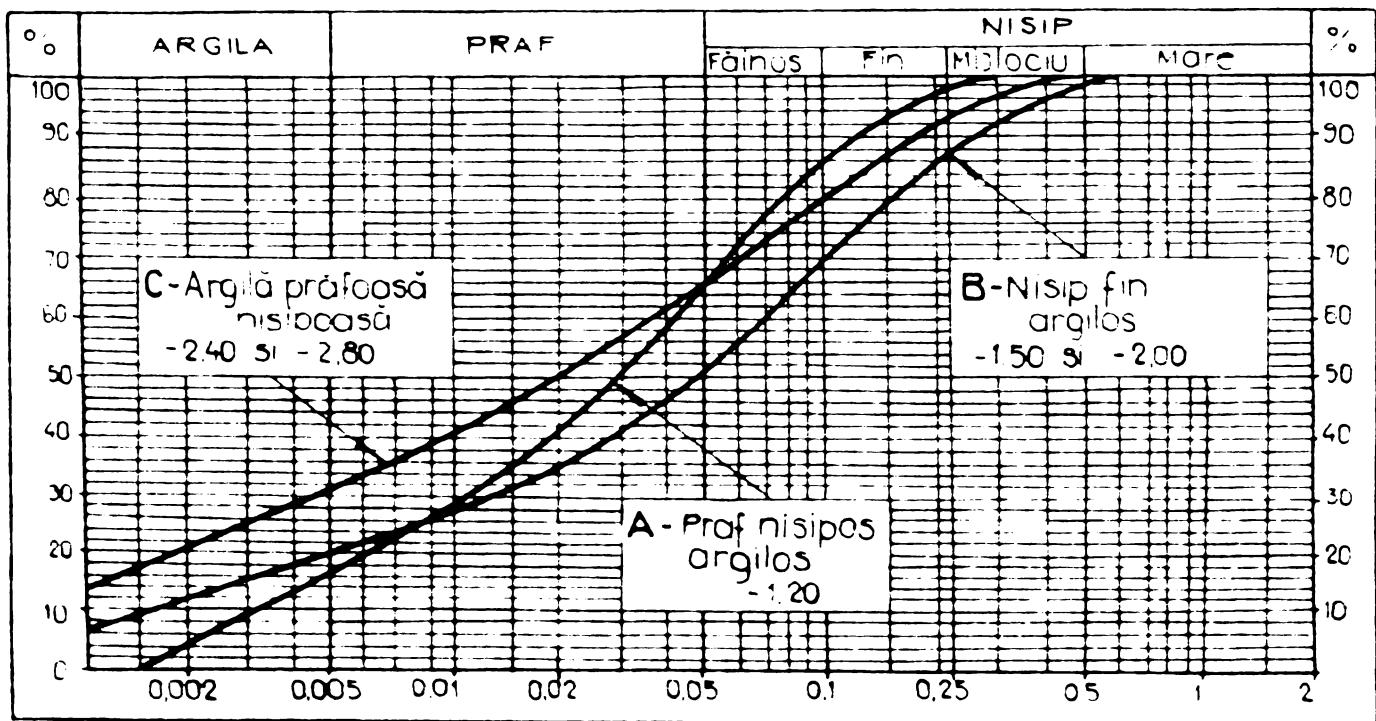


Fig.4.6. Curbele granulometrice ale pământurilor din care este alcătuită stratificația terenului (amplasament experimental "Timișoara II")

- înfigerea carotierei în teren pe toată lungimea sa (1,60 m), prin vibropercuții sau prin vibrație pură;
- extragerea carotierei la suprafață, demontarea ei după generatoare și reținerea pentru laborator numai a probei din ștuțul de la partea inferioară a carotierei (cota -1,20);
- înfigerea carotierei în cursa a doua (de la -1,60 la -3,20 m);
- extragerea carotierei la suprafață și demontarea ei după generatoare, reținând de astă dată toate cele trei ștuțuri cu probe netulburate (de la cotele -2,00, -2,40 și -2,80 m).

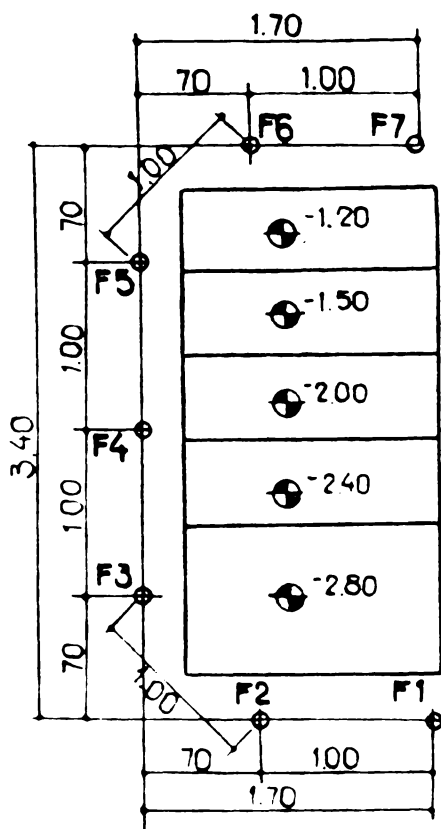
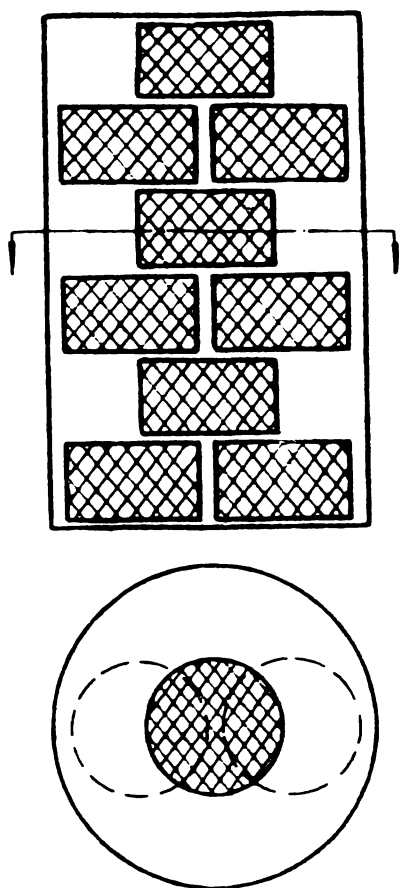


Fig.4.7, Planul de situație de dispunere a forajelor experimentale

Dispunerea în plan a forajelor executate s-a făcut conform planului de situație prezentat în Fig.4.7. Se observă că cele șapte foraje, dispuse la 1,0 m distanță între ele, încadrează pe trei laturi sondajul deschis, executat anterior forajelor, sub formă de șanț în trepte, care a servit la recoltarea probelor cu structură netulburată prin procedeul manual. Recoltarea probelor netulburate din sondajul deschis s-a făcut direct în ștanțe de laborator, de la nivelul fiecărei trepte recoltându-se un număr minim de 15 probe netulburate (15 ștanțe), precum și probe tulburate folosite pentru efectuarea unor determinări de laborator în scopul caracterizării și definirii pământurilor respective (granulometrie, limite de plasticitate, etc).

Pentru efectuarea încercărilor de laborator pe probele netulburate recoltate prin vibroforare, din fiecare ștuț s-au extras câte nouă probe în ștanțe de laborator. Modul de dispunere a ștanțelor la scoaterea pământului din ștuțuri se poate urmări în fig. 4.8, recoltându-se pe înălțimea ștuțului câte trei probe din zona centrală a secțiunii sale și șase din zona marginală. Această dispunere a ștanțelor a fost adoptată cu scopul de a lua în considerare la determinarea caracteristicilor geotehnice atât eventualele neomogenități a structurii pământului, pe înălțimea și secțiunea ștuțului, cât și posibila deranjare mai pronunțată a structurii probei în zona apropiată de peretele carotierei, datorită influenței vibropercuțiilor sau vibrațiilor folosite la vibroforare (recoltare).

La executarea celor șapte foraje experimentale a fost determinată și variația vitezei de vibroforare pe adâncime, făcându-se cronometrări a timpului necesar înaintării efective în teren a carotierei, pe intervale de 10 cm. Acest lucru s-a efectuat cu scopul de a observa dacă în procesul de vibroforare se manifestă "efectul de pilot", respectiv de a corela acest fenomen cu diferențele cantitative între valorile caracteristicilor geotehnice, determinate pe cele două categorii de probe netulburate.



b. Amplasamentul experimental și de producție "Timișcara III".

Pe acest amplasament experimental, după cum s-a menționat și în capitolul III, au fost efectuate lucrări de cercetare a terenului de fundare pentru un obiectiv industrial, lucrări care au inclus și un număr de 17 foraje geotehnice executate prin metoda vibroforării. Cu această ocazie au fost făcute și unele observații și constatări, legate atât de tehnologia vibroforării, cât și de dependența vitezei de execuție a vibroforajelor de anumiți parametri ai vibroforezei folosite (vibroforeza UKB 2-100).

Importanța majoră a obiectivului în cauză, precum și faptul că vibroforeza UKB 2-100, cu care s-au executat forajele, se găsea în perioada de început a folosirii sale la astfel de lucrări, a impus efectuarea în prealabil a unei noi serii de încercări experimentale, referitoare la influența vibropercuțiilor asupra modificării caracteristicilor geotehnice ale probelor netulburate, recoltate prin vibroforare din pământuri semicezive. Prin aceste încercări experimentale s-a urmărit în primul rând, să se constate în ce măsură parametrii vibromecanismului (vibropercutorului), cu care a fost echipată vibroforeza UKB 2-100, corespund și din punct de vedere al recoltării prin vibroforare, a probelor cu structură naturală netulburată din pământuri argilos-nisipoase.

Metodologia de execuția a încercărilor și pe acest amplasament experimental, a fost în general aceeași cu cea folosită la încercările prezentate anterior, care de altfel au stat la baza stabilirii parametrilor vibromecanismului de pe vibroforeză. Dat

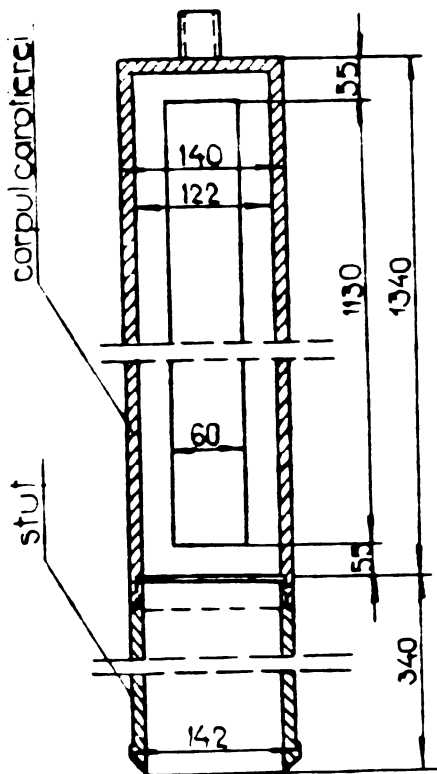
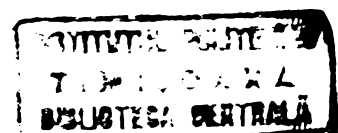


Fig.4.9. . Carotieră cu ștuț frontal

fiind faptul că stratul de argilă nisipoasă, din care se impunea recoltarea de probe netulburate, era prezent în stratificația terenului începând de la suprafață și pînă la adîncimea de 2,80-3,0 m, a fost executat un sondej deschis pînă la această adîncime. Recoltarea manuală a probelor netulburate s-a făcut de astă dată extrăgînd prin săpare monoliți de formă cubică cu letura de 20 cm. Pentru recoltarea probelor netulburate prin vibroforare, s-a folosit carotiera prezentată în fig.4.9. După cum se poate observa corpul carotierei este prevăzut cu fante longitudinale, iar la partea inferioară cuțitul este înlocuit cu un ștuț, montat prin înfiletare cu ajutorul unui filet trapezoidal.

În cazul carotierei cu ștuțuri interioare (fig.4.5), folosită la încercările experimentale anterioare, s-a constatat că timpul necesar pentru demontarea și remontarea ei cu alte ștuțuri, este mult prea mare. Acest neajuns a condus la conceperea carotierei cu ștuț frontal (fig.4.9), la care desfiletarea ștuțului cu proba din el și montarea altuia gol la corpul carotierei, se face mult mai ușor și în timp mai scurt decît în cazul carotierei cu ștuțuri montate în interior. Un alt avantaj pe care-l prezintă alcătuirea constructivă a carotierei a doua, în comparație cu prima, îl constituie prezența fantelor în peretele acesteia, care contribuie atît la mărirea vitezei de vibroforare cît și la preîntîmpinarea în mai mare măsură a manifestării "efectului de pilot". De asemenea prin faptul că ștuțul este plasat la partea inferioară a corpului carotierei, adîncirea acesteia în teren pentru recoltarea unei probe de la un anumit nivel de adîncime, este redusă (egală cu lungimea ștuțului) și în consecință timpul de acțiune a vibropercuțiilor asupra probei recoltate, este mai redus.



4.4.3. Prelucrarea rezultatelor

Rezultatele determinărilor de laborator, respectiv domeniile de variație a principalelor caracteristici fizice și mecanice, corespunzătoare atât probelor netulburate recoltate manual din sondele deschise, cu ajutorul ștanțelor sau sub formă de monoliți, cât și celor recoltate prin vibropercuții sau vibrații din foraje, sînt prezentate centralizat în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2.

Valorile principalelor caracteristici geotehnice ale tipurilor de pămînturi analizate

Denumirea pămîntului	Mod de rec.	Caracteristici geotehnice					
		γ [$\frac{KN}{m^3}$]	w [%]	n [%]	ϕ [°]	c [$\frac{daN}{cm^2}$]	M [$\frac{daN}{cm^2}$]
Praf nisipos argilos (tip A)	Man.	18,6- 19,9	16,5- 18,4	36,9- 38,7	18,5- 21,4	0,12- 0,27	-
	Vibrop.	18,3- 19,8	16,3- 18,4	37,0- 38,9	19,3- 22,0	0,11- 0,29	-
	Vibr.	18,9- 19,9	16,6- 18,6	37,3- 38,8	-	-	-
Nisip fin argilos (Tip B)	Man.	18,6- 20,2	16,8- 20,5	36,7- 38,8	19,7- 24,0	0,07- 0,21	-
	Vibrop.	19,1- 20,3	18,6- 20,8	36,6- 38,6	19,8 22,9	0,05- 0,21	-
	Vibr.	19,7- 21,0	18,9- 20,5	35,8- 37,5	-	-	-
Argilă prăfoasă nisipoasă (tip C)	Man.	19,3- 20,5	21,8- 24,0	37,5- 39,6	16,0- 19,3	0,16- 0,36	-
	Vibrop.	19,1- 20,9	21,1- 24,3	36,4 39,2	16,0- 19,1	0,13- 0,39	-
	Vibr.	19,9- 21,0	22,0- 23,7	36,8- 38,4	-	-	-
Argilă nisipoasă (Tip D)	Man.	18,6- 19,9	22,6- 26,4	41,4- 43,7	17,4- 21,5	0,20- 0,65	56-91
	Vibrop.	18,5- 20,2	22,7- 26,6	40,7- 43,3	17,2- 21,4	0,21- 0,71	65-96

Pentru caracterizarea completă a naturii pămînturilor cercetate, înafara caracteristicilor geotehnice nominalizate în tabelul 4.2, au fost determinate prin încercări de laborator sau prin calcul și altele, cum ar fi: densitatea respectiv greutatea volumică a scheletului (γ_s), limitele de plasticitate (w_L și w_p), indicii de plasticitate și de consistență (I_p și I_c). Cum aceste caracteristici se determină prin încercări de laborator efectuate pe probe cu structură tulburată, este evident că valoarea lor nu este influențată

de procedeul de recoltare a probelor și în consecință importanța lor pentru scopul și obiectul cercetărilor de față, este relativ mai redusă.

Pentru aprecierea gradului de deranjare a structurii probelor recoltate prin vibroforare, în comparație cu cel corespunzător probelor recoltate manual, prelucrarea rezultatelor încercărilor s-a făcut în mod statistic. La alegerea acestui mod de prelucrare a rezultatelor, s-a avut în vedere că pământurile în general sînt materiale eterogene, iar proprietățile lor fizice și mecanice au caracter statistic.

Natura și starea unui pămînt într-un moment de timp determinat, sînt reflectate integral prin valorile cantitative a caracteristicilor sale fizice și mecanice. Dacă la o acțiune oarecare asupra pămîntului respectiv, în cazul de față acțiunea vibropercuțiilor sau vibrațiilor, aceste caracteristici rămîn neschimbate, se poate afirma că deranjarea structurii pămîntului nu se produce. În consecință se poate spune că nemodificarea tuturor caracteristicilor, atît a celor fizice cît și a celor mecanice, reprezintă condiția necesară și suficientă a nederanjării structurii pămîntului sub acțiunea diverselor cauze. Invariabilitatea numai a unora dintre caracteristicile fizice, reprezintă o condiție necesară a nederanjării, dar care nu este și suficientă. De aceea în studiile și cercetările comparative privind influența vibropercuțiilor și vibrațiilor asupra modificării caracteristicilor geotehnice a probelor recoltate prin vibroforare, se impune analizarea atît a caracteristicilor fizice cît și a celor mecanice.

Dat fiind faptul că valoarea principalelor caracteristici fizice se poate determina relativ ușor și în același timp în mod operativ, mai ales prin încercări "în situ", este indicat totuși ca cercetările și studiile comparative în această direcție, să înceapă cu caracteristicile fizice. În funcție de rezultatele obținute, respectiv dacă se constată invariabilitatea caracteristicilor fizice (sau modificări neesențiale ale acestora), se va continua cu analiza comparativă și a caracteristicilor mecanice. Dacă se observă modificări esențiale ale caracteristicilor fizice, continuarea cercetărilor și experimentărilor are sens, numai în cazul cînd se dorește să se determine mărimea numerică a modificărilor, care intervin în valorile caracteristicilor mecanice. Un alt argument pe care se bazează recomandarea potrivit căreia este necesar să se analizeze comparativ mai întîi caracteristicile fizice și apoi cele mecanice, îl constituie și faptul că domeniul de varia-

bilitate naturală a caracteristicilor fizice este mai redus decât a celor mecanice.

Din complexul general de caracteristici fizice, în calitate de criteriu pentru aprecierea influenței acțiunii vibropercuțiilor sau vibrațiilor, asupra deranjării structurii probelor recoltate prin vibroforare, este necesar a fi considerate acelea, care cantitativ depind nemijlocit de modul de recoltare. În această categorie se încadrează în primul rând greutatea volumică a pământului (δ) și într-o oarecare măsură și umiditatea naturală (w). Alături de aceste două caracteristici, se pot analiza comparativ și altele, cum ar fi: porozitatea (n) sau indicele porilor (e), indicele de consistență (I_c), caracteristici care sînt dependente de primele. Cum însă valoarea acestora se calculează cu ajutorul unor relații de legătură între caracteristici, există posibilitatea ca peste erorile care intervin la determinarea efectivă prin încercări a caracteristicilor de bază, să se suprapună și cele de calcul, fapt care evident că reprezintă un dezavantaj.

Din rîndul caracteristicilor mecanice, se impun a fi analizate comparativ, în special parametrii rezistenței la forfecare (adică unghiul frecării interioare și coeziunea specifică), asupra cărora acțiunile dinamice sub formă de vibropercuții sau vibrații pot influența în mod negativ.

Considerațiile expuse mai sus au stat la baza prelucrării statistice a rezultatelor obținute în urma încercărilor efectuate pe cele două amplasamente experimentale, descrise în paragraful anterior. Astfel în ambele cazuri au fost comparate mai întîi caracteristicile fizice δ și w , la care s-a adăugat pentru control și porozitatea (n), iar după aceea cele mecanice (ϕ și c , respectiv M). Se mai poate menționa că alegerea valorilor pentru prelucrarea statistică și analize comparative, s-a făcut astfel ca acestea să corespundă unor perechi de probe alcătuite din același pământ. În acest sens s-au comparat numai valorile provenite de la perechi de probe, a căror limită superioară de plasticitate (w_L) n-au diferit cu mai mult de 4-5 % (adică dublul erorii admise de standardele în vigoare, la determinarea limitelor de plasticitate a pământurilor argilos-nisipoase). Acceptarea acestui nivel de diferențiere, s-a bazat pe faptul că, la determinarea în laborator a limitei superioare de plasticitate pe două serii de probe, a căror caracteristici fizice și mecanice urmează să se compare, erorile pot fi de semn contrar și în consecință valoarea absolută a sumelor poate fi dublă.

În ceea ce privește modul de distribuție a mărimilor caracteristicilor geotehnice ale pământului, rezultatele unor cercetări [42] au condus la concluzia că, în limitele unui strat facial uniform, acestea sînt răspîndite după o lege normală. Pornind de la acceptarea acestei concluzii, compararea valorilor medii a caracteristicilor geotehnice determinate pe probe recoltate prin vibropercuții sau vibrații, cu cele determinate pe probe recoltate manual (considerate ca mărimi etalon), s-a făcut prin folosirea funcției de repartiție a lui Student [103]. Aplicarea criteriului Student la compararea valorilor medii a două caracteristici, pentru cazul cînd se acceptă ipoteza că erorile de determinare prin încercări a ambelor mărimi sînt aceleași, constă în calcularea coeficientului t_0 , cu următoarea relație:

$$t_0 = \frac{|\bar{X}_v - \bar{X}_m|}{\sqrt{n_2 s_v^2 + n_1 s_m^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 k}{n_1 + n_2}} \quad (4.1)$$

- unde: \bar{X}_m și \bar{X}_v - mediile aritmetice a valorilor caracteristicilor geotehnice determinate pe cele două categorii de probe (recoltate manual și prin vibroforare);
 s_m și s_v - abaterile medii pătratice a valorilor caracteristicilor geotehnice corespunzătoare celor două categorii de probe;
 n_1 și n_2 - numărul valorilor caracteristicilor geotehnice corespunzătoare celor două categorii de probe, alese pentru calculul statistic comparativ;
 $k = n_1 + n_2 - 2$ - numărul gradelor de libertate.

Mărimea t_0 , rezultată prin calcul cu relația de mai sus, se compară cu valoarea $t(\mathcal{P}, k)$, extrasă din tabelele întocmite pe baza funcției de repartiție Student [103], prin \mathcal{P} înțelegîndu-se nivelul de încredere considerat. Dacă $t_0 < t(\mathcal{P}, k)$, înseamnă că diferența dintre cele două mărimi comparate este nesemnificativă din punct de vedere practic, ea putînd fi considerată ca o abatere întîmplătoare, fără a fi provocată de o anumită cauză bine determinată (în cazul de față influența vibropercuțiilor sau vibrațiilor).

În tabelele 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 și 4.7 sînt prezentate valorile principalilor indicatori ai calculului statistic comparativ, efectuat pe baza rezultatelor obținute în cadrul încercărilor realizate pe cele două amplasamente experimentale.

Tabelul 4.3.

Compararea valorilor medii a caracteristicilor fizice δ , n , w .
Amplasament experimental "Timișoara II" - Forajele F₁ și F₂,
Vibropercuții - N=640 rot/min.

Caracteristica	Cota de recoltare	Mod de recoltare	Med. aritm \bar{X}_i	Intervalul de încredere	Abat. med. p. s_i	Coef. var. $V = \frac{s_i}{\bar{X}_i}$	Coef. calc. t_c	Rap. $\frac{t_c}{t}$	Obs.
δ [$\frac{KN}{m^3}$]	-1,20	Man.	19,19	18,98-19,40	0,366	0,019	1,661	0,81	
		Vibro	18,94	18,70-19,18	0,427	0,022			
	-2,00	Man.	19,57	19,35-19,79	0,384	0,019	1,132	0,55	
		Vibro	19,75	19,49-20,01	0,454	0,022			
	-2,40	Man.	19,90	19,68-20,12	0,387	0,019	0,374	0,18	
		Vibro	19,84	19,58-20,10	0,458	0,023			
	-2,80	Man.	19,97	19,73-20,21	0,415	0,020	0,430	0,21	
		Vibro	19,90	19,65-20,15	0,445	0,022			
n [%]	-1,20	Man.	37,80	37,50-38,10	0,525	0,013	1,068	0,52	
		Vibro	38,05	37,65-38,45	0,702	0,018			
	-2,00	Man.	37,88	37,57-38,19	0,543	0,014	1,321	0,65	
		Vibro	37,60	37,27-37,93	0,580	0,015			
	-2,40	Man.	38,42	38,07-38,77	0,611	0,015	0,735	0,36	
		Vibro	38,59	38,24-39,94	0,614	0,015			
	-2,80	Man.	38,61	38,26-39,96	0,616	0,015	0,396	0,19	
		Vibro	38,70	38,37-39,03	0,585	0,015			
w [%]	-1,20	Man.	17,42	17,08-17,76	0,592	0,033	0,100	0,05	
		Vibro	17,40	17,06-17,74	0,587	0,033			
	-2,00	Man.	19,58	19,23-19,93	0,615	0,031	0,978	0,48	
		Vibro	19,80	19,47-20,13	0,574	0,028			
	-2,40	Man.	22,50	22,20-22,80	0,522	0,023	1,118	0,55	
		Vibro	22,25	21,88-22,62	0,653	0,029			
	-2,80	Man.	23,22	22,89-23,55	0,584	0,025	1,260	0,61	
		Vibro	22,92	22,54-23,30	0,671	0,029			

Tabelul 4.4.

Compararea valorilor medii a caracteristicilor fizice γ , n , w și a caracteristicilor mecanice ϕ și c . Amplasament experimental "Timișoara II"- Forajele F_3 și F_4 . Vibropercuție, $N=760$ rot/min.

Caracteristica	Cota de recoltare	Mod de recoltare	Med. aritm \bar{X}_1	Intervalul de încredere	Abet. m.p. s_1	Coef. var. $V_1 = \frac{S_1}{\bar{X}_1}$	Coef. calc. t_c	Rap. $\frac{t_0}{t}$	Obs.
o	1	2	3	4	5	6	7	8	9
γ [$\frac{KN}{m^3}$]	-1,20	Man.	19,19	19,98-19,40	0,366	0,019	0,595	0,28	$n_1=15$ $n_2=15$ $k=28$ $P=0,95$ $t=2,049$
		Vibrop.	19,10	18,85-19,35	0,434	0,022			
	-2,00	Man.	19,57	19,35-19,79	0,384	0,019	1,440	0,70	
		Vibrop.	19,80	19,56-20,04	0,418	0,021			
	-2,40	Man.	19,90	19,68-20,12	0,387	0,019	0,320	0,16	
		Vibrop.	19,95	19,70-20,20	0,435	0,021			
	-2,80	Man.	19,97	19,73-20,21	0,415	0,020	1,499	0,73	
		Vibrop.	20,21	19,96-20,46	0,432	0,021			
n [%]	-1,20	Man.	37,80	37,50-38,10	0,525	0,013	1,011	0,49	
		Vibrop.	37,95	37,60-38,38	0,611	0,016			
	-2,00	Man.	37,88	37,57-38,19	0,543	0,014	0,569	0,28	
		Vibrop.	37,76	37,43-38,09	0,571	0,015			
	-2,40	Man.	38,42	38,07-38,77	0,611	0,015	0,317	0,15	
		Vibrop.	38,35	38,03-38,67	0,555	0,014			
	-2,80	Man.	38,61	38,26-38,96	0,616	0,015	1,716	0,84	
		Vibrop.	38,24	37,92-38,56	0,554	0,014			
w [%]	-1,20	Man.	17,42	17,08-17,76	0,592	0,033	0,897	0,44	
		Vibrop.	17,62	17,28-17,96	0,593	0,033			
	-2,00	Man.	19,58	19,23-19,93	0,615	0,031	0,837	0,41	
		Vibrop.	19,41	19,15-19,67	0,444	0,022			
	-2,40	Man.	22,50	22,20-22,80	0,522	0,023	1,337	0,65	
		Vibrop.	22,20	21,83-22,57	0,657	0,029			
	-2,80	Man.	23,22	22,89-23,55	0,584	0,025	0,975	0,48	
		Vibrop.	23,00	22,65-23,35	0,610	0,026			
ϕ [o]	-1,20	Man.	20,00	19,20-20,80	1,050	0,052	1,110	0,54	
		Vibrop.	20,55	19,75-21,35	0,916	0,047			
	-2,00	Man.	22,25	21,45-23,05	1,173	0,053	1,552	0,73	
		Vibrop.	21,40	20,50-22,30	1,063	0,050			
	-2,40	Man.	18,05	17,30-18,80	1,019	0,056	1,073	0,51	
		Vibrop.	17,50	16,60-18,40	1,018	0,058			
	-2,80	Man.	18,15	17,30-19,00	1,108	0,061	0,794	0,37	
		Vibrop.	17,75	16,90-18,60	0,979	0,055			

continuarea tabelului 4.4.

o	1	2	3	4	5	6	7	8	9
c [$\frac{daN}{cm^2}$]	-1,20	Man.	0,19	0,15-0,23	0,054	0,284	1,119	0,53	$n_1=10$ $n_2=8$ $k=16$ $P=0,95$ $t=2,120$
		Vibrop.	0,22	0,17-0,27	0,053	0,241			
	-2,00	Man.	0,14	0,10-0,18	0,043	0,301	1,345	0,64	
		Vibrop.	0,11	0,07-0,15	0,047	0,427			
	-2,40	Man.	0,25	0,20-0,30	0,065	0,263	1,396	0,66	
		Vibrop.	0,30	0,23-0,37	0,079	0,263			
	-2,80	Man.	0,27	0,23-0,31	0,057	0,211	1,200	0,57	
		Vibrop.	0,23	0,16-0,30	0,077	0,335			

Tabelul 4.5.

Compararea valorilor medii a caracteristicilor fizice δ, n, w .
Amplasament experimental "Timișoara II". Forajele F₅ și F₆. Vibro-
percuții, N=970 rot/minut

Caracteris- tica	Cota de recol- tare	Mod de recol- tare	Med. aritm. \bar{X}_i	Intervalul de încredere	Abat. m.p. S_i	Coef. var. $V_i = \frac{S_i}{\bar{X}_i}$	Coef. calc. t_c	Rap $\frac{t_c}{t}$	Observ.
o	1	2	3	4	5	6	7	8	9
δ [$\frac{KN}{m^3}$]	-1,20	Man.	19,19	18,98-19,40	0,366	0,019	0,906	0,44	$n_1=15$ $n_2=15$ $k=28$ $P=0,95$ $t=2,049$
		Vibrop.	19,05	18,80-19,30	0,447	0,023			
	-2,00	Man.	19,57	19,35-19,79	0,384	0,019	1,298	0,63	
		Vibrop.	19,76	19,54-19,98	0,391	0,019			
	-2,40	Man.	19,90	19,68-20,12	0,387	0,019	2,670	1,30	
		Vibrop.	20,31	20,06-20,54	0,422	0,020			
	-2,80	Man.	19,97	19,73-20,21	0,415	0,020	1,412	0,69	
		Vibrop.	19,74	19,48-20,00	0,448	0,022			
n [%]	-1,20	Man.	37,80	37,50-38,10	0,525	0,013	1,028	0,50	$n_1=15$ $n_2=15$ $k=28$ $P=0,95$ $t=2,049$
		Vibrop.	38,02	37,67-38,37	0,606	0,015			
	-2,00	Man.	37,88	37,57-38,19	0,543	0,014	1,142	0,56	
		Vibrop.	37,62	37,24-38,00	0,656	0,017			
	-2,40	Man.	38,42	38,07-38,77	0,611	0,015	3,643	1,78	
		Vibrop.	37,53	37,14-37,92	0,678	0,018			
	-2,80	Man.	38,61	38,26-38,96	0,616	0,015	1,164	0,57	
		Vibrop.	38,88	38,55-39,23	0,610	0,015			
w [%]	-1,20	Man.	17,42	17,08-17,76	0,592	0,033	0,580	0,28	$n_1=15$ $n_2=15$ $k=28$ $P=0,95$ $t=2,049$
		Vibrop.	17,28	16,89-17,67	0,679	0,039			
	-2,00	Man.	19,58	19,23-19,93	0,615	0,031	0,694	0,34	
		Vibrop.	19,74	19,39-20,09	0,604	0,030			
	-2,40	Man.	22,50	22,20-22,80	0,522	0,023	1,650	0,80	
		Vibrop.	22,13	21,76-22,50	0,655	0,029			
	-2,80	Man.	23,22	22,89-23,55	0,584	0,025	1,050	0,51	
		Vibrop.	23,47	23,09-23,85	0,672	0,028			

Tabelul 4.6.

Compararea valorilor medii a caracteristicilor fizice γ, n, w -
Amplasament experimental "Timișoara II"-Forajul F₇-Vibrare, N=970
rot/minut.

Carac- teris- tica	Cota de recol- tare	Mod de recol- tare	Med. aritm. \bar{X}_1	Intervalul de încredere	Abat. m.p. s_1	Coef. var. $V_i = \frac{S_i}{\bar{X}_i}$	Coef. calc. t_c	Rap. $\frac{t_c}{n_i}$	Observ.
o	1	2	3	4	5	6	7	8	9
γ [$\frac{KN}{m^3}$]	-1,20	Man.	19,19	18,98-19,40	0,366	0,019	1,026	0,49	$n_1=15$ $n_2=8$ $k=21$ $P=0,95$
		Vibr.	19,37	19,08-19,66	0,412	0,021			
	-2,00	Man.	19,57	19,35-19,79	0,384	0,019	4,467	2,15	$t=2,081$
		Vibr.	20,34	20,00-20,68	0,491	0,024			
	-2,80	Man.	19,97	19,73-20,21	0,415	0,020	3,048	1,46	$t=2,081$
		Vibr.	20,52	20,27-20,77	0,352	0,017			
n [%]	-1,20	Man.	37,80	37,50-38,10	0,525	0,013	1,143	0,55	$n_1=15$ $n_2=8$ $k=21$ $P=0,95$
		Vibr.	38,08	37,68-38,48	0,553	0,014			
	-2,00	Man.	37,88	37,57-38,19	0,543	0,014	4,640	2,23	$t=2,081$
		Vibr.	36,66	35,80-36,72	0,629	0,017			
	-2,80	Man.	38,61	38,26-38,96	0,616	0,015	3,751	1,82	$t=2,081$
		Vibr.	37,56	37,11-38,01	0,605	0,016			
w [%]	-1,20	Man.	17,42	17,08-17,76	0,592	0,033	0,855	0,41	$n_1=15$ $n_2=8$ $k=21$ $P=0,95$
		Vibr.	17,66	17,20-18,12	0,653	0,036			
	-2,00	Man.	19,58	19,23-19,93	0,615	0,031	0,590	0,28	$t=2,081$
		Vibr.	19,74	19,35-20,13	0,545	0,027			
	-2,80	Man.	23,22	22,89-23,55	0,584	0,025	1,016	0,49	$t=2,081$
		Vibr.	22,95	22,54-23,36	0,572	0,024			

Tabelul 4.7

Compararea valorilor medii a caracteristicilor fizice γ, n, w și a ca-
racteristicilor mecanice ϕ, c și M. Amplasament experimental "Timișoara
III". Foraje executate prin vibropercuție cu vibroforeza UKB 2-100
N = 700 ÷ 900 rot/min

Carac- teristi- ca	Modul de recolta- re	Med. aritm. \bar{X}_1	Intervalul de încredere	Abat. m.p. s_1	Coef. var. $V_i = \frac{S_i}{\bar{X}_i}$	Coef. calc. t_c	Rap. $\frac{t_c}{n_i}$	Observ.
o	1	2	3	4	5	6	7	8
γ [$\frac{KN}{m^3}$]	Manual	19,35	19,12-19,58	0,420	0,021	1,800	0,884	$n_1=16$ $n_2=18$ $k=32$ $P=0,95$
	Vibrop.	19,65	19,30-19,81	0,509	0,025			
n [%]	Manual	42,57	42,18-42,96	0,702	0,016	1,935	0,949	$t=2,037$
	Vibrop.	42,02	41,57-42,47	0,883	0,021			
w [%]	Manual	24,20	23,50-24,90	1,285	0,053	1,360	0,667	$t=2,037$
	Vibrop.	24,82	24,16-25,48	1,287	0,051			

continuarea tabelului 4.7.

o	1	2	3	4	5	6	7	8
ø	Manual	19,70	18,60-20,80	1,436	0,072	1,183	0,567	$n_1=10$ $n_2=12$ $k^2=20$ $\mathcal{P}=0,95$ <hr/> $t=2,086$
	Vibrop	19,00	18,20-19,80	1,210	0,063			
c	Manual	0,43	0,34- 0,52	0,119	0,276	1,614	0,774	
	Vibrop.	0,53	0,43- 0,63	0,152	0,286			
M	Manual	74	68 - 80	10,07	0,136	1,478	0,717	$n_1=12$ $n_2=15$ $k=25$ $\mathcal{P}=0,95$ <hr/> $t=2,060$
	Vibrop.	80	73 - 86	10,08	0,126			

În tabelele centralizatoare a calculului statistic efectuat, diferențierea între valorile medii a caracteristicilor geotehnice, determinate pe cele două categorii de probe (recoltate manual și prin vibroforare), este evidențiată prin intermediul unui coeficient (η_1).

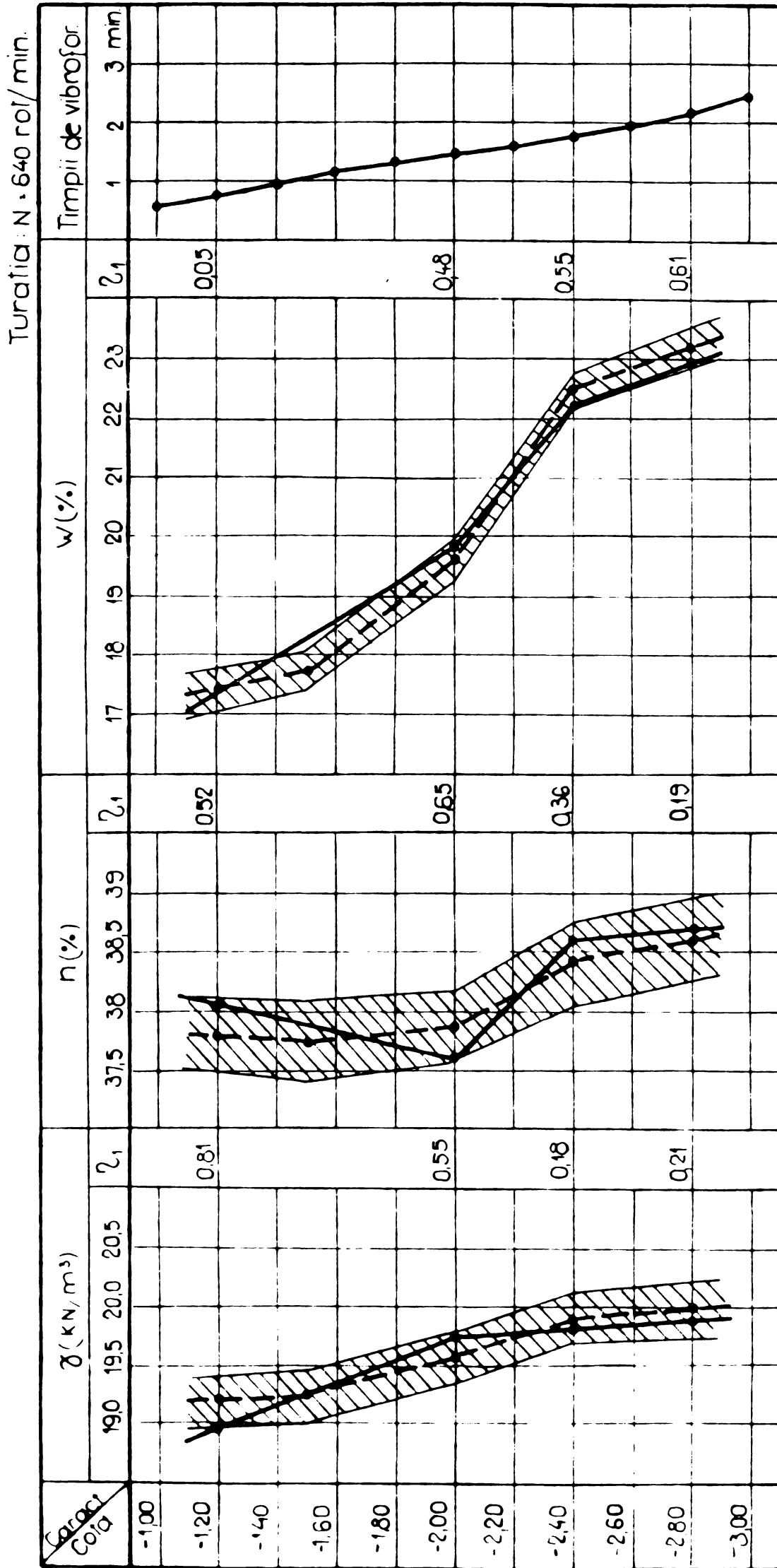
După cum se poate observa, coeficientul (η_1) a fost definit ca raport între valoarea (t_c), calculată cu relația 4.1 și valoarea (t), corespunzătoare numărului de grade de libertate (k) și nivelului de încredere (\mathcal{P}) considerat (valoarea t fiind extrasă din tabelele de calcul întocmite pe baza funcției de repartiție student [103]).

Pentru evidențierea mai clară a dependenței gradului de modificare a caracteristicilor geotehnice a probelor de pământ recoltate prin vibroforare, de parametrii principali ai vibropercuțiilor sau vibrațiilor (în cazul de față turația maselor excentrice ale vibromecanismului), s-a recurs și la reprezentarea grafică a rezultatelor prelucrării datelor experimentale. Astfel în fig.4.11, 4.12, 4.13 și 4.14 sînt reprezentate diagramele de variație pe adîncime a valorilor medii pentru cele trei caracteristici fizice analizate (γ , n și w), determinate atît pe probele recoltate manual din sondajul deschis cît și pe cele recoltate prin vibropercuții sau vibrații din foraje executate cu diverse turații ale maselor excentrice, (forajele experimentale $F_1 - F_7$, efectuate pe emplasamentul experimental "Timișoara II").

Pentru caracteristicile determinate pe probele recoltate manual, după cum se poate observa, s-a reprezentat și intervalul de încredere (porțiunile hașurate) ale valorilor medii ale acestora, calculat pentru un nivel de încredere $\mathcal{P}=0,95$.

De asemenea în aceleași figuri sînt redete și diagramele de variație a timpului de vibroforare efectivă, pe intervalul de adîncime în care se găsesc nivelurile de la care s-au recoltat probele.

FORAJELE F₁ SI F₂ EXECUTATE PRIN VIBROPERCUTII

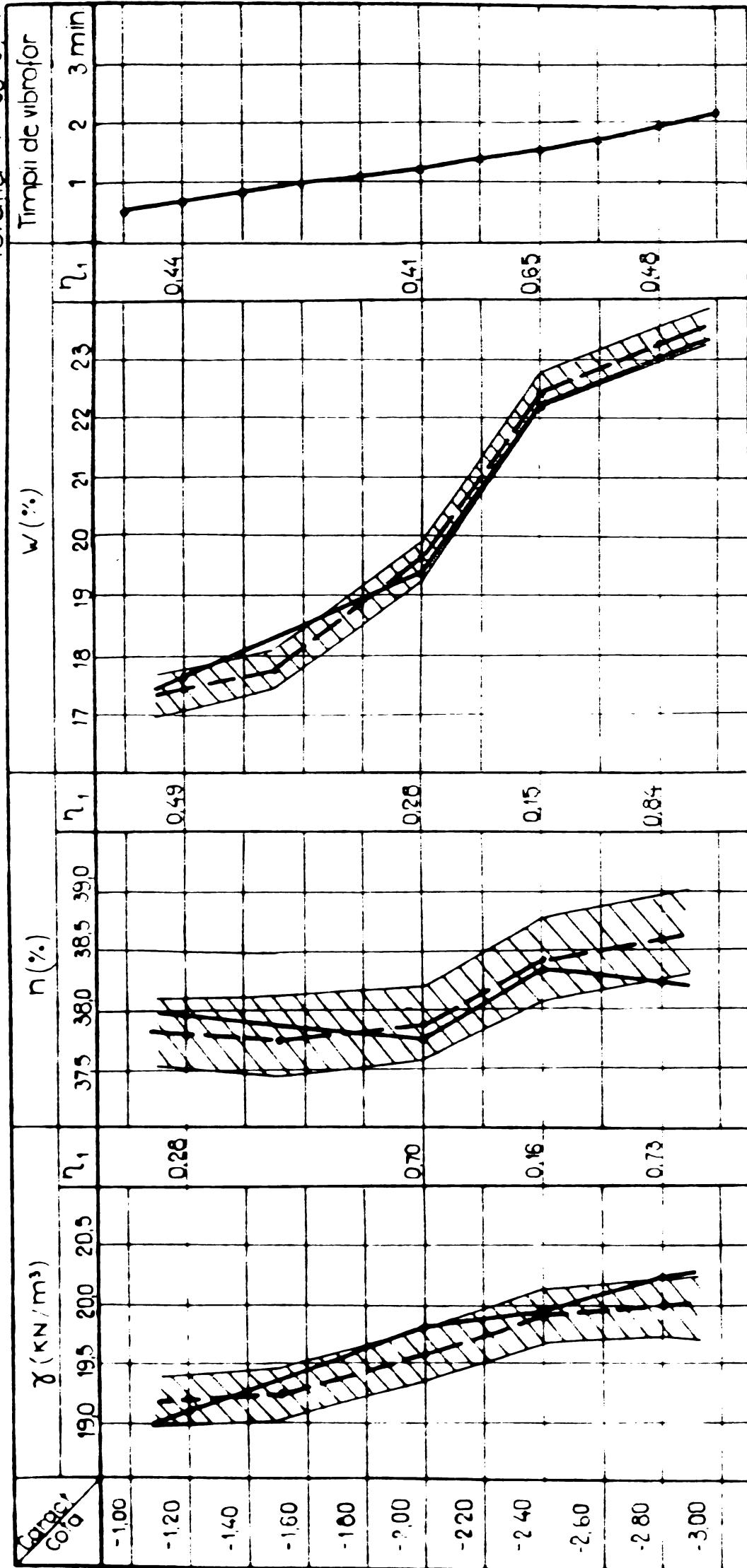


Intervalul de incercere și valoarea medie a caracteristicilor pentru probe recoltate manual.
 Valoarea medie a caracteristicilor pentru probe recoltate prin vibroforare.

FIG.4.11 Diagramele de variație pe adâncime a valorii medii a caracteristicilor γ , n, w și a timpului de vibroforare la forajele F₁ și F₂

FORAJELE F₃ SI F₄ EXECUTATE PRIN VIBROPERCUTII

Turația: N = 760 rot/min.

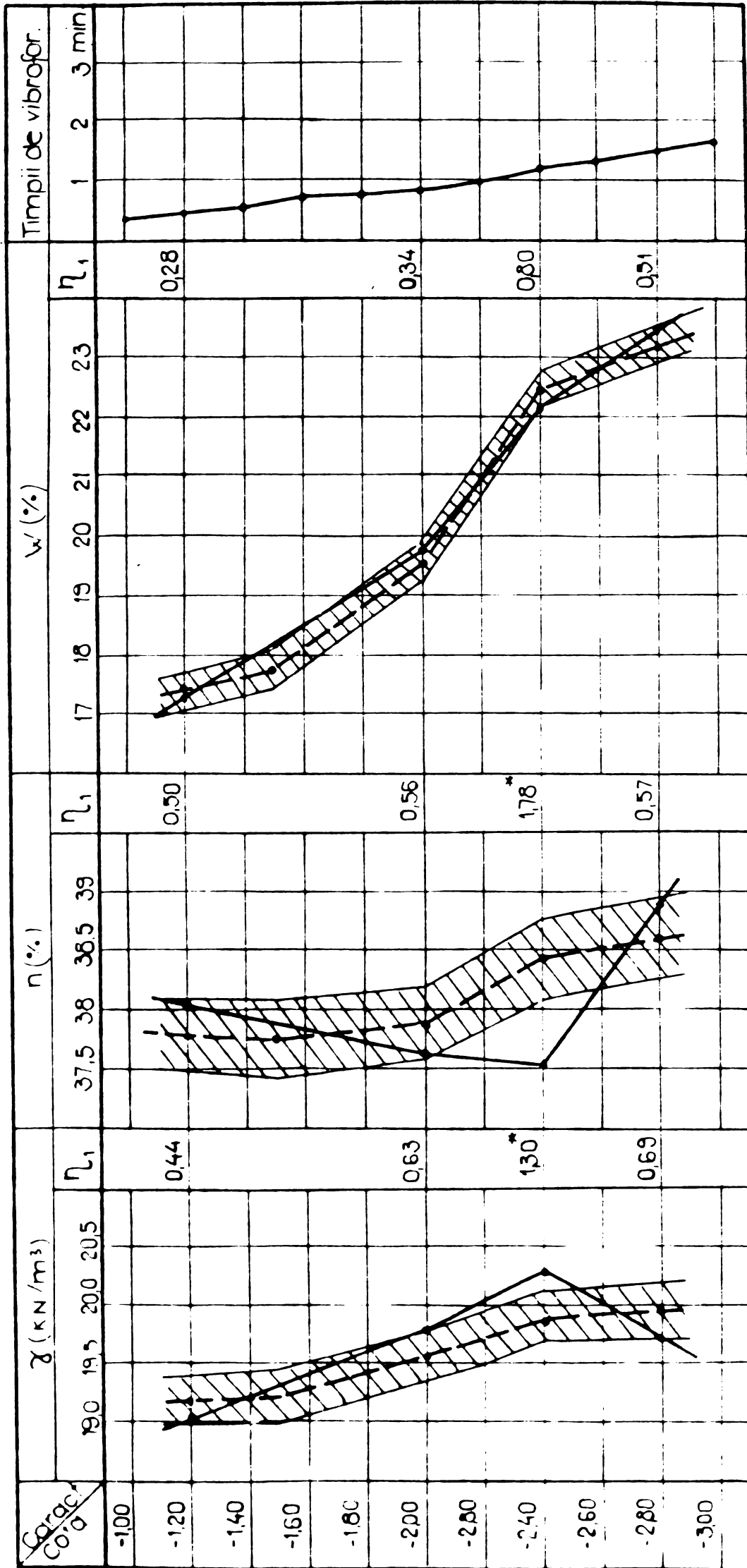


Intervalul de încredere și valoarea medie a caracteristicilor pentru probe recoltate manual
 Valoarea medie a caracteristicilor pentru probe recoltate prin vibroforare

FIG. 4.12. Diagramele de variație pe adâncime a valorii medii a caracteristicilor γ , n , w și a timpului de vibroforare la forajele F₃ și F₄

FORAJELE F5 SI F6 EXECUTATE PRIN VIBROPERCUTII

Turatia N = 970 rot/min.



Intervalul de incredere si valoarea medie a caracteristicilor pentru probe recoltate manual
 Valoarea medie a caracteristicilor pentru probe prin vibroforare.

FIG.4.13 Diagramele de variatie pe adancime a valorii medii a caracteristicilor χ , n , w si a timpului de vibroforare la forajele F5 si F6

FORAJUL F₇ EXECUTAT PRIN VIBRARE

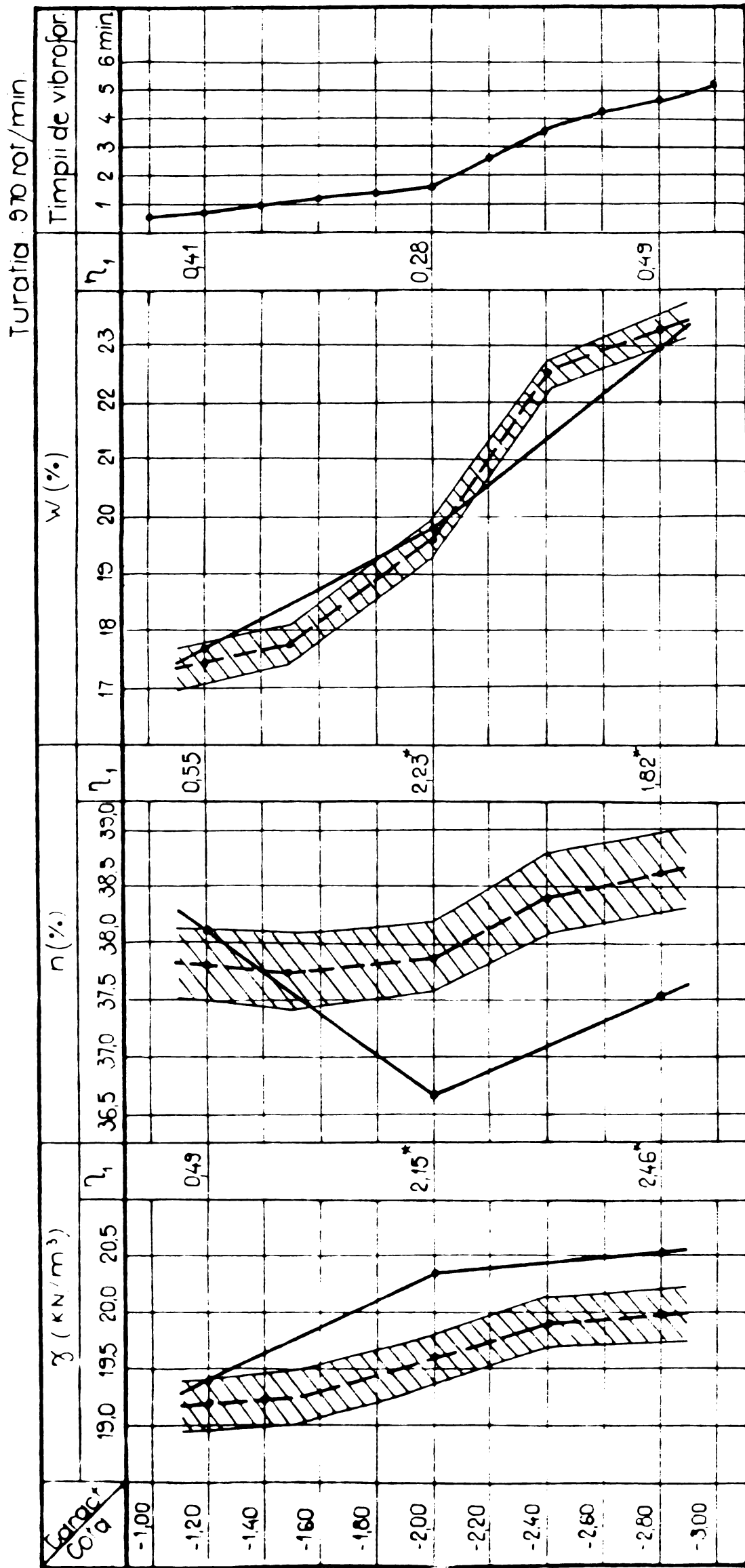


FIG. 4.14. Diagramele de variatie pe adancime a valorii medii a caracteristicilor γ , n , w si a timpului de vibroforare la forajul F₇

4.4.4. Constatări și concluzii

Din analizarea indicatorilor calculului statistic comparativ corespunzător forajelor F_1 și F_2 executate prin vibropercuții, având turația maselor excentrice ale vibropercutorului egală cu 640 rot/min (tabelul 4.3), se constată că toate valorile coeficientului η_1 sînt subunitare. Acest lucru înseamnă că diferențele dintre valorile medii ale caracteristicilor fizice γ, n și w , determinate pe probele recoltate prin vibropercuții, cu această turație și cele corespunzătoare probelor recoltate manual, sînt nesemnificative din punct de vedere practic. Mai evident rezultă această concluzie din fig.4.11, unde se observă că diagrama de variație a valorilor medii a celor trei caracteristici, corespunzătoare probelor recoltate prin vibropercuții, se înscrie pe toată adîncimea considerată, în intervalul de încredere al valorilor caracteristicilor, determinate pe probe recoltate manual. Faptul că diagramele de variație pe adîncime a valorilor medii ale greutății volumice și ale porozității, corespunzătoare probelor recoltate prin vibropercuții (linia continuă), oscilează în jurul celor corespunzătoare probelor recoltate manual, denotă că prezența vibropercuțiilor în procesul de recoltare a probelor, nu a condus la o compactare sistematică a acestora. Diferențele procentuale maxime, de 1,3% pentru greutatea volumică, de 0,75% pentru porozitate și de 1,29 % pentru umiditatea naturală, se încadrează în limitele admise, ele putînd fi considerate că se datorează variațiilor naturale ale caracteristicilor fizice analizate, precum și erorilor aleatoare inevitabile, care intervin la executarea determinărilor de laborator.

În ceea ce privește viteza medie de vibroforare efectivă, corespunzătoare celor două curse, aceasta a fost de 1,4 m/min pentru prima cursă și 1,2 m/min., pentru a doua. Variația ei cu adîncimea constă într-o descreștere monotonă normală, fără salturi, fapt evidențiat în parte și de diagrama de variație pe adîncime a timpului efectiv de vibroforare (fig.4.11), a cărei alură pentru intervalele de adîncime corespunzătoare ambelor curse, este relativ apropiată de o dreaptă.

În cazul turației de 760 rot/min, folosită la executarea prin vibropercuții a forajelor experimentale F_3 și F_4 , respectiv la recoltarea probelor netulburate din aceste foraje, rezultatele (tabelul 4.4. și fig.4.12) sînt asemănătoare cu cele corespunzătoare turației de 640 rot/min. Valorile coeficientului η_1 , rezultate în urma calculului statistic comparativ pentru cele trei caracteristici fizice (γ, n, w) analizate în prima fază, sînt de asemenea în totalitate subunitare, iar ca or de mărime sînt comparabile cu

cele corespunzătoare turației de 640 rot/min ($0,15 \pm 0,84$, față de $0,05 \pm 0,81$). Analizând diagramele de variație pe adâncime a valorilor medii ale caracteristicilor fizice, corespunzătoare probelor recoltate prin vibropercuții (fig.4.12), se observă că și în acest caz ele rămân în interiorul intervalului de încredere, calculat pe baza valorilor caracteristicilor corespunzătoare probelor recoltate manual.

Se poate sublinia totuși, că spre deosebire de cazul anterior analizat, unde diagramele de variație a valorilor medii pentru greutatea volumică și porozitate, corespunzătoare probelor recoltate prin vibropercuții, oscilau în jurul celor corespunzătoare probelor recoltate manual, de astă dată apare o ușoară tendință de deplasare sistematică a acestora, în sensul valorilor mari pentru greutatea volumică și mici pentru porozitate (fig.4.12). Este posibil ca acest lucru să fie interpretat și ca rezultat al suprapunerii peste erorile aleatoare inevitabile, care intervin la executarea determinărilor de laborator, a unei eventuale tendințe de compactare a probelor, manifestată în timpul procesului de vibroforare, respectiv de recoltare prin vibropercuții. Chiar și prin admiterea acestui punct de vedere, prelucrarea statistică și reprezentarea grafică arată că și în cazul turației de 760 rot/min, diferențele care apar între caracteristicile fizice corespunzătoare celor două categorii de probe, rămân încă ne semnificative din punct de vedere practic, putând fi considerate tot ca abateri întâmplătoare. Mărimile acestor abateri exprimate procentual sînt comparabile cu cele corespunzătoare turației de 640 rot/min, fiind de 1,18% pentru greutatea volumică, 1,00% pentru porozitate și 1,33% pentru umiditatea naturală.

Viteza medie de vibroforare efectivă corespunzătoare ambelor curse este cu circa 12-13 % mai ridicată decît în cazul turației de 640 rot/min, avînd valorile de 1,6 m/min pentru prima cursă și de 1,38 m/min, pentru cea de a doua. Din diagrame de variație pe adâncime a timpului efectiv de vibroforare (fig.4.12), se observă că și în acest caz dependența acestuia în funcție de adâncime, este aproximativ liniară pe intervalul unei curse, ceea ce înseamnă că nu apar scăderi sau creșteri bruște ale vitezei de înaintare.

A treia valoare a turației maselor excentrice ale vibroperoutorului, folosită la vibroforare, respectiv la recoltarea probelor netulburate prin vibropercuții, a fost de 970 rot/min (forajele F_5 și F_6). Spre deosebire de cazurile analizate anterior, de astă dată pentru unele din probele recoltate prin vibropercuții (cele de la cota -2,40), gradul de deranjare a structurii, respectiv de modificare a unora dintre caracteristicile fizice analizate, este

mai pronunțat. După cum se poate observa în fig.4.13, diagramele de variație pe adâncime a greutatei volumice și a porozității, pentru probele recoltate prin vibropercuții, la cota de -2,40 m, părăsesc intervalul de încredere determinat pe baza valorilor aceluiași caracteristici, corespunzătoare probelor recoltate manual. Valorile coeficientului η_1 (tabelul 4.5), de 1,30 pentru greutatea volumică și de 1,78 pentru porozitate, arată că diferențele dintre caracteristicile fizice corespunzătoare celor două categorii de probe, nu mai pot fi considerate ca întâmplătoare, respectiv ca fiind nesemnificative din punct de vedere practic. De altfel acest lucru rezultă clar și prin simpla exprimare procentuală a diferenței maxime dintre mărimile caracteristicilor, γ și n , corespunzătoare celor două categorii de probe, care este de $2,0 \div 2,5$ %. Faptul că umiditatea naturală a probelor recoltate prin vibropercuții, rămâne sensibil apropiată de cea a probelor recoltate manual, nepărăsind intervalul de încredere corespunzător mărimii acesteia din urmă (fig. 4.13), arată că mărirea valorii greutatei volumice, respectiv micșorarea porozității, cu o cantitate care depășește limita unei abateri întâmplătoare, se datorează unui proces suplimentar de compactare a probelor, care a intervenit în procesul de vibroforare și de recoltare a acestora, prin vibropercuții, în zona cotei de -2,40 m

Umplerea completă a carotierei cu pământ, în ambele curse de vibroforare, indică pe de altă parte că această compactare suplimentară a unora dintre probele recoltate, nu este urmarea manifestării cu precădere a "efectului de pilot", ci mai mult a unei mișcări ne-staționare a vibropercutorului în timpul înfigerii în pământ a carotierei, în special pentru cea de a doua cursă de vibroforare (între -1,60 și 3,20 m). Acest lucru este evidențiat într-o oarecare măsură și de slaba diagramei de variație pe adâncime a timpului de vibroforare efectivă (adică de înaintare a carotierei în pământ), care pe intervalul celei de a doua curse, nu se mai poate asimila cu o dreaptă, ca și în cazurile anterioare.

În cazul forajului experimental F_7 , executat prin vibrare, cu turație de 970 rot/min, rezultatele sînt nesatisfăcătoare. În acest caz deranjarea structurii naturale a probelor recoltate și în consecință modificarea caracteristicilor geotehnice ale acestora, în comparație cu cele recoltate manual, este mult mai evidentă. Se observă că valorile medii ale greutatei volumice și ale porozității, determinate pe probe recoltate prin vibrare, se abat mult de la intervalul de încredere, corespunzător mărimilor aceluiași caracteristici, determinate pe probe recoltate manual (fig.4.14),

lucru evidențiat și de valorile coeficientului η_1 (1,46 și 2,15 pentru γ , respectiv 1,82 și 2,25 pentru porozitate - tabelul 4.6). Mărimea abaterii celor două caracteristici, corespunzătoare probelor recoltate prin vibrare, față de cele corespunzătoare probelor recoltate manual, în exprimare procentuală, se apropie de 4 %, valoare cu mult mai mare decât cea admisă ca eroare, în practica determinărilor geotehnice.

Spre deosebire de forajele F_5 și F_6 executate prin vibropercuții, tot cu turația de 760 rot/min, la forajul F_7 executat prin vibrare s-a manifestat intens și fenomenul de "efect de pilot", mai ales pe intervalul celei de a doua curse de vibroforare. Acest lucru a fost evidențiat prin faptul că umplerea carotierei nu s-a realizat doar în proporție de 80 %, precum și de timpul relativ mare, necesar înfigerii în teren a carotierei pe intervalul cursei a doua (fig.4.14). Manifestarea accentuată a "efectului de pilot", constituie cauza principală a deranjării structurii naturale a probelor recoltate prin vibrare de pe intervalul cursei a doua. Din această cauză de la cota de -2,40 m, în jurul căreia, așa cum va rezulta și din diagrama de variație a vitezei, manifestarea "efectului de pilot" a fost cea mai intensă, nici nu s-a reținut proba de teren.

În vederea confirmării manifestării "efectului de pilot", în cazul executării forajelor prin vibrare pură în pământuri semi-coezive, pe același câmp experimental, s-au mai executat încă două foraje experimentale (cu aceeași turație - 970 rot/min), fără recoltări de probe, rezultatele fiind aceleași ca și la forajul F_7 , analizat în detaliu mai sus.

În ceea ce privește umiditatea naturală a probelor recoltate prin vibrare, după cum rezultă și din fig.4.14, acestea diferă foarte puțin față de cea determinată pe probe recoltate manual din sondajul deschis.

Faptul că la toate probele care s-au recoltat din forajele experimentale, executate atât prin vibropercuții cât și prin vibrare, indiferent de parametrii vibromecanismului (în cazul de față după cum s-a văzut parametru variabil fiind turația maselor excentrice), umiditatea naturală a diferit de cea a probelor recoltate manual, în limite unor abateri ne semnificative (întimplătoare), confirmă pe deplin concluzia enunțată pe parcurs, în sensul că asupra acestei caracteristici geotehnice, procedeul de recoltare practic nu influențează. Cu toate acestea, la efectuarea unor cercetări și studii comparative, de natura celor realizate și prezentate de autor în prezenta lucrare, se consideră că este necesar a se avea în vedere

și această caracteristică geotehnică, ca o mărime de control.

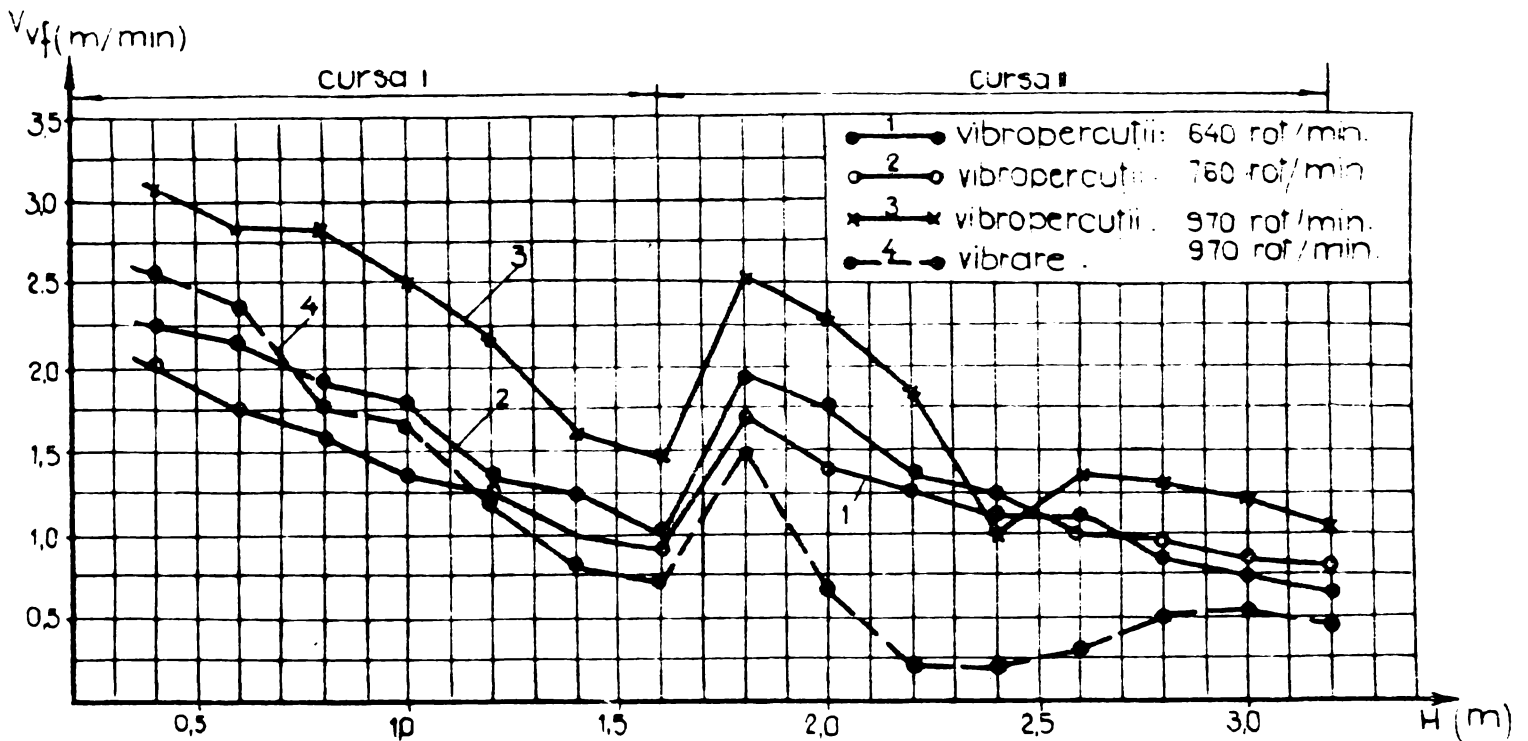


Fig.4.15. Diagramele de variație cu adâncimea a vitezei de vibroforare

Analizînd diagramele de variație cu adâncimea a vitezei de vibroforare, determinată la intervale de 0,20 m, pe lungimea celor două curse (fig.4.15), se observă că în cazul vibropercuțiilor cu turație de 640 rot/min. și de 760 rot/min (diagramele 1 și 2) aceste are o descreștere relativ uniformă, pe măsura adîncirii carotierei în teren, pentru fiecare cursă. Inexistența unor salturi bruște în variația vitezei pe lungimea unei curse (de scădere sau creștere) dovedește atât funcționarea normală a vibromecanismului, cît și lipsa manifestării "efectului de pilot" în aceste cazuri.

În cazul vibroforării prin vibropercuții cu turație de 970 rot/min, datorită valorii mai ridicate a parametrilor vibropercuto- rului, cum era și de așteptat, viteza corespunzătoare începutului fiecărei curse este mai ridicată (aproximativ 3,00 m/min și 2,5 m/min). Descreșterea acesteia pe măsura adîncirii carotierei în teren (curba 3 din fig.4.15), nu mai are însă un caracter uniform ca și în cazu- rile anterioare, apărînd unele variații mai pronunțate, mai ales pe intervalul cursei a doua, unde în jurul cotei de -2,40 m, mărimea vitezei se reduce la mai puțin de jumătate, față de cea corespunză- toare începutului cursei de vibroforare. Chiar fără manifestarea evidentă a "efectului de pilot", prin această reducere a vitezei, respectiv prin creșterea duratei de vibroforare, efectul vibroper- cuțiilor asupra deranjării structurii naturale a probelor recoltate

din zona respectivă, este mai pronunțat, fapt care a fost pus în evidență și de rezultatele analizei comparative a caracteristicilor geotehnice, prezentate în tabelul 4.5 și fig.4.13.

La vibroforarea experimentală cu recoltări de probe, executată prin vibrare pură (forajul F₇, turație egală cu 970 rot/min), corelarea modului de variație a vitezei de vibroforare cu calitatea probelor recoltate, este și mai clară. În prima cursă descreșterea vitezei pe măsura adâncirii carotierei, deși destul de accentuată (de la 2,5 m/min la 0,70 m/min), este relativ uniformă (diagrama 4, fig. 4.15), neindicând manifestarea "efectului de pilot", lucru ce este în concordanță și cu calitatea relativ bună a probelor recoltate de pe intervalul acestei curse (cota -1,20 m). Pe lungimea celei de a doua curse, se observă o reducere foarte accentuată a vitezei, începând de la o mărime relativ redusă a adâncirii carotierei în teren (circa 0,40 m). Pe o porțiune de aproximativ 0,30 m, situată în zona centrală a intervalului cursei a doua, viteza de vibroforare (de însintare a carotierei) a scăzut sub 0,25 m/min, iar spre finalul cursei deși apare o creștere, valoarea vitezei rămâne sub nivelul celor obținute în cazul folosirii vibropercuțiilor cu diverse turații. În afară de constatarea făcută la vibroforare, privind umplerea parțială a carotierei, manifestarea accentuată "a efectului de pilot" și prin aceasta deranjarea pronunțată a structurii naturale a probelor recoltate de la niveluri situate în intervalul de adâncime corespunzător cursei a doua, este confirmată și de mărimea redusă a vitezei de vibroforare,

Constatările făcute privind corelarea variației vitezei de vibroforare efectivă, cu calitatea probelor recoltate, permit sublinierea unei concluzii utile pentru practica executării forajelor geotehnice cu recoltări de probe netulburate prin vibroforare. În acest sens se subliniază că la execuția forajelor geotehnice nu este suficient să se urmărească numai valoarea absolută a vitezei medii de vibroforare pe cursă, ci în primul rând trebuie urmărit modul de variație a acesteia pe lungimea cursei.

Așa cum s-a arătat, în cazul unui strat omogen de pământ argilos sau semiargilos, variația vitezei de vibroforare efectivă pe lungimea unei curse, constă într-o descreștere relativ uniformă a acesteia, pe măsura creșterii adâncirii carotierei în pământ (curbele 1 și 2 din fig.4.15). Apariția unor salturi bruște ale vitezei pe parcursul unei curse, chiar dacă valoarea minimă a acesteia rămâne superioară limitei, de la care vibroforarea este operațională din punct de vedere a eficienței (0,05 m/min), indică fie

funcționarea nestaționară a vibromecanismului, fie tendințe locale de manifestare a "efectului de pilot", fenomene care pot contribui la deranjarea, într-un grad mai mare sau mai mic, a structurii naturale a probelor recoltate.

Se consideră că aspectele subliniate mai sus, privind modul de variație a vitezei de vibroforare pe lungimea unei curse, au o importanță sporită și pentru studiul și perfecționarea metodei vibrosondării, ca mijloc de cercetare geotehnică a terenurilor de fundare alcătuite din pământuri. Deși problema vibrosondării apare la ora actuală în literatura de specialitate mai mult sub formă enunțiativă, totuși, unele studii și cercetări întreprinse în această direcție, e adevărat destul de reduse și încă numai în fază de laborator [49], arată că vibrosondarea (adică combinarea vibroforării cu penetrarea) se bazează în principiu pe stabilirea unor corelații de dependență, între viteza de înaintare în teren a unei sonde sub formă de carotieră și unele proprietăți fizice și mecanice ale diverselor categorii de pământuri.

Analizând valorile coeficientului de variabilitate (ν) a diverselor caracteristici geotehnice, determinate atât pe probele recoltate manual cât și pe cele recoltate prin vibropercuții sau vibra-re, se observă că pentru caracteristicile mecanice acestea sînt mult mai mari, față de cele corespunzătoare caracteristicilor fizice. Astfel, după cum reiese din datele prezentate în tabelele 4.3. - 4.7, pentru caracteristicile fizice (γ, r, w) valoarea maximă a acestui coeficient nu depășește de regulă 0,05 (pentru γ și n fiind chiar mai mică, 0,02-0,03), în schimb pentru unele caracteristici mecanice poate ajunge pînă la 0,4 și chiar mai mult (coeziunea fiind caracteristica pentru care s-au obținut cele mai mari valori ale coeficientului de variabilitate ; 0,211 - 0,427). Diferența relativ mare obținută între valorile coeficientului de variabilitate, aferent celor două tipuri de caracteristici, confirmă pe deplin concluzia că, pentru verificarea gradului de deranjare a structurii naturale a probelor, intervenită în procesul de recoltare, deși este recomandabil să se compare mai întîi caracteristicile fizice, analiza comparativă trebuie extinsă și asupra unor caracteristici mecanice.

În cazul cercetărilor de față, din analiza statistico-comparativă efectuată asupra celor trei caracteristici fizice (γ, n, w), determinate pe probe recoltate prin vibropercuții cu diferite turații, rezultă că cea mai bună corespondență între caracteristi-

FORAJELE F₃ ȘI F₄ EXECUTATE PRIN
VIBROPERCUTII Turatia 760rot/min

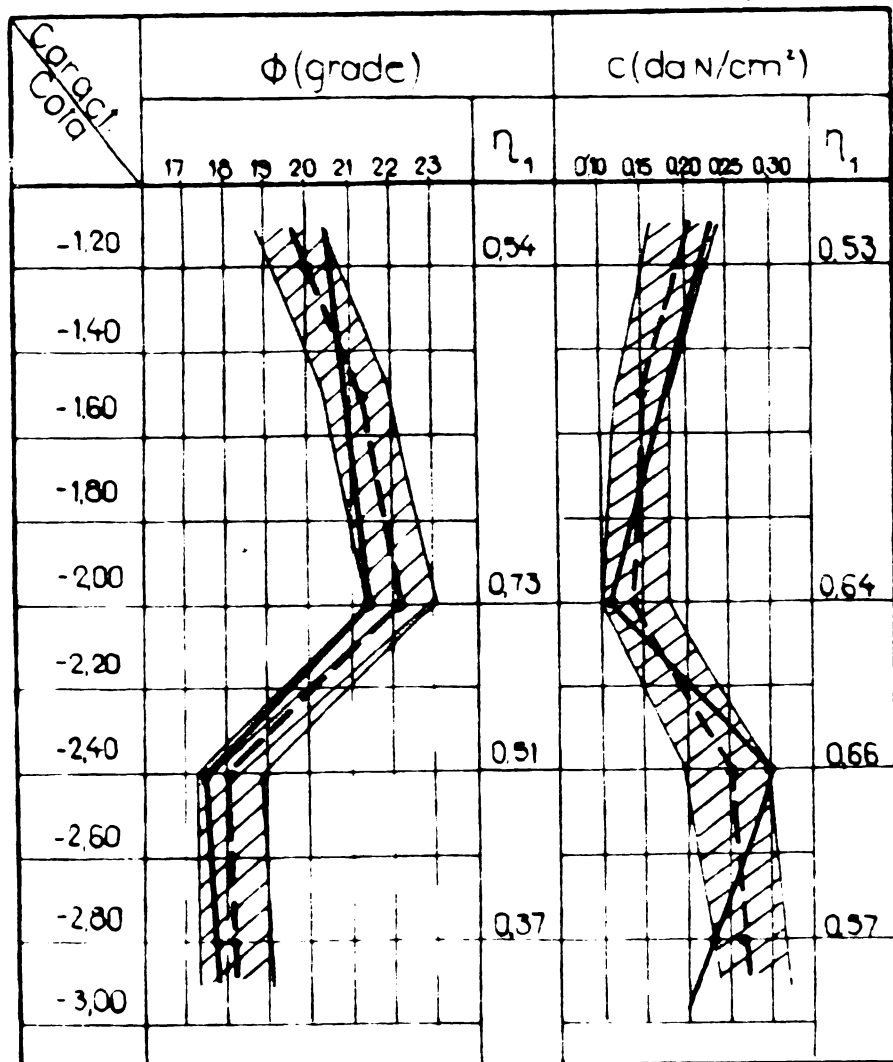


Fig.4.16. Diagramele de variație pe adâncime a caracteristicilor mecanice Φ și c . pentru probele recoltate prin vibropercuții cu această turatie, (forajele F₃ și F₄). După cum se poate observa atât din datele prezentate în tabelul 4.4, cât și din diagramele redată în fig.4.16, din rândul caracteristicilor mecanice au fost analizate două: unghiul de frecare interioară (Φ) și coeziunea specifică (c).

Indicatorii calculului statistic-comparativ efectuat (tabelul 4.4) arată că între valorile caracteristicilor mecanice corespunzătoare celor două categorii de probe (recoltate prin vibropercuții și manual), există o bună concordanță. Diferențele constatate, a căror valori maxime nu depășesc 1°, pentru unghiul frecării interioare și 0,05 daN/cm², pentru coeziune, se încadrează și în acest caz tot în categoria de abateri întâmplătoare, fără importan-

cile fizice ale acestor probe și cele determinate pe probe recoltate manual, s-a obținut pentru turatiile de 640 și 760 rot/min. Având în vedere că din punct de vedere al vitezei efective de vibroforare, folosirea turatiei de 760 rot/min. este mai avantajoasă (viteza de vibroforare fiind mai mare în comparație cu cea corespunzătoare turatiei de 640 rot/min) s-a considerat necesar ca extinderea analizei statistico-comparative și asupra unor caracteristici me-

ță din punct de vedere practic. Acest lucru reiese clar și din diagramele prezentate în fig.4.16, unde se poate observa că atât pentru unghiul de frecare interioară cât și pentru coeziune, valorile medii determinate pe probe recoltate prin vibropercuții (linia continuă pe figură) se situează în interiorul intervalului de încredere al valorilor medii, corespunzătoare probelor recoltate manual (linia întreruptă pe figură).

Din analiza statistico-comparativă efectuată asupra rezultatelor cercetărilor și încercărilor experimentale realizate pe amplasamentul experimental și de producție "Timișoara III" (tabelul 4.7), rezultă deasemenea o bună concordanță între caracteristicile fizice și mecanice, determinate pe cele două categorii de probe (recoltate prin vibropercuții și manual). La această serie de cercetări experimentale au fost analizate comparativ aceleași caracteristici fizice ca și în cazul anterior (adică γ , n și w), iar din rândul celor mecanice, în afară de unghiul de frecare interioară și de coeziunii specifice, a fost analizat și modulul de deformare liniară edometric (M). După cum rezultă din datele prezentate în tabelul 4,7, pentru toate caracteristicile fizice și mecanice analizate, valorile coeficientului η_1 sînt subunitare, ceea ce denotă că diferențele care apar între caracteristicile geotehnice ale probelor recoltate prin vibropercuții cu turații de 700-900 rot/min și cele corespunzătoare probelor recoltate manual, pot fi încadrate tot în categoria de abateri întâmplătoare.

Comparînd între ele rezultatele obținute în cadrul celor două serii de cercetări experimentale (pe cele două amplasamente experimentale menționate), deși în ambele cazuri acestea sînt corespunzătoare din punct de vedere practic, se poate menționa, totuși că la cea de a doua serie (amplasamentul experimental și de producție "Timișoara III"), valorile coeficientului η_1 sînt în general mai mari, fiind relativ apropiate de unitate pentru unele din caracteristicile geotehnice analizate (0,884 pentru γ , 0,949 pentru n , 0,774 pentru c). Acest lucru poate fi considerat ca fiind normal, dacă se are în vedere că porozitatea naturală ($n = 41,4-43,7\%$) a stratului de argilă nisipoasă, luat în studiu în cadrul seriei a doua de cercetări experimentale (Timișoara III), este mai ridicată decît cea a straturilor de pămînturi semicoezive ($n=36,9-38,7\%$ - praf nisipos argilos; $n = 36,7-38,8\%$ - nisip fin argilos; $n=37,5-39,6\%$ - argilă prăfoasă nisipoasă), analizate în cadrul primei serii de cercetări experimentale (Timișoara II). Pe de altă parte, această apropiere de unitate a valorilor coeficientului η_1 , arată că

dacă porozitatea naturală a unor pământuri semicoezive (nisipuri argiloase, prafuri argilos-nisipoase, argile nisipoase etc), este în jur de 43-44% ($e=0,75-0,78$), atunci ea este foarte apropiată de valoarea de limita maximă, de la care gradul de deranjare a structurii naturale a probelor recoltate prin vibroforare, poate deveni semnificativ și inacceptabil în practică.

După cum s-a mai menționat, pe amplasamentul experimental și de producție "Timișoara III", forajele experimentale au fost executate cu vibroforeza UKB 2-100, la care parametrii de lucru ai vibropercutorului au fost aleși pe baza rezultatelor cercetărilor efectuate anterior pe amplasamentul "Timișoara II".

Rezultatele bune obținute cu ocazia aceste prime testări a parametrilor de vibroforare aleși pentru vibroforeza UKB 2-100, au permis ca această instalație să fie folosită ulterior în mod curent, de către catedra de Drumuri și fundații, la executarea unor foraje geotehnice, necesare cercetării terenului de fundare și elaborării studiilor geotehnice, pe diverse amplasamente și pentru diferite tipuri de construcții. Din materialul existent în arhiva catedrei, rezultă că în perioada 1968-1976, au fost executate prin vibroforare (cu vibroforeza UKB 2-100) peste 2000 ml de foraj geotehnic, cu sau fără recoltări de probe netulburate, pe baza cărora au fost elaborate aproximativ 80 studii geotehnice. Urmărirea limitelor de deranjare a structurii naturale, respectiv de modificare a caracteristicilor geotehnice ale probelor netulburate recoltate prin vibroforare (vibropercuții) din pământuri coezive și semicoezive, a continuat să se facă și cu ocazia executării acestor lucrări de producție. Diferențele nesemnificative constatate și cu aceste ocazii, între caracteristicile geotehnice ale probelor recoltate prin vibroforare cu vibroforeza UKB 2-100 și cele ale probelor recoltate manual din sonde deschise, au confirmat pe deplin concluziile cercetărilor experimentale, care au stat la baza alegerii parametrilor de lucru ai instalației respective și la folosirea ei în condiții de producție.

Sintetizând constatările și observațiile rezultate atât din cercetările experimentale cât și din urmărirea unor lucrări de producție efectuate, referitor la particularitățile specifice de executare prin metoda vibroforării a forajelor geotehnice cu recoltări de probe netulburate din pământuri semicoezive, se pot sublinia următoarele concluzii și recomandări practice:

- metoda vibroforării se poate aplica cu bune rezultate tehnico-economice la executarea forajelor geotehnice cu recoltări de probe netulburate și în cazul pământurilor semicoezive (nisipuri ar-

giloase, argile nisipoase, argile prăfoase, etc), cu condiția ca parametrii vibromecanismului folosit să se încadreze între anumite limite de valori;

- în cazul pământurilor semicoezive, ca de altfel și al argilelor, este indicat ca vibroforarea și recoltarea probelor să se facă prin vibropercuții și nu prin vibrații pure;

- considerînd ca parametru de bază pentru vibroforare, turația maselor excentrice (N) ale vibropercutorului (adică frecvența vibropercuțiilor, $f = N/60$), se recomandă ca aceasta să se încadreze între 700 rot/min și 900 rot/min;

- la recoltarea probelor netulburate prin metoda vibroforării (în particular prin vibropercuții), este necesar să se acorde atenție sporită nu numai mărimii vitezei de vibroforare pe cursă, ci în special modului de variație a acesteia pe lungimea unei curse, care trebuie să se caracterizeze printr-o descreștere uniformă, fără salturi bruște;

- valoarea maximă a porozității naturale (n) a pământurilor semicoezive, pînă la care procedeul de vibroforare și de recoltare a probelor netulburate prin vibropercuții, nu provoacă deranjări semnificative ale structurii naturale, este în jur de 42-44% ($e = 0,72-0,78$), fiind mai redusă decît cea caracteristică argilelor ($e \approx 0,9$).

- în scopul reducerii deranjării structurii naturale a probelor, care poate interveni la recoltarea acestora prin vibropercuții, este indicată folosirea carotierelor prevăzute cu un singur ștuț, montat la partea inferioară în locul cușitului tăietor (fig.4.9).

X

X X

În mare parte studiile și cercetările experimentale proprii, privind influența vibrațiilor și vibropercuțiilor asupra modificării caracteristicilor geotehnice ale probelor netulburate, recoltate prin vibroforare din pământuri semicoezive, prezentate în acest capitol, au fost efectuate de către autor în perioada anilor 1966-1967. După cum s-a mai menționat, concluziile rezultate în urma acestor cercetări, au fost valorificate în primul rînd prin realizarea în cadrul catedrei de Drumuri și fundații a vibroforei UKB 2-100, cu ajutorul căreia metoda vibroforării a fost experimentată și aplicată în condiții de producție, la executarea forajelor geotehnice cu recoltări de probe netulburate

și tulburate. Totodată o parte din rezultatele cercetărilor au fost valorificate și prin publicarea lor, în aceeași perioadă, în unele reviste de specialitate din țară și din străinătate [79], [80], [81].

Înafara confirmării concluziilor expuse anterior, prin lucrările de vibroforare executate pentru producție de către catedra de Drumuri și fundații, cu concursul autorului, ele au fost confirmate și prin rezultatele unor cercetări experimentale, efectuate ulterior de către unii cercetători din străinătate. Pentru argumentarea afirmației făcute, în tabelul 4.8. se prezintă rezultatele sub formă de indicatori de calcul statistic, obținute de către un colectiv de cercetători de la "Mosgogeotrest" din Uniunea Sovietică, condus de A.V.Vasiliev [136].

Tabelul 4.8.

Valorile indicatorilor de calcul statistic obținute de A.V. Vasiliev [136].

Caracteristica geot.	Mod de recolt.	Val. med. \bar{X}_i	Abat. m.p. s_i	Coef. de var. $V_i = s_i / \bar{X}_i$	Coeficientul t		P și k
					Calculat	Extr. din tab.	
γ [kN/m ³]	Man.	19,3	0,48	0,025	1,76	2,63	$P = 0,99$ k > 100
	Vibrof.	19,5	0,65	0,033			
w [%]	Man.	24,2	2,10	0,087	0,83	2,63	$P = 0,99$ k > 100
	Vibrof.	23,8	2,70	0,113			
\emptyset [gr]	Man.	17,6	2,90	0,164	2,97	2,98	$P = 0,99$ k = 14
	Vibrof.	18,1	3,70	0,203			
c [daN/cm ²]	Man.	0,67	0,23	0,346	0,74	2,98	$P = 0,99$ k = 14
	Vibrof.	0,76	0,19	0,255			
M [daN/cm ²]	Man.	54	13,30	0,246	1,74	2,63	$P = 0,99$ k = 98
	Vibrof.	60	16,70	0,278			

Studiile și cercetările experimentale, a căror rezultate sînt prezentate în mod concentrat în tabelul 4.2, au fost efectuate de către colectivul condus de A.V.Vasiliev, în jurul anilor 1970-1971 (deci ulterior cercetărilor efectuate de autor) și au avut ca obiect de studiu stît pămînturile coezive, cît și cele necoezive, a căror porozitate naturală (n) a variat între 37% și 45% (e=0,59-0,82).

Se menționează de asemenea că principalii parametri ($m_{ex} = 250 \text{ daNcm}$ și $N = 1000 - 1200 \text{ rot/min}$) ai vibromecanismului instalației utilizate pentru vibroforare și recoltarea probelor netul-

burate de la adâncimi pînă la 3,5 m, sînt foarte apropiați de domeniile de valori, folosite și stabilite ca optime, de către autor în cercetările sale proprii.

Din analiza valorilor principalilor indicatori ai calculului statistic, redați în tabelul 4.8, se desprinde aceeași concluzie, reieșită și din cercetările autorului, respectiv că diferențele dintre caracteristicile geotehnice ale celor două categorii de probe sînt ne semnificative, putînd fi considerate ca abateri întîmplătoare (valoarea calculată a coeficientului t , fiind mai mică decît cea extrasă din tabele, în funcție de nivelul de încredere considerat și numărul gradelor de libertate existent).

Rezultatele acestor cercetări, corelate cu altele, au stat la baza prelucrării și elaborării în Uniunea Sovietică, a unei noi redactări a stasului privind recoltarea probelor de pămînt, intitulat "Pămînturi. Recoltarea, ambalarea, transportul și păstrarea probelor" (GOST 12071-72), în care metoda vibroforării a fost inclusă ca procedeu de recoltare a probelor netulburate din pămînturi argiloase și semiargiloase.

— • —

CAPITOLUL V

CONCLUZII FINALE

Aplicarea tehnicii vibrării la rezolvarea unor lucrări de geotehnică și fundații, a fost și este posibilă ca urmare a dezvoltării continue a dinamicii pământurilor în general, respectiv a studiilor și cercetărilor privind comportarea pământurilor la acțiunea unor încărcări dinamice sub formă de vibrații sau vibropercuții.

În creerea și perfecționarea unor tehnologii de înfigere în pământ a diverselor elemente de construcții (piloți, plăplânse, tuburi metalice etc.), sau de consolidare a terenurilor slabe de fundare, bazate pe tehnica vibrării, importanță deosebită prezintă studiile și cercetările privind modificarea unor caracteristici geotehnice ale pământurilor sub acțiunea vibrațiilor sau a vibropercuțiilor. Din analiza fenomenelor fizice caracteristice procesului de înfigere și de extragere prin vibrații sau vibropercuții (paragr. 2.1), a rezultat că acestea conduc în mare parte la reducerea frecării interne și externe a pământului. De aceea dintre caracteristicile mecanice ale pământurilor sub acest aspect, interesează în primul rând modul și măsura în care are loc reducerea rezistenței la forfecare, respectiv a parametrilor acesteia (unghiul frecării interioare și coeziunea specifică), sub acțiunea vibrațiilor și vibropercuțiilor.

Având în vedere considerentele subliniate mai sus, studiile și cercetările efectuate asupra metodei vibroforării și a metodei vibroînțepării, au fost corelate cu analizarea unor aspecte principale, legate de comportarea pământurilor la acțiuni dinamice sub formă de vibrații și vibropercuții.

Atât din prelucrarea sistematică și critică în același timp, a materialului bibliografic consultat, cât și din unele cercetări proprii efectuate în această direcție, au rezultat o serie de concluzii utile pentru explicarea principalelor fenomene și modificări care au loc în structura pământului sub acțiunea vibrațiilor sau vibropercuțiilor, concretizate în cele din urmă în schimbări calitative și cantitative a caracteristicilor fizice și mecanice ale pământurilor. Totodată aceste concluzii completate cu unele contribuții proprii, au stat la baza efectuării cercetărilor și încercărilor experimentale privind tehnologia și procesul de vibroforare în general, precum și a particularităților specifice care intervin la aplicarea metodei vibroforării pentru executarea forajelor geotehnice, cu recoltări de probe netulburate din pământuri slab coesive.

5.1. Contribuții la studiul comportării pământurilor la acțiuni dinamice sub formă de vibrații sau vibropercuții

5.1.1. Un prim aspect analizat în detaliu, atât prin prisma prelucrării datelor oferite de literatura de specialitate consultată, cât și prin cea a cercetărilor și studiilor proprii, îl constituie influența vibrațiilor asupra rezistenței la forfecare a pământurilor. Concluzia generală rezultată este că, atât în cazul pământurilor necoezive cât și a celor coezive sau slab coezive, acțiunea încărcărilor dinamice sub formă de vibrații sau vibropercuții provoacă reducerea rezistenței la forfecare a acestora, comparativ cu cea obținută în condiții statice.

5.1.2. Reducerea cantitativă a rezistenței la forfecare dinamică și modul în care are loc această reducere, depind în primul rând de natura și starea structurală a pământului, iar în al doilea rând de parametrii solicitării dinamice sub formă de vibrații. Atât la pământurile necoezive cât și la cele coezive, reducerea mărimii rezistenței la forfecare dinamică, față de cea statică, este funcție de următorii parametri ai vibrațiilor: amplitudinea vibrațiilor (A), frecvența vibrațiilor (f) și accelerația vibrațiilor ($\eta = a/g$).

5.1.3. Dintre parametrii vibrațiilor menționați, un rol hotărâtor, atât sub aspect cantitativ cât și calitativ, îl joacă accelerația vibrațiilor, respectiv raportul dintre valoarea acesteia și accelerația gravitațională. Pe lângă conținutul celorlalți parametri, există o valoare critică (η_{cr}) a accelerației vibrațiilor (prag critic al accelerației relative) de la care începând, starea structurală a pământului este distrusă complet, iar reducerea rezistenței la forfecare dinamică este pronunțată, tinzând către o valoare minimă ($\tau_{d_{min}}$) pentru $\eta_{lim} = 6-7$, valoare care poate ajunge până la 50% și chiar mai mult din rezistența la forfecare statică. Pentru accelerații ale vibrațiilor $\eta < \eta_{cr}$, scăderea rezistenței la forfecare dinamică este mult mai redusă, ea datorându-se în mare parte stării de tensiuni ondulatorii din masa pământului, generată de acțiunea vibrațiilor, la care pe măsura apropierii accelerației vibrațiilor de valoarea η_{cr} , se adaugă și apariția unor zone locale de distrugere a stării structurale a pământului.

5.1.4. Studiile și cercetările proprii privind modul de variație a rezistenței la forfecare dinamică a pământurilor în funcție de parametrii vibrațiilor, au evidențiat dependența calitativă și cantitativă a acesteia, în funcție și de un alt parametru al vibrațiilor: unghiul (α) dintre direcția vibrațiilor și orizontală. După cum rezultă din cercetările proprii efectuate și prezentate în detaliu

în subparagraful 1.2.1, reducerea cea mai accentuată a rezistenței la forfecare dinamică are loc pentru valori ale unghiului de înclinare a direcției vibrațiilor față de orizontală, apropiate de mărimea de cele ale unghiului de frecare interioară ale diferitelor tipuri de pământuri. Această concluzie prezintă importanță teoretică și utilitate practică, în special pentru conceperea dispozitivelor și stabilirea metodologiei necesare executării încercărilor de forfecare directă a pământurilor în condiții dinamice.

5.1.5. În cazul pământurilor necoeze, reducerea rezistenței la forfecare dinamică comparativ cu cea statică precum și modul ei de variație în funcție de parametri menționați mai sus, depinde în mod substanțial de starea de îndesare inițială și mai ales de presiunea normală exterioară ($\bar{\sigma}$). În comparație cu forfecarea în condiții statice, fenomenele care însoțesc procesul de forfecare dinamică a nisipurilor sînt mai complexe. În ultimă instanță se poate considera că procesul de forfecare dinamică este însoțit de două fenomene de bază a căror acțiune este contrară: unul de "îndesare" sub acțiunea presiunii normale exterioare și altul de "afînare", datorită presiunii de agitație respectiv mișcărilor oscilatorii ale fragmentelor de nisip, cauzate de vibrații. Preponderența unuia sau a altuia dintre aceste fenomene, este funcție atât de mărimea presiunii normale exterioare, cît și de intensitatea vibrațiilor, în principal de accelerația acestora. Variabilitatea celor doi parametri condiționali ai fenomenelor care însoțesc procesul de forfecare dinamică a nisipurilor, face ca și dependența dintre rezistența la forfecare dinamică și presiunea normală exterioară, să-și piardă caracterul liniar, caracteristic rezistenței la forfecare statică, apropiindu-se mai mult de o formă de variație exponențială (relațiile 1.8 și 1.9).

5.1.6. Pe baza aspectelor reliefate anterior se poate sublinia și o observație critică cu privire la modul de studiu și de cercetare a unor aspecte referitoare la comportarea pământurilor sollicitate dinamic. Modificării rezistenței la forfecare și procesului de compactare a pământurilor necoeze sub acțiunea vibrațiilor (compresibilității dinamice), le sînt caracteristice unele fenomene interdependente care nu pot fi separate. Astfel reducerea frecării interioare sub efectul vibrațiilor permite îndesarea sub acțiunea presiunii din sarcina geologică și a presiunii normale exterioare, iar această îndesare la rîndul său poate conduce la sporirea frecării dintre fragmente. Din acest motiv se consideră că tratarea în mod separat a compactării pământurilor nisipoase și a rezistenței la forfecare a acestora sub acțiunea vibrațiilor, așa cum apare în literatura de specialitate actuală, este neindicată, deoarece se procedează la separarea în mod artificial a

unor fenomene care se condiționează reciproc.

5.1.7. Deși natura rezistenței la forfecare a pământurilor argiloase este mult mai complexă și încă controversată în literatura de specialitate, chiar și pentru condiții statice de forfecare, totuși, analizarea rezultatelor unor cercetări și încercări experimentale permit să se facă sublinierea de principiu că și în cazul pământurilor argiloase, sub acțiunea vibrațiilor are loc reducerea rezistenței la forfecare, respectiv a parametrilor acesteia (ϕ și c). Mișcările oscilatorii ale particulelor solide dezvoltă forțe de inerție care fac ca în punctele de contact să apară în mod alternativ eforturi de întindere și de compresiune. La acțiuni dinamice de intensitate mai redusă, aceste eforturi sînt preluate de rezistența peliculelor de apă legată fizic, iar după învingerea acestor rezistențe datorită intensificării regimului dinamic, particulele solide pot oscila liber, producîndu-se și la pământurile argiloase, fenomene apropiate ca natură de cele caracteristice nisipurilor. Slăbirea și distrugerea legăturilor structurale dintre particulele solide, la care se adaugă și rolul de lubrefiant pe care-l joacă o parte din apa legată fizic, care poate deveni liberă datorită acțiunii vibrațiilor, conduce la reducerea atât a frecării interioare cît și a coeziunii pământurilor argiloase.

5.1.8. În principiu și la pământurile argiloase, modul de variație a rezistenței de forfecare dinamică în funcție de parametrii principali ai vibrațiilor, este analog cu cel de la nisipuri. Se poate sublinia totuși, că datorită legăturilor structurale mai puternice, pragul critic al accelerației relative (η_{cr}), la care intervine distrugerea structurii interne și reducerea mai pronunțată a rezistenței la forfecare dinamică a pământurilor argiloase, are valoare mai ridicată decît în cazul nisipurilor.

Pe acest lucru se bazează și concluzia, verificată pe deplin în practica aplicării tehnicii vibrării la lucrări de înfigere în teren a diverselor elemente, că în cazul pământurilor argiloase eficiența vibrațiilor este mai redusă decît în cazul nisipurilor și de aceea pentru primele este indicată folosirea unor instalații și tehnologii bazate pe vibropercuzii și nu pe vibrație pură.

5.1.9. Rezistența la forfecare dinamică a pământurilor coezive și slab coezive, respectiv modul de variație a acesteia în funcție de parametrii vibrațiilor, depind în mare măsură și de umiditatea naturală, corelată cu presiunea normală exterioară. S-a constatat că la umiditate naturală relativ redusă, cu cît valoarea presiunii normale exterioare este mai mare, cu atât reducerea rezistenței la forfecare dinamică în comparație cu cea statică, este mai puțin pronunțată. La valoarea

ridicată a umidității (apropiată de limita de curgere sau de umiditatea de saturație), pe lângă faptul că reducerea rezistenței la frecare dinamică începe să se manifeste de la o mărime mai scăzută a pragului critic al accelerației relative, s-a constatat că influența presiunii normale este mai puțin evidentă și că efectul vibrațiilor se resimte în măsură mai mare asupra reducerii coeziunii și mai mică asupra unghiului de frecare interioară (fig.1.19 și 1.21, tabelul 1.1.).

5.1.10. Corelarea rezultatelor cercetărilor proprii cu prelucrarea datelor oferite de literatura de specialitate, referitoare la comportarea pământurilor sub influența încărcărilor dinamice sub formă de vibrații, respectiv la influența acestora asupra principalelor caracteristici de rezistență ale pământurilor, a făcut posibilă sublinierea de noi concluzii și observații menite să contribuie la elucidarea complexității fenomenelor fizice care au loc în structura pământurilor solificate dinamic. Totodată analizarea acestor aspecte au constituit și punctul de pornire a studiilor și cercetărilor proprii referitoare la cele două tehnologii bazate pe tehnica vibrării, care au fost prezentate în lucrare: vibroforarea și vibroînțeparea.

5.2. Contribuții la studiul tehnologiei de execuție a forajelor prin metoda vibroforării

5.2.1. Studiile și cercetările experimentale proprii și chiar unele lucrări cu caracter de producție, privind aplicarea tehnicii vibrării la executarea forajelor în general, respectiv a forajelor geotehnice cu recoltări de probe netulburate, în particular, au fost începute de către autor încă din perioada anilor 1965-1966, fiind la acea dată primele cercetări în acest domeniu executate în țara noastră. Începând cu anii 1967-1968, metoda vibroforării a început să fie aplicată în mod curent de către catedra de Drumuri și Fundații la executarea diverselor lucrări de forare pentru producție, destinate diverselor scopuri. Atât cercetările și încercările efectuate cu caracter pur experimental, cât și observațiile făcute cu ocazia executării acestor lucrări de producție, într-o perioadă de timp relativ mare (circa 12 ani), au condus la stabilirea a o serie de concluzii teoretice și practice, referitoare la tipurile de vibromecanisme și domeniile de valori ale parametrilor acestora, indicate a se folosi, la tehnologia de execuție a vibroforării și a recoltării probelor, la tipurile și alcătuirea constructivă a instrumentelor de vibroforare, precum și la diversificarea gamei de lucrări de forare, la care aplicarea metodei vibroforării s-a dovedit că are mare eficiență tehnică și economică.

5.2.2. În principiu tehnologia de execuție a forajelor prin metoda vibroforării constă în introducerea în teren a unui element metalic de formă tubulară (carotiera), sub acțiunea vibrațiilor sau vibropercuțiilor generate de un vibromecanism, care prin fenomenele fizice pe care le provoacă în structura pământului din imediata vecinătate a suprafeței laterale și a vârfului carotierei, conduc la reducerea substanțială a rezistenței opusă de pământ la înaintarea acesteia. Înfigerea în teren a carotierei pe lungimea unei curse (care poate fi egală cu lungimea carotierei sau mai mică decât aceasta), este urmată de extragerea sa împreună cu pământul din interiorul ei, prin forță statică, însoțită dacă este cazul și de vibrații intermitente de scurtă durată.

5.2.3. Viteza de vibroforare, înțelesă ca viteză de înaintare efectivă în teren a instrumentului de vibroforare (a carotierei) pe lungimea unei curse, este funcție de următorii factori principali: parametrii de lucru ai vibromecanismului utilizat, dimensiunile geometrice și alcătuirea constructivă a carotierei, adâncimea vibroforajului și nu în ultimul rând natura pământului în care se vibroforează, evidențiată prin caracteristicile sale de frecare și de rezistență.

5.2.4. Atât din unele cercetări și încercări experimentale proprii destinate studiului tehnologiei și procesului de vibroforare, cât și din unele date oferite de literatura de specialitate privind înfigerea în teren prin vibrații și vibropercuții a elementelor tubulare metalice, a rezultat că dintre parametrii principali ai vibromecanismelor (vibroperutoare sau vibratoare), momentul și turația maselor excentrice în rotație, au rolul hotărâtor în determinarea mărimii vitezei de vibroforare. Pe de altă parte rezultatele acestor încercări experimentale, completate cu unele observații făcute cu ocazia executării unor lucrări de producție, au confirmat pe deplin concluzia subliniată la punctul 5.1.8, în sensul că în cazul pământurilor argiloase pentru aceleași valori ale parametrilor vibromecanismului, procedul de forare prin vibropercuții este mai eficient decât cel prin vibrare pură, atât sub aspectul mărimii vitezei de vibroforare (fig.3.12) cât și al adâncimii de vibroforare care poate fi realizată.

5.2.5. Sub aspectul mărimii vitezei de vibroforare, rezultatele cercetărilor efectuate permit să se sublinieze au caracter de recomandare că, domeniile de valori cuprinse între 700 și 1000 rot/min, pentru turație, respectiv între 200 și 300 daNcm pentru momentul maselor excentrice în rotație, asigură condiții bune pentru executarea prin vibropercuții a forajelor de mică adâncime (10-15 m) și cu dia-

metru redus (110-150 m), în toate categoriile de pământuri și în special în pământuri de natură argiloasă și semiargiloasă.

5.2.6. S-a constatat de asemenea că dintre cei doi parametri principali ai vibromecanismelor, influența variației momentului maselor excentrice în rotație asupra mărimii vitezei de vibroforare, este sensibil mai accentuată decât cea a variației turației. Totuși, datorită posibilităților și mijloacelor relativ mai simple prin care se poate acționa asupra turației maselor excentrice, în practica vibroforării se folosesc vibromecanisme cu moment al maselor excentrice constant și cu turație variabilă.

5.2.7. Referitor la tipurile de vibromecanisme recomandate a fi folosite în practica executării forajelor prin metoda vibroforării (în special în cazul forajelor de adâncime relativ redusă, 10-15 m se menționează că este indicat a se utiliza în special vibropercutoarele fără arcuri (cu forță de restabilire constantă). Acestea au avantajul că la nevoie pot fi ușor transformate și pentru funcționare ca vibratoare, iar alcătuirea lor constructivă este relativ mai simplă, lucru care atrage după sine condiții ușoare de întreținere și de reparații pe timpul lucrului. Se pot folosi și vibropercutoare cu arcuri (cu forță de restabilire liniară), care de asemenea prezintă unele avantaje, în special datorită faptului că asigură o mare stabilitate a regimului de funcționare, precum și posibilități ridicate de automatizare a procesului de schimbare a regimului de oscilație în timpul lucrului.

5.2.8. Instrumentele de vibroforare constau din diferite tipuri de carotiere, care în principiu sînt niște tuburi metalice cu diametre de 90-220 mm și lungime de 1000-3000 mm, prevăzute la partea inferioară cu un cuțit tăietor, iar la partea superioară cu o reducție prin care se realizează îmbinarea cu prăjina de vibroforare, sau cu vibromecanismul. În procesul de vibroforare, carotiera reprezintă elementul care vine în contact nemijlocit cu straturile de pământ în care se execută vibroforajul și asupra căruia se manifestă rezistența de vibroforare a pământului, atât sub formă de forțe de frecare cât și de rezistență frontală. De aceea, viteza de vibroforare depinde în mod substanțial și de alcătuirea constructivă și de dimensiunile geometrice ale carotierei.

5.2.9. Cercetările experimentale efectuate, precum și unele date oferite de literatura de specialitate, au arătat că reducerea rezistenței de vibroforare a pământului și prin aceste sporirea vitezei de înaintare, se poate obține și prin unele măsuri de ordin constructiv referitoare la carotieră. Astfel prin practicarea unor tăieturi

longitudinale sub formă de fante în peretele carotierei, se reduc forțele de frecare, datorită micșorării suprafeței laterale a carotierei, în contact direct cu pământul. Totodată aceste fante permit examinarea vizuală și determinarea cu precizie a limitelor de schimbare a stratificației pe adâncimea vibroforajului. Pentru ca presiunea normală pe peretele carotierei, care apare din comprimarea laterală a pământului datorită volumului ocupat în teren de peretele carotierei, să fie cât mai redusă, este indicat ca peretele acesteia să aibă grosimea cât mai mică posibil, aspect condiționat și de rezistența materialului din care se execută.

De asemenea tot pentru reducerea forțelor de frecare dintre pământ și suprafața laterală, interioară și exterioară a carotierei, se recomandă mărirea diametrului exterior al cuțitului, respectiv micșorarea celui interior, cu 2-4% față de diametrul exterior și interior al corpului carotierei. Rezistența pământului manifestată frontal pe secțiunea transversală, se reduce prin ascuțirea unilaterală a cuțitului dinspre exterior.

5.2.10. Prevederea unor măsuri suplimentare de reducere a forțelor de frecare dintre pământul din interiorul carotierei și peretele acesteia, contribuie și la preîntâmpinarea manifestării în timpul procesului de vibroforare a fenomenului de "efect de pilot". Atunci când mărimea acestor forțe depășește pe cea a rezistenței frontale manifestate pe întreaga secțiune a carotierei, pământul din interior rămâne fixat de peretele carotierei, înfigerea continuând asemănător unui pilot. Pe lângă reducerea vitezei de vibroforare sau chiar încetarea completă a înaintării carotierei, manifestarea efectului de pilot îngreunează și determinarea profilului litologic real al terenului, datorită faptului că în timpul procesului de vibroforare apare o mișcare relativă a probei de pământ din carotieră, față de pământul din exterior.

5.2.11. Cercetările și încercările experimentale, precum și lucrări cu caracter de producție, efectuate cu diverse carotiere de concepție proprie, la care s-au urmărit toate aspectele menționate anterior, au condus la stabilirea alcătuirii constructive a trei tipuri de carotiere, diferențiate și indicate a se folosi în funcție de natura pământului astfel: carotiera cu o singură fantă longitudinală continuă și cu unghi de deschidere în jur de 150° (fig.3.9 a), pentru pământuri cu coeziune mare, carotiera cu mai multe fante dispuse opus pe diametru și cu unghi de deschidere în jur de 40° (fig.3.9.b), pentru pământuri slab coezive și carotiera cu clapete (fig.3.9.c), pentru pământuri necoezive.

5.2.12. Legat de variația vitezei de vibroforare în funcție de diametrul carotierei, cercetările proprii au evidențiat că aceasta în general se reduce pe măsura creșterii diametrului. Totuși a fost pusă în evidență și o particularitate specifică, în sensul că pînă la adîncime relativ mică (2-3 m) influența diametrului asupra reducerii vitezei de vibroforare este mai puțin semnificativă, existînd chiar și tendința, ca în cazul folosirii unei carotiere cu diametru mai mare, să se obțină valori ceva mai ridicate ale vitezei de vibroforare. Aceste constatări permit să se sublinieze că pentru realizarea unei viteze de vibroforare cît mai ridicate, este indicat ca începerea vibroforării să se facă cu o carotieră de diametru mai mare, trecînd apoi în mod treptat la carotiere cu diametru mai mic, pe măsură ce adîncimea de vibroforare crește.

5.2.13. În afară de factorii analizați pînă acum, a căror efect asupra vitezei de vibroforare poate fi influențat prin unele măsuri de ordin constructiv și tehnologic, mărimea vitezei de vibroforare depinde și de adîncimea vibroforajului. Influența adîncimii asupra vitezei de vibroforare, intervine atît prin presiunea geologică care condiționează mărimea presiunii normale pe pereții carotierei și prin aceste forțele de frecare, cît și prin elasticitatea prăjinii de vibroforaj, care este variabilă cu adîncimea și care reduce din efectul vibropercuțiilor asupra instrumentului de vibroforare (carotiera).

5.2.14. Adoptînd pentru procesul de forare prin vibropercuții, ca model dinamic pentru pămînt, modelul elastico-plastic, literatura de specialitate oferă și unele relații teoretice de calcul, prin care se poate face evaluarea mărimii vitezei de vibroforare în funcție de adîncimea vibroforajului, considerînd valorile tuturor celorlalți factori ca fiind constante. Cercetările experimentale proprii, efectuate în scopul verificării unei astfel de relații (relația 2.17), au evidențiat o corespondență destul de bună (fig. 3.15), între valorile calculate ale vitezei de vibroforare și cele determinate experimental, pentru vibroforaje executate prin vibropercuții în pămînturi slab coezive și cu stratificație relativ omogenă pe adîncime. Acest lucru dovedește încă odată universalitatea modelului elastico-plastic, care în profita simplității sale oferă totuși, posibilitatea schematizării procesului de înfigere în teren a diverselor elemente, prin tehnologii bazate pe tehnica vibrării.

5.2.15. Este evident că analizarea comparativă a eficienței metodei vibroforării, față de alte procedee de execuție a forajelor, nu se poate face numai prin prisma vitezei de vibroforare, înțelegînd că viteza de înaintare a carotierei, ci trebuie avută în vedere viteza de

execuție a vibroforajului, care este determinată de timpul total consumat pentru executarea unui foraj de o anumită adâncime. De aceea unele din cercetările efectuate au fost destinate determinării raportului dintre timpul de vibroforare și timpul destinat realizării operațiilor anexe pe care le necesită executarea unui vibroforaj, precum și a modului de variație în funcție de adâncime, a acestuia.

5.2.16. Incercările experimentale efectuate în condiții de producție cu ajutorul vibroforezei UKB 2-100, adaptată de catedră, cu concursul autorului, ca model funcțional pentru funcționare prin vibropercuții și vibrații, au arătat că din timpul total necesar pentru executarea unui vibroforaj cu adâncime în jur de 10-11 m, timpul de vibroforare reprezintă în medie doar 12%, restul de 88% reprezentând timpul consumat pentru realizarea operațiilor anexe aferente (extragerea și coborîrea instrumentului de vibroforare, curățirea de pământ a carotierei, prelungirea prăjinii de foraj etc.). Din aspectele cantitative și calitative constatate, a rezultat destul de clar concluzia că, productivitatea și eficiența metodei vibroforării este condiționată în cea mai mare măsură de timpul consumat pentru efectuarea operațiilor anexe, deoarece viteza de execuție a vibroforajelor poate fi determinată în proporție de aproape 90% de mărimea acestui timp. În consecință la proiectarea și realizarea unor instalații de vibroforare, atenția trebuie îndreptată în special asupra perfecționării tehnologiei de execuție a operațiilor anexe, respectiv a mecanizării și automatizării în grad cât mai mare a acestor operații, pentru ca timpul necesar realizării lor să fie cât mai redus.

5.2.17. Referitor la modul de variație cu adâncimea a timpului destinat operațiilor anexe, din prelucrarea statistică a rezultatelor încercărilor experimentale efectuate, a rezultat că acesta corespunde unei dependențe liniare de forma $t_g = a + bH$; coeficientul "a" reprezintă timpul destinat unor operații anexe independente de adâncime și care este funcție de particularitățile tehnologiei de lucru și de destinația forajului, iar coeficientul "b" reprezintă timpul raportat la unitatea de lungime a forajului, mărimea sa depinzând în mare parte de starea tehnică a instalației și de gradul de mecanizare și de automatizare a unor operații. Studiul și testarea instalațiilor de vibroforare prin prisma legii de variație pe adâncime a timpului destinat operațiilor anexe, respectiv determinarea valorilor celor doi coeficienți (a și b), permite stabilirea mai concretă a aspectelor tehnico-tehnologice asupra cărora trebuie acționat pentru mărirea vitezei de execuție a forajelor.

5.2.18. Din cele prezentate la punctele anterioare nu trebuie să se tragă concluzia că, studiul vitezei și a timpului de vibroforare nu prezintă importanță practică. Dimpotrivă, prin intermediul vitezei de vibroforare se pot studia legitățile principale ale procesului vibroforării, necesare unei bune corelări a parametrilor vibromecanici utilizați cu natura pământului, în vederea atingerii unei adâncimi dorite a vibroforajelor.

5.2.19. Atât încercările experimentale cât mai ales lucrările de foraje, în special foraje geotehnice, executate pentru producție prin metoda vibroforării, au dovedit pe deplin avantajele tehnico-economice pe care această metodă le are în comparație cu procedeele clasice (sistemul rotativ de forare spre exemplu). Chiar în cazul folosirii unor instalații cu un grad de tehnicitate nu prea ridicat (așa cum a fost cazul și a vibroforei UKB 2-100, realizată ca model funcțional cu forțele proprii ale catedrei de Drumuri și Fundații), viteza de execuție a vibroforajelor este mult mai ridicată, față de cele obținute prin metode de forare clasice. Astfel la unele lucrări experimentale și de producție, în cadrul cărora s-au executat în paralel (pe aceleași amplasamente și în aceeași stratificație) foraje cu adâncime de 10-11 m, prin metoda vibroforării (cu vibroforeza UK 2-100) și prin sistem rotativ (cu autoforeza AB-2), viteza medie de execuție corespunzătoare primei metode, a fost de peste două ori mai mare decât cea corespunzătoare celei de a doua metode (3,12 m/h și 1,32 m/h).

5.2.20. Metoda vibroforării se poate aplica cu bune rezultate nu numai la executarea de foraje verticale, ci și a forajelor orizontale și înclinate. Studiile și cercetările efectuate privind lărgirea gamei de lucrări la care se poate aplica metoda vibroforării, completate cu conceperea și realizarea unor instalații adecvate, au condus la diversificarea domeniilor de utilizare a acestei metode (drenuri orizontale executate prin vibroforare, subtraversări cu conducte și cabluri a terasamentelor, ancorage pretensionate fixate în teren).

5.3. Contribuții la studiul gradului de deranjare a structurii probelor netulburate recoltate prin vibroforare din pământuri slab coezive

5.3.1. Deși aspectele, concluziile și constatările subliniate anterior, se referă la procesul și tehnologia executării vibroforajelor în general, în mare parte studiile și cercetările efectuate de autor în acest domeniu, au vizat aplicarea metodei vibroforării la executarea forajelor geotehnice. De aceea în cadrul acestor cercetări s-au avut în vedere și particularități specifice forajelor geotehnice, din

tre care se menționează în primul rând precizie reflectării profilului litologic real și posibilitatea recoltării de probe cu structură netulburată (sau mai corect spus un grad de tulburare pe cât posibil mai redus).

5.3.2. Compararea stratificațiilor terenului obținute de la un volum relativ mare de foraje geotehnice executate prin vibroforare, cu cele rezultate din săpături directe (sondaje deschise executate în paralel sau chiar săpăturile pentru fundații), au confirmat pe deplin concluzia subliniată și de alți cercetători, că metoda vibroforării asigură o precizie foarte ridicată a reflectării profilului litologic real, mult superioară celorlalte sisteme de forare. Diferențele maxime sesizate între pozițiile limitelor de schimbare a straturilor, corespunzătoare profilelor litologice determinate prin vibroforare (prin vibropercuții) și prin săpături directe, în general n-au depășit 5-10 cm, mărime care se poate considera fără importanță practică.

5.3.3. Necesitatea de a răspunde la întrebarea dacă metoda vibroforării poate fi acceptată fără echivoc ca procedeu de execuție a forajelor geotehnice cu recoltări de probe netulburate, a impus autorului efectuarea și a unor cercetări și încercări experimentale, privind modificările calitative și cantitative care pot interveni în structura probelor recoltate prin vibroforare, datorită influenței vibropercuțiilor sau vibrațiilor, cercetări care de asemenea în țara noastră au fost abordate pentru prima dată de către autor.

5.3.4. Unele cercetări efectuate în străinătate (Uniunea Sovietică, R.S. Cehoslovacia) privind calitatea probelor netulburate recoltate prin vibroforare, se referă cu precădere la pământuri cu coeziune și plasticitate ridicate și în foarte mică măsură la pământuri cu coeziune și plasticitate mai redusă (argile nisipoase, nisipuri argiloase, prafuri argiloase, etc.). De aceea cercetările proprii s-au axat în special pe cea de a doua categorie de pământuri, denumite convențional în lucrare "pământuri semicoezive" sau "slab coezive". Un al doilea argument pe care autorul l-a avut în vedere, când a luat în studiu posibilitatea recoltării prin vibroforare a probelor cu structură netulburată din pământuri slab coezive, respectiv calitatea acestor probe, l-a constituit frecvența relativ mare cu care aceste pământuri se întâlnesc în stratificația terenurilor de fundare, mai ales în unele zone din municipiul Timișoara și din județul Timiș.

5.3.5. Pe baza prelucrării statistico-comparative a valorilor principalelor caracteristici fizice și mecanice, determinate pe probe netulburate recoltate din vibroforaje (prin vibropercuții sau vibrații

de diverse turații), cu cele determinate pe probe recoltate manual din sonde deschise, executate în paralel pe amplasamente experimentale sau de producție, au fost stabilite următoarele concluzii și recomandări practice, privind condițiile de aplicabilitate a metodei vibroforării la executarea forajelor geotehnice cu recoltări de probe netulburate din pământuri semicoezive:

- în cazul pământurilor slab coezive (semicoezive), ca de altfel și a celor cu coeziune și plasticitate mare, stît sub aspectul vitezei de înaintare a carotierei în teren cît și al calității probelor este indicat ca vibroforarea și recoltarea probelor să se facă prin vibropercuții și nu prin vibrare pură;

- pentru ca deranjarea structurii naturale a probelor recoltate să fie ne semnificativă din punct de vedere practic, este necesar, ca pe lîngă o valoare constantă a momentului static al maselor excentrice ale vibropercutorului în jur de 300 daNcm, turația acestora să se încadreze între 700 rot/min și 900 rot/min;

- valoarea maximă a porozității naturale a pământurilor semicoezive, pînă la care procedeul de vibroforare și de recoltare a probelor netulburate prin vibropercuții nu provoacă deranjări semnificative ale structurii naturale a probelor, este în jur de 42-44% ($e \approx 0,8$), cu condiția ca și consistența să fie limitată inferior la domeniul plastic consistent.

5.3.6. Ca instrumente de vibroforare și de recoltare a probelor netulburate, au fost experimentate două tipuri de carotiere, de asemenea de concepție proprie: carotiere demontabile după generatoare și cu ștuțuri interioare, respectiv carotiere cu fante și cu ștuț frontal. Atît sub aspectul calității probelor, mai ales prin prisma manifestării efectului de pilot, cît și al vitezei de execuție a operațiilor de recuperare a ștuțurilor cu probe, a rezultat că este mai indicată folosirea celui de al doilea tip de carotiere.

5.3.7. La recoltarea probelor netulburate prin metoda vibroforării este necesar să se acorde atenție sporită nu numai mărimei vitezei medii de vibroforare pe cursă, ci în mod special modului de variație a acesteia pe lungimea unei curse, care în condițiile aceluiași strat de pământ trebuie să se caracterizeze printr-o descreștere uniformă, fără salturi bruște. Apariția unor astfel de salturi în variația vitezei de înaintare a carotierei în teren, chiar dacă acestea nu sînt caracteristice manifestării evidente a efectului de pilot, indică totuși, fie tendințe locale de manifestare a acestui fenomen, fie dereglări în regimul de funcționare al vibromecanismului, care de asemenea pot contribui la deranjarea parțială a structurii naturale a

probelor, peste limite acceptabile.

5.3.8. Cercetări efectuate ulterior în străinătate (la "Mosgogestrest" din Uniunea Sovietică), după aceeași metodă și pentru pământuri similare (argile nisipoase), respectiv pentru valori ai principalilor parametri ai vibropercuțiilor apropiate de domeniile stabilite ca optime de către autor, au confirmat pe deplin concluziile și constatările proprii, privind posibilitatea aplicării cu bune rezultate tehnico-economice a metodei vibroforării la executarea forajelor geotehnice cu recoltări de probe netulburate din pământuri semicoezive.

5.4. Contribuții la studiul compactării de adâncime a nisipurilor prin metoda vibroînțepării

5.4.1. Printre aplicațiile directe ale tehnicii vibrării la realizarea unor lucrări cu specific geotehnic și de fundații, bazate în exclusivitate pe procesele și transformările care au loc în starea structurală a pământurilor necoezive sub acțiunea vibrațiilor, se înscrie și metoda vibroînțepării, ca procedeu eficient de compactare în adâncime a terenurilor de fundare slabe sau a umpluturilor, alcătuite din nisipuri saturate. Studiile și cercetările proprii referitoare la metoda vibroînțepării au urmărit în primul rând evidențierea unor aspecte de ordin tehnologic, corelate cu unele criterii de apreciere a eficacității acestui procedeu de compactare în adâncime a nisipurilor.

5.4.2. Rezultatele cercetărilor experimentale proprii efectuate în scară de laborator, precum și observațiile și constatările făcute în continuare cu ocazia executării unor lucrări pentru producție, au permis stabilirea următoarelor concluzii și recomandări, utile în practica compactării de adâncime a nisipurilor saturate, prin metoda vibroînțepării:

- în afară de parametrii vibrațiilor, gradul de îndesare realizat prin vibroînțepare, este influențat în cea mai mare măsură de viteza de extragere a echipamentului de lucru din teren, recomandându-se o valoare a acesteia în jur de 30 cm/min., după o vibrație în adâncime timp de minim 4-5 minute;

- cantitativ efectul compactării scade odată cu creșterea gradului de îndesare inițial; creșterea medie a gradului de îndesare final față de cel inițial este de 60-75% pentru nisipuri afinatate și de 25 - 40% pentru nisipuri cu îndesare medie, ajungându-se în final la stări de îndesare apropiate;

- datorită presiunii geologice compactarea în adâncime este mai bună iar în zona de suprafață mai slabă, motiv pentru care se recomandă realizarea unei presiuni statice de suprafață, fie prin montarea unei

plăci rigide la partea superioară a echipamentului de compactare, fie prin prezența unui strat de suprafață a cărei compactare nu interesează;

- durata unui ciclu pentru obținerea unui grad de îndesare corespunzător domeniului "compact", compus din introducerea, vibrarea în adâncime și extragerea echipamentului cu o viteză în jur de 30 cm/min, rezultă aproximativ 10-15 minute pentru adâncimi de fundare de 4,0 m și 15-20 minute pentru adâncimi de 6,0 m; în aceste condiții productivitatea medie a procedurii de compactare este în jur de 150-200 m³/oră.

5.5. Valorificarea cercetărilor și perspective de dezvoltare în viitor

5.5.1. Studiile și cercetările proprii privind comportarea pământurilor la acțiuni dinamice sub formă de vibrații, pe lângă elucidarea unor noi aspecte privind factorii care influențează comportarea acestora, au condus la perfecționarea metodologiei de lucru și a instalației de forfecare dinamică cu care s-a autodotat catedra de Drumuri și Fundații. Totodată metodologia de lucru a fost aplicată și se aplică în continuare pentru studiul și determinarea cantitativă a caracteristicilor dinamice de rezistență ale pământurilor, solicitate de către diverși beneficiari pentru proiectarea și executarea unor lucrări de pământ (diguri, baraje de pământ) în zone seismice.

5.5.2. Metoda vibroforării, studiată și cercetată în detaliu de către autor, a fost aplicată în producție în mod curent de către catedra de Drumuri și fundații începând cu anul 1968, atât la executarea de foraje geotehnice cât și foraje cu altă destinație (puțuri hidrogeologice) realizându-se până în prezent un volum de peste 2000 ml de foraje. De asemenea concluziile și constatările rezultate din cercetările efectuate au contribuit la perfecționarea continuă a tehnologiei de lucru și a instalației de vibroforare, realizându-se o nouă instalație, respectiv o autovibroforeză cu vibrator acționat de motor hidraulic, cu care este dotată catedra în momentul de față. Cercetările efectuate privind diversificarea domeniilor de aplicare a metodei vibroforării, au permis folosirea acesteia în condiții tehnice și economice foarte avantajoase și la alte categorii de lucrări: subtraversări de terasamente cu conducte și cabluri, drenuri orizontale vibroforate, ancoraje pretenșionate fixate în teren. De altfel pe baza studiilor și cercetărilor întreprinse de autor, în scară de laborator și de teren, cât și a observațiilor făcute pe lucrări executate pentru producție, în cadrul catedrei au fost elaborate "Instrucțiuni tehnice pentru executarea drenurilor orizontale prin vibroforare", instrucțiuni aprobate pe plan

național și publicate în Buletinul construcțiilor nr.11/76 sub indicativul C.178-76.

5.5.3. Perfecționarea tehnologiei de execuție a compactării de adâncime a nisipurilor saturate prin metoda vibroînțepării, ca urmare a studiilor și cercetărilor de laborator efectuate, respectiv a aplicării ei în practică cu bune rezultate tehnico-economice, a condus de asemenea la includerea acestei metode în Normativul C.29-78, privind consolidarea terenurilor de fundare slabe.

5.5.4. Pe lângă aplicarea directă în practică, în mare parte rezultatele cercetărilor proprii efectuate în domeniile menționate, au devenit cunoscute în țară și în străinătate și prin publicarea lor pe parcurs în diverse reviste de specialitate, sau prin prezentarea la unele manifestări științifice interne și internaționale, sub formă de lucrări științifice elaborate în colectiv sau personal. Unele aspecte legate de tehnologia vibroforării și de studiul influenței vibropercuțiilor și vibrațiilor asupra calității probelor recoltate prin vibroforare, au fost chiar incluse în unele lucrări cu caracter monografic apărute în literatură de specialitate străină. De asemenea lucrarea "Forages geotechniques et puits hydrogeologiques executes ou moyen mecanico vibrateurs", prezentată de autor în colaborare la Conferința a IX-a de geotehnică din Italia (Genova 1968) și publicată în volumul de lucrări a acestei conferințe, a fost premiată de către MEI în anul 1969 cu premiul I pentru cercetare științifică în domeniul construcțiilor.

5.5.5. Așa cum s-a subliniat și pe parcursul lucrării, cercetările efectuate au reliefat unele aspecte și idei care deschid noi perspective de dezvoltare a cercetărilor în viitor, dintre care autorul își permite să nominalizeze următoarele:

- continuarea și dezvoltarea studiilor și cercetărilor privind proprietățile de rezistență și de stabilitate dinamică ale pământurilor, în special a celor de natură argiloasă, inclusiv diversificarea metodelor de efectuare a încercărilor experimentale;

- studiul și perfecționarea metodei vibrosondării, metodă care în momentul actual apare în literatură de specialitate doar sub formă enunțiativă și care în principiu constă în stabilirea unor corelații cantitative, între viteza de vibroforare și caracteristicile geotehnice ale pământurilor;

- studiul posibilităților de mecanizare și de automatizare a operației de urmărire a variației vitezei de vibroforare, precum și a altor operații anexe vibroforării, lucru care permite atât stăpânirea mai bună a unor fenomene fizice caracteristice procesului de vibroforare, cât și ridicarea productivității metodei vibroforării.

B I B L I O G R A F I E

1. BARKAN, D.D., -Osnovanie problemf dinamiki osnovanii i fundamentov "Osnovania, fundamentf i mehanika gruntov", nr.6 1965, Moskva
2. BARKAN, D.D., -Dinamika osnovanii i fundamentov -M, Stroivoienmoriizdat, 1949, Moskva.
3. BARKAN, D.D., SEHTER, O.Ia., -Ob osadkah, vîzîbaemîh deistviem dinami ceskih nagruzok, -Sb.44 NII Osnovanii "Dinamika gruntov", Gosstroizdat, 1961, Moskva.
4. BARKAN, D.D., SEHTER, O.Ia., -Teoria poverhnostnogo uplotnenia grunta: Sb.51, NII Osnovanii "Primenenie vibraçii v stroitelstve", 1962 Moskva.
5. BARKAN, D.D., -Vibrometod v stroitelstve, - Gosstroizdat, 1959, Moskva
6. BARKAN, D.D., -Foundation engineering and drilling by the vibration method, -Proceedings IV Int.Conf.on soil Mech, 1957.Londra
7. BASKATOV, D.N., VASILIEV, A.V., ROMANOV, V.S.-Vibrationoe burenie pri injenerno-geologiceskih izîkaniiah -"Razvedka i ohrana neдр", Nr. 1961, Moskva.
8. BAZANT, Z., DVORAK, A., -Effects of vibrations on Sand and the measurement of dynamik properties, - Proceedings of the 6-th Int.Conf on soil Mech.and Found.Engineering, Montreal, 1965
9. BERNHARD, R.K., -Fluidization phenomena in soils during vibrocompactions and vibro-pile-driving and- pulling, 1967, Hanover, New Hampshire.
10. BIHOVSKII, I.I., -Osnovf teorii vibrationnoi tehniki, "Masino-stroienie", 1959, Moskva
11. BLEHMAN, I.I., -Issledovanie proçesa vibraçionnoi zabiski svai i spuntov - Injenernfi sbornik, A.N. SSSR, Nr.7, 1968, Moskva
12. BLEHMAN, I.I., -Semosinkronizaçia vibratora nekatorîh vibrationîh maşin - Injenernfi sbornik, A.N. SSSR, Tom.XVI, 1953, M.
13. BUZDUGAN, Gh., -Dinamica fundaçiiilor de maşini. Ed.Academiei RSR 1968, Bucureşti.
14. CASSAGRANDE, A., SHANON, W.Z., -Strenght of Soil under dynamik load Proceedings, ASCE, Nr.4, vol.74, 1948.
15. COSTIN, I., -Instalaçii pentru foraj de mică adîncime, Ed.tehn. 1972, Bucureşti.
16. DIMA, Gh., - Compactarea maselor de nisip la acţiunea solicitărilor dinamice, - Buletin INCERC- ISCAS, 1962, Bucureşti.
17. DIMA, Gh., -Studiu asupra modificării caracteristicilor fizico-mecanice ale maselor de pămînt supuse acţiunii vibraçiiilor. Teză de doctorat, Institutul de Construcţii Bucureşti, 1965.
18. EASTWOOD, W., -Model investigations concerned with driving piles by vibrations, Civil. Eng.and Public Workes, Review, vol.50, nr. 584, 1955, SUA.
19. EPREMOV, M.G., -Vibrometod prohodki geologo-razvedocinîh scvajin.- Gosstroizdat, 1958, Moskva.
20. EPSTEIN, B.P., -Osnovf tehnologii burenia razvedocinîh scvajin. Ugletehizdat, 1953, Moskva.

- 21.ERMOLAEV,N.N., SENIN,N.N.,-Soprotivlenie grunte sdvigu pri kolebaniah,-"Osnovannia, fundamentî i mehanika gruntov,"nr.1,1968 Moskva
- 22.ERSOV,V.A.,-SE-DIN-I, -Soprotivlenie sdvigu vodonasîpegnih peskov zavisimosti ot uscarenia kolebanii - Docladî, XX, Nauchnoi Conferenții L.I.Si, 1962, Leningrad
- 23.FLORINA,M.V.,-Ub usloviah predelnogo ravnovesia jestkogo ştampa na uprugom osnovanii pri deistvii peremenih nagruzok,- Izv.A.N., SSSR, OTN,"Mehanika i maşinostroenie", nr.6, 1962.
- 24.GIEMANSKI,A.,POLAC,A.,-Wibrator wiertniczy-1963, Katowice
- 25.GILDENBLAT,G.D.,EPREMOV,M.G.,REBRIC,B.M.,-K voprosu ot otbore obraztov nenaruşennoi structurî vibrometom,-"Osmovania, fundamentî i mehanica gruntov, nr.1, 1962, Moskva.
- 26.GUMENSKII, B.N.,KOMAROV,N.S.,-Vibroburenie gruntov, Izd-vo Minist. Kommunalnogo hoziaistva, RSFSR, Moskva.
- 27.HAIDA,V.,-Drenuri orizontale vibroforate folosite la consolidări în terenuri alunecătoare şi la puşuri de captare a apei. -Lucr. Conf.a III-a de Geotehnică şi fundații, Timişoara, vol.I.,1975
- 28.HAIDA,V.,GAGIU,A.,-Considerații asupra calității consolidării cu coloane de balast a terenurilor de fundare alcătuite din nisipuri afînate saturate.- Bulet. St. şi tehn. al Inst.Polit."Traian Vuia"Timişoara, vol. de lucr."Cîntarea României", 1977.
- 29.HAIDA,V.,BUTUMAN,V.,KELLER,E.,-Unele aspecte privind rezistența la forfecare dinamică a pământurilor, Vol.lucr.a sesiunii ştiințifice de la I.P.Cluj-Napoca oct.1978.
- 30.HAIDA,V.,-Considerații asupra rezistenței la forfecare dinamică a pământurilor- Referat I, doctorat, Inst.Politehnic Iaşi, 1971
- 31.HAIDA,V.,-Unele probleme actuale ale calculului fundațiilor de maşini - Referat II, doctorat, Inst.Polit.Iaşi 1973.
- 32.HAIDA,V.,DONCA,V.,PETROVICI,V.,-Studiu privind folosirea ancorajelor pretensionate la fundarea stîlpilor LEA 400 KV.Contr.nr.36/76 beneficiar Trustul Electromontaj Bucureşti, 1976
- 33.HARET,R.,-Influența vibrațiilor asupra transformărilor sol-gel la argile tixotropice. Rezumatul tezei de doctorat, Inst.Pol.Bucureşti, 1972.
- 34.HRIDY, I.,-K odbery vzorku pri vibračnim vrtami-"Geologisny Pruzkum", nr.4, 1965, Praga.
- 35.IGNUT,R.,PUCHALSKY,R.,-Characteristica dokumentacji geologiczno-inzynierskich wykony.wanuch w"Geoproject"- Fiziografia,geologia i geodezja na ustugach budownictwa", 1962, Warszawa.
- 36.IORDACHE,G.,-Poraje speciale, Ed.Tehnică, Bucureşti
- 37.IVANOV,P.L.,-Razjijenie pescianih peska,- Gosenergoizdat, 1962 Leningrad
- 38.JONHNSON,R.W., ELDON YODER, -Pore Pressure and strenght characteristics of Sand-Soil Mixtures under Repeated Dynamics Loads.-Proc of the 2 Asian Conf.on Soil Mech., 1963, Japonia.
- 39.KAWAKAMI,P., OGAWA,S.,-Strenght and Deformations of Compacted Soil Subjected to Repeated Stress Applications.Proc of the 6 Int. Conf.on Soil Mech.and Pound. Engineering,1965, Montreal.
- 40.KERNSENBAUM,N.I., MINAEV,V.I.,-Rascetnie parametri vibroudornogo metoda soorujenia perehodov- "stroitelstvo truboprovodov", nr.6 1962, Moskva.

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIŞOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

41. KIRKHAM, R.H., -The Compaction of Converte by surface vibration, - Conf sur la tehn.de compactage par vibr., 1963, Budapesta
42. KOLOMENSKII, N.V., -Obscia metodika injinerno-geologiceskih issledovanii - "Nedra", 1968, Moskva.
43. KOLOMENSKII, N.V., -O vozmojnosti ispolzovania teorii veroianostei dlia rešenja necatorih zadaci injenerno geologii, -Vestnic MGU, seria "Geologia" nr.2, 1968, Moskva.
44. KRASNIKOV, N.D., -Dinamiceskie svoistva gruntov i metodii ih predele- nia - Stroizdat, 1970, Leningrad.
45. KUNIK, L.I., REBRIC, B.M., -Tocinosti opisania razreza pri razlicnih sposobah burenia injenerno-geologiceskih scvagin, - "Razvedka i oh- rana nedr", nr.3, 1972, Moskva.
46. KUŞULI, M.I., SLEAHTIN, A.V., -Despre teoria înfigerii prin vibraţii a unei bare cilindrice într-un mediu elasto-plastic, -Trad.din lim- ba rusă, Ed.Acad. RSR, 1955, Bucureşti.
47. LEHR, H., -Metode noi în proiectarea şi executarea fundaţiilor, Ed. Tehn, 1963, Bucureşti.
48. LIAHOV, G.M., -Osnovii dinamiki vzriva v gruntah i jidkih sredoh, - "Nedra", 1964, Moskva.
49. LICIKO, Iu., M., -Opredelenie fizico-mehaniceskikh svoistv gruntov pri vibrationnom burenii injenerno-geologiceskih scvajin, -Osnovanie, fundamentii i mehanika gruntov, nr.3, 1972, Moskva.
50. LOBASOV, B.P., -Glubinnoe uplotnenie pesceanih osnovanii pod vodoi, - Sb.statei "Novie sposobi i vibrationnoe oborudovanie dlia proizvod- stva spezialnih zemlianih rabot", 1961, Leningrad.
51. LORENZ, H., -Grundbau-Dynamik, Springer Verlag, 1962, Berlin.
52. LUKOMSKII, S.I., -Prujinie vibromotii i ih osnovanie parametrî, . NIIINP, Stroidorcomunmaş, 1966, Moskva.
53. LUSKIN, I.Ia., -Bestranşeiniaia prokladka trub sposobom vibroprokola, -Sb.statei "Novie sposobi i vibrationnoe oborudovanie dlia proizvod- stva spezialnih zemlianih rabot", 1961, Leningrad.
54. MAJOR, A., -Berechnung und Planung von Maschinen-und Turbinenfunde- menten, 1961, Berlin.
55. MAIOR, N., PAUNESCU, M., -Despre compactarea pământurilor nisipoase cu ajutorul vibraţiilor, - "Revista Transporturilor", nr.10, 1963, Bucureşti.
56. MASLOV, N.N., -Uslovia ustoičivnosti vodonasiscenih peskov i glinih, Gosenergoisdat, 1959, Leningrad.
57. MILADINOV, D.V., -Dynamics properties of cohesive soils, -Proc.of the thierd Europ.Symp.in Earthquake Eng., Sept.1970, Sofia.
58. NEIMARK, I., -Teoria vibrationnogo pogrujenia i vibrovidergania, - Injenernii sbornik, A.N., SSSR, Tom, XVI., 1953, Moskva.
59. NEIMARK, I., -Teoria vibrationnogo progrujenia spuntov, -"Ghidrotehni- ceskoe stroitelstvo", nr.4, 1952, Moskva
60. OLSON, R.F., KANE, H., -Dynamic shearing Properties of Compacted clay at High Pressures, -Proc.of the 6 Intern.Conf.on soil Mech.and.Found Eng., 1965, Montreal.
61. PAJI, V.M., SEIKOV, M.L., -Primenenie vibroburenia pri izihanih na stro- itelnih ploşciadkah, -"Osnov., fundamentii i mehanika gruntov", nr5/1960

62. PALIANOV, P.F., -Vibratorî v razvedocinom bureniî, - Gosgeoltehzdat 1965, Moskva.
63. PANACHANATHAN, S., -Laboratory and in-situ Determination of Natural Asian Regional Conf.on Soil Mech.and Found., Eng.vol.I/63 Japan
64. PAUNESCU, M., -Folosirea vibrațiilor la executarea unor lucrări de fundații, -Ed.Tehn, 1966, București.
65. PAUNESCU, M., -Tehnici de fundare prin vibrare, Raport la subtema III - Lucrările Conf.a III-a de geotehnică și fundații, vol.II 1975, Timișoara.
66. PAUNESCU, M., -Foundations Made by Vibratory Equipment, -Proc.of the ninth Intern.Conf.on soil Mech.and Found.Eng., 1977 Tokyo.
67. PAUNESCU, M., VELCU, G., HAIDA, V., -Cercetări asupra rezistenței la forfecare a nisipurilor supuse vibrării, Bul.St.și Tehn.al Inst. Polit."Traian Vuia" Timișoara, 1967, Tom.12(26) Fasc.1.
68. PAUNESCU, M., -Contribuții la studiul procesului de înfigere și smulgere prin vibrare a piloților, tuburilor și palplanselor, -Teză de doctorat, 1962, Inst.de Construcții București.
69. PAUNESCU, M., -Infigerea piloților și palplanselor prin vibrare. Date experimentale asupra forțelor de frecare. -Rev."Hidrotehnica" nr.5, 1962, București.
70. PAUNESCU, M., VELCU, G., HAIDA, V., -Unele rezultate obținute la înfigerea și smulgerea prin vibrare a piloților de beton armat. Rev. construcțiilor și a materialelor de construcții, nr.5/1965, București.
71. PAUNESCU, M., HAIDA, V., BUTUMAN, V., -Forschungen über Erdeigenschaften unter Dynamischen Beanspruchungen, 5th Danube European Conference on Soil Mechanics and Found. Eng. CSSR, Bratislava, 5-7 sept. 1977.
72. PAUNESCU, M., BUTUMAN, V., -Studiu privind comportarea pământurilor din terenul de fundare și din corpul barejului Ighiș-Medieș sub efectul vibrațiilor, Contr.nr.134/1975, Benef.ISPH București.
73. PAUNESCU, M., -Relații de calcul pentru înfigerea și smulgerea prin vibrare a piloților, palplanselor și tuburilor., Bul.șt.și tehn.al Inst.Pol."Traian Vuia" Timișoara, Tom.7, 1962.
74. PAUNESCU, M., SCHEIN, T., BUTUMAN, V., VASILONI, N., -On foundation of buildings on piles made by vibrations. -Prof.of the European Conf. on Soil Mech., and Found.Eng., 1976, Viena.
75. PAUNESCU, M., IZDRAILA, V., HAIDA, V., -Folosirea vibrațiilor pentru executarea unor noi lucrări de fundații, Rev."Hidrotehnica, gospodărirea apelor, meteorologia", vol.9, nr.5, 1964, București.
76. PAUNESCU, M., ROSA, S., ALDEA, A., ROGNA, M., -Contribuții privind consolidarea terenurilor slabe prin piloți de balast multivibropreseți "Reviste construcțiilor" nr.2, 1975 București.
77. PAUNESCU, M., VELCU, G., HAIDA, V., -Executarea piloților de nisip prin vibrare în scopul desecării unei zone mlăștinoase, "Reviste Transp" nr.5, 1965, București.
78. PAUNESCU, M., VELCU, G., HAIDA, V., -Compactarea în adâncime a nisipurilor saturate prin folosirea vibrației. Rev. Noutăți pe șantierele de construcții M.I.Ch", nr.8, august 1966, București.
79. PAUNESCU, M., GUTESCU, D., HAIDA, V., VELCU, G., -Influența vibrațiilor asupra unor caracteristici geotehnice ale probelor recoltate prin vibrare, -Rev."Hidrotehnica, Gospodărirea apelor, meteorologia", 12, nr.2, 1967, București.
80. PAUNESCU, M., GUTESCU, D., HAIDA, V., VELCU, G., -Lucrări de foraje executate prin tehnica vibrării - Rev."Hidrotehnica, Gospodărirea apelor, Meteorologia", nr.6/1968, București.

81. PAUNESCU, M., HAIDA, V., -Forages geotechnique et puit hydrogeologique executes au moyen des mecanismes vibrateurs, IX. Covegno di Geotecnica, Ottobre, 1968, Genova.
82. PAUNESCU, M., HAIDA, V., VELCU, G., -Folosirea vibrării pentru subtraversarea cu conducte și cabluri a terasamentelor, "Rev." Hidrotehnica Gospodărirea apelor, Meteorologia", nr.4, 1968, București.
83. PAUNESCU, M., HAIDA, V., VELCU, G., -Die Anwendung der Rüttlung bei der Einbringung von unterirdischen Röhren quer zu Strassen und Dämmen Donau Europ. Konf., 1968, Wien.
84. PAUNESCU, M., HAIDA, V., -Rüttelmechanismen in Verkehrs- und Tiefbau, -Bauplanung-Bautechnik, 23 Jg. Heft. 9 Sept. 1969, Berlin.
85. PAUNESCU, M., HAIDA, V., STOIAN, C., -Drenuri orizontale executate prin vibroforare, Studii și cercetări, contr. nr. 13398/1972, Plan de stat nenom. Poz. 132/4, Benef. M.C. Ind. București, 1973 și 1977.
86. PAUNESCU, M., HAIDA, V., -Tehnologia de execuție a drenurilor orizontale prin forare-studii și cercetări, Contr. nr. 8614/1972, Beneficiar ISCIF București, 1974.
87. PAUNESCU, M., HAIDA, V., STOIAN, C., PAISANU, V., -Studiu privind tehnologia de execuție a ancorajelor la lucrările de protecție și consolidare a Canelului navigabil Dunărea-M. Neagră, contr. nr. 31/1975. Beneficiar IPTANA București, 1975.
88. PAUNESCU, M., VASILONI, N., -Foreje orizontale executate prin vibrare Rev. "Hidrotehnica" nr. 8, 1971, București.
89. PERLEI, E. M., -Ob izmenenii istinnih harakteristik vnesnego i vnutrennego trenia dvijenija gruntov pod vozdeistvien vibrații, -Trudí VNIIGS, vîp. 17, Stroiizdat, 1964, Leningrad.
90. PERLEI, E. M., -O vlianii vibrații na síli vnelnego trenia grunta, -Osnov., fundamentí i mekhanika gruntov, nr. 3, 1964 Moskva.
91. PREOBRAJENSKAIA, N. A., -Eksperimentalni dannie o pogrujenii i izvlečenii spunta i svai vibrirovaniem v pescianih gruntah, -Sb. N. I. I. Osnov. "Dinamika gruntov" nr. 32, 1958, Moskva.
92. PREOBRAJENSKAIA, N. A., SAVCENKO, I. A., -O vlianii vibrații na soprotivlenie glinistih gruntov sdvigu, Sb. N. I. I. Osnovanii "Dinamika gruntov", Nr. 32 Gosstroizdat, 1958, Moskva.
93. PROHASKA, L., -Prüfung und Forschungsergebnisse an Rüttelverdichtern in CSR- Conf. sur la technique de compactage par vibration, 1963, Budapest.
94. PROKOVSKI, G. I., -Acțiunea șocurilor și exploziilor în medii deformabile (trad. din l. rusă), 1957, Moskva.
95. RAHMATULIN, H. A., DEMIANOV, Iu. A., -Pricinost pri intensivnih kratkovremennih nagruzkah, -Fizmatghit, 1961, Moskva.
96. RAHMATULIN, H. A., SAGOMANIAN, I. Ia., ALESEEV, N. A., -Voprosi dinamiki gruntov, -Izd-vo MGU, 1964, Moskva.
97. REBRIK, B. M., -Vibratsionnoe burenie scvajin, Izdatelstvo, "Nedra" 1974, Moskva.
98. REBRIK, B. M., -Izmenenie fiziceskih svoistv gruntov v obraztah pri ih otbore vibrometodom i burevîh scvajin, Trudí Ghidroproekta, vîp. 11, 1964.
99. REBRIK, B. M., -Vibrotehnika v burenii, "Nedra", 1966, Moskva.
100. REBRIK, B. M., -Burenie scvajin pri injenerno-geologiceskih iziskaniiah "Nedra", 1968, Moskva.
101. REBRIK, B. M., -Vibrotehnika dlia burenia, -Gosgeoltekhizdat, 1978 Moskva.

102. ROSS ESSON, D.M., -Pile drilling by vibration.-"Civil Engin. and Public Workes Review" vol.58, 1963, SUA.
103. Rumşiski, L.Z.-Prelucrarea matematică a datelor experimentale (trad din lb.rusă) Ed. Tehnică Bucureşti, 1974.
104. SANDERS, H.E., -Sediment sampling with a vibrodrill, "Geological Society America speciale Papers, Nr.73, 1963. SUA.
105. SANDERS, J.E., -Vibro-piston core sampler, Russian solution to underwater sand-coring problem, "International Geology Review", vol. 2, nr.2.1960, SUA.
106. SANDERS, J.E., YMBRIE, J., -Continuous cores of bahamian calcareous sands made by vibrodrilling, Geological Society of America, Bulletin", vol.74, Oktober, 1963, SUA.
107. SAVCENKO, I.A., -Vlianie vibrații na vnutrenie trenie v peskah. Sb NII Osnov., "Dinamika gruntov", nr.32, Gosstroizdat, 1958, Moskva.
108. SAVINOV, O.A., -Ob osnovah metodiki eksperimentalnogo opredelenia harakteristik uprugnosti grunta, v hodiashi v rasceti fundamentov pod maşini, -Trudî VNIIGS "Vopr. mehaniki gruntov" nr.4, 1953, Moskva
109. SAVINOV, O.A., -Sovremennie konstrukcii fundamentov pod maşini i ih rascet, -Stroizdat, 1964, Moskva,
110. SAVINOV, O.A., LUSKIN, I. Ia., -Vibratsionnye metod proguleniia svai i ego primeneniie v stroitelstve, Gostroizdat, 1960, Moskva.
111. SCHMID, W.E., KITOGO, S., -Shear strenght of Clays and Safety Factors as a Founctions of Time, -Proc. of the sixth Intern. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. vol. I. 1965, Montreal.
112. SCURENKO, N.S., -Experimentalnye dannie o vlianii vibrații na so-protivleniie gruntov rezaniu, Sb. NII, Osnov. "Dinamika gruntov" Nr.32, Gosstroizdat, 1958, Moskva.
113. SEED, H.B., -Soil strenght during erathquake, Proc. 2. nd. World Conf. Earth. Eng. 1960, Tokyo-Kyoto.
114. SEED, H.B., CHAN, C.K. -Effet of the Stress history and fregvency of Stress Application on Deformation of Glay Subgrades under Repeated loading Highway Research Board, Proc. 1958, vol.37, SUA.
115. SEED, B.H., CHAN, C.K. -Clay strenght under eartquake loading conditions. Journal of the Spil Mech. and Found. Soc. of Civil Eng. SN 2, 1966. SUA.
116. SILAS, GH., PAUNESCU, M., GROSANU, I., NICHITA, I., HAIDA, V., ş.a. -Executarea forajelor geotehnice prin metoda vibrării". Rev. "Hidrotehn. Gospod. apelor, Meteorologie", nr.8, 1966, Bucureşti.
117. SILAS, Gh., RADOI, M., BRANDEU, L., KLEEP, H., HEGEDUS, A., -Culegere de probleme de vibrații mecanice, Vol. II. Sisteme vibropercutante, Ed. tehn. 1974, Bucureşti.
118. SILAS, Gh., PAUNESCU, M., GROSANU, I., BRANDEU, L., GLIGOR, T., -Vibropercutator pentru înfigerea elementelor în pământ, -Bul. şt. şi tehn. IPT vol.9, fasc.2, 1964
119. SILION, T., -Geologie, geotehnică şi fundații, vol. I şi II, 1971, Inst. Politehnic Iaşi.
120. STAVNITER, L.P. -K teorii ploskih voln naptiajenii v uprogo plasticeskoi srede, -Sb. nr.54, NII Osnov. "Osnov. i fundamenti" Stroizdat 1964, Moskva.
121. STANCULESCU, I., PERLEA, V., BALLY, R.J., ANTONESCU, I.P., -Redresarea unui castel de apă fundat pe loess şi consolidarea terenului de fundație sensibil la înmuiere, -Stud. de geot., fundații şi constr. hidrotehnice, CSA, vol. IX, 1965, Bucureşti.
122. STOENESCU, A., SILAS, Gh., -Mecanică teoretică, Ediția III-a. Ed. Did. şi pedag., 1953, Bucureşti.
123. STOIANOVICI, T., -Informare asupra unei instalații vibratoare de foraj realizată de colectivul geotehnic IPTIU Bucureşti-Discuții conf. III de Geoth. şi fundații, vol. II, 1975 Timişoara.

124. SVETINSKII, E.V. - Glubinnoe uplotnenie slabih gruntov peschianimi svaiami - Gosstroizdat, 1957, Moskva.
125. SEHTER, O.Ia., - Laboratornaia ustanovka dlia opredelenia uprugih i disipativnih svoistvo grunta dinamiceskim metodov, Sb.nr.51, NII, Osnovanii, 1962, Moskva.
126. SEHTER, O.Ia., K voprosu teorii vibropogrujenia, Sb.,nr.32, NII Osnovanii "Dinamika gruntov", 1958, Moskva.
127. STRASSER, Ed., - Cercetarea proprietăților pământurilor pe șantier prin prelevarea probelor cu ajutorul vibrației., - Sesiunea tehnico științifică "Probl.actuale ale tehnicii fundațiilor în R.S.R." mai, 1967, București.
128. TAKASHI WATANABE - Compaction of Sandy Ground by vibration. Vibroflotation and Related Problemes, Proc.of the Second Asian Reg. Conf.on Soil Mech.and Found.Eng. vol.I, 1963, Japan.
129. TAKENDA, J., TACHIKAWA, H., - Mechanical Properties of Sand Subjected to Dynamic Load by Forting, - Proc.of the Second Asian Regional Conf.on Soil Mech.and Found.Eng., vol.I, 1963 Japan.
130. TAYLOR, P.W., BACCUS, D.R. - Dynamic cyclic strain test on a clay - Proc of the 7th Intern Conf.on Soil Mech.and Found.Eng. 1969, Mexico
131. TARENETKII, L.N., - Experimentalne issledovanie gorizontalnogo vibroudarnogo progavlivanie trub., - "Osnov., fundam. i mech. gruntov" nr.1, 1967. Moskva.
132. TROFIMENKOV, Iu., G., VORBKOV, L.A., SMIRNITKII, L.I. BENEDIKTOV, A.A., - Polevnie metodî issledovania stroitelnih svoistvo gruntov - Stroizdat, 1964, Moskva.
133. TBITLIN, M.G. - Povîšenje pogrujaiușei sposobnosti vibrometov dli zabivki v grunt trubciatih elementov. Osnovania, fundamentî i mehanika gruntov, nr.3, 1973, Moskva.
134. VALISEV, N.T., - Uscet nekotarih osobenostei seismicescogo regima pri oțenke stepeni dinamiceskoi ustoiçivosti peschianih mass v osnovanii i v țele ghidrotehniceskikh soorujenii. "Naucinoe soobșenie", 1959, Leningrad.
135. VASILIEV, A.V., - Izmenenie structurî peschiano-glinistih gruntov pri vibrationnom burenii. Bul. Naucino-tehniceskoi informații, nr.7 (41), Gosgeotehizdat, 1962, Moskva.
136. VASILIEV, A.V., MEDVEDEV, D.P., KOZLOVSKII, V.I., - Ob otbore monolito gruntov vibrationim sposobov, - "Osnovania, fundamentî i mehanika gruntov", nr.3, 1973, Moskva.
137. VOVK, A., CERNII, G.I., MIHAILIUK, A.V., GUNDAREV., K.A., - Procinostie svoistva suglinkov clajnosti pridinamiceskom negrujenii - "Osnov. fundamentî i mehanika gruntov" nr.5, 1973, Moskva.
138. VOSKRENENSKII, F.F., ș.a. - Vibrationnoe i udarno-vrasçiatelnoe burenie, Gostoptehizdat, 1961, Moskva.
139. WHITMAN, R.V., HEABY, K.A., - The Behaviour of soils under Transient Loading, I. Soil. Mech, and Found. Div. Proc. Americ. Soc. Civil Eng., 1962, 88, No, Si, SUA.
140. x^xx - Trudî Ghidrotehnika, nr.10, 1963, Moskva.
141. x^xx - Piloty vuis . Pozemne stavitelstvo, generalne riaditelstv Bratislava.
142. x^xx - Parth boring equipment BSP- Calwed Limited, 1966, London
143. x^xx - Vibration pile hammer - Mitsubishi neavy industries, Ltd 1965, Tokyo.
144. x^xx - C.178 - Instrucțiuni tehnice pentru executarea drenurilor orizontale prin vibroforare", Buletinul Construcțiilor nr.11 (12), 1976, București, (C.178-76)

C U P R I M S

	Pag.
Cap.I. CONSIDERATII PRIVIND COMPORTAREA PAMINTURILOR LA ACTIUNI DINAMICE	1
1.1.Generalități	1
1.2.Influența acțiunilor dinamice asupra unor caracteristici geotehnice ale pământurilor	7
1.2.1.Influența vibrațiilor asupra rezistenței la forfecare a pământurilor necoezive	7
1.2.2.Influența vibrațiilor asupra rezistenței la forfecare a pământurilor coezive	23
1.2.3.Compresibilitatea pământurilor solicitate la vibrații	32
1.3.Aplicarea tehnicii vibrării la executarea unor lucrări de geotehnică și fundații	37
1.4.Stadiul actual al aplicării tehnicii vibrării la lucrări de vibroforare	49
1.4.1.Lucrări și sisteme de feraj	49
1.4.2.Stadiul actual de dezvoltare și de aplicare a metodei vibroforării pe plan mondial	51
1.4.3.Avantajele metodei vibroforării și concluzii privind necesitatea studiului ei	53
Cap.II.BAZELE FIZICE SI TEORETICE ALE PROCESULUI SI TEHNOLOGIEI DE VIBROFORARE A PAMINTURILOR	57
2.1.Fenomene fizice caracteristice procesului de infiltrație și extragere prin vibrații și vibropercuții	57
2.2.Considerații teoretice asupra procesului de ferare prin vibropercuții	60
2.2.1.Calculul vitezei de ferare prin vibropercuții	61
2.2.2.Lungimea optimă a marșului la ferarea prin vibropercuții	67
2.3.Vibromecanisme și instrumente de vibroforare	71
2.3.1.Vibromecanisme	71
2.3.2.Instrumente de vibroforare	85
2.4.Tehnologia vibroforării și domeniile de folosire	88
2.4.1.Feraje verticale	88
2.4.2.Feraje orizontale	91
Cap.III.CERCETARI EXPERIMENTALE PRIVIND PROCESUL SI TEHNOLOGIA VIBROFORARII	96
3.1.Vibromecanisme, instalații și instrumente de vibroferare folosite	96
3.1.1.Vibromecanisme	96

3.1.2.Instalații de vibroferare	100
3.1.3.Instrumente de vibroferare(carotiere)	105
3.2.Aspecte cercetate prin încercări experimentale	107
3.2.1.Influența parametrilor vibromecanismului asupra vitezei de vibroferare	108
3.2.2.Influența diametrului carotierei asupra vitezei de vibroferare	118
3.2.3.Influența adâncimii forajului asupra vitezei de vibroferare	121
3.2.4.Raportul dintre timpul de vibroferare și timpul consumat pentru realizarea operațiilor anexe	125
3.3.Observații și constatări rezultate în urma realizării unor lucrări de vibroferare pentru producție	135
Cap.IV.PARTICULARITATI SPECIFICE ALE EXECUTARII FORAJELOR GEOTEHNICE CU RECOLTARI DE PROBE NETULBURATE PRIN METODA VIBROFORARII	144
4.1.Considerații generale	144
4.2.Precizia reflectării profilului litologic real	146
4.3.Deranjarea structurii naturale a probelor recoltate prin vibroferare	148
4.4.Studii și cercetări experimentale privind influența vibrațiilor și vibropercuțiilor asupra modificării caracteristicilor geotehnice ale probelor recoltate prin vibroferare	152
4.4.1.Scopul și obiectul cercetărilor	152
4.4.2.Metodica de efectuare a cercetărilor experimentale	153
4.4.3.Prelucrarea rezultatelor	159
4.4.4.Constatări și concluzii	168
Cap.V. CONCLUZII FINALE	181
BIBLIOGRAFIE	197
CUPRINS	204