

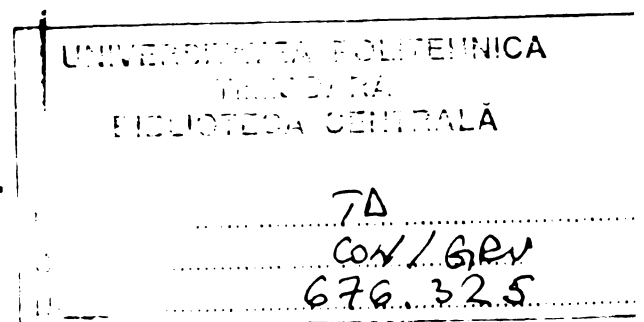
INSTITUTUL POLITEHNIC „TR.VUIA” TIMIȘOARA
FACULTATEA DE CONSTRUCTII

ing. AGNETA GRUIA

CONTRIBUTII LA CERCETAREA TERENULUI „IN SITU” PRIN METODA PENETRARII DINAMICE CU CON

TEZĂ DE DOCTORAT

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA „POLITEHNICA”
TIMIȘOARA



CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC
PROF. DR. ING. MARIN PĂUNESCU

TIMIȘOARA 1979

P R E F A T A

În condițiile realizării mărețului Program al Partidului Comunist Român de făurirea societății socialiste multilateral dezvoltate și de înaintarea României spre comunism, cercetarea științifică contribuie la soluționarea mai rapidă a problemelor complexe de care depinde dezvoltarea în ritm rapid a forțelor de producție ale țării, creșterea eficienței activității economice, sporirea bunăstării poporului.

Inscriindu-se prin tematica abordată, pe linia cercetărilor menite să răspundă imperativelor majore ale progresului economic și social, lucrarea de față contribuie la introducerea și generalizarea în țara noastră a metodei de cercetare a terenurilor "in situ" prin sondaje de penetrare dinamică cu con, ce oferă avantaje tehnico-economice concretizate prin prospectarea ușoară și amănunțită a terenului de fundare, reducerea cheltuielilor și a timpului de execuție.

Pentru realizarea dezideratelor menționate, autorul a desfășurat un vast program de studii și cercetări experimentale pe baza cărora au fost elaborate instrucțiunile tehnice C₁₇₆₋₇₅ [131], s-au conceput și adus îmbunătățiri aparatului de penetrare, finalizate prin omologarea unor penetrometre dinamice (care se vor produce în serie) urmînd să se asigure dotarea cu aparatură a unităților de profil, permițînd astfel aplicarea generalizată.

Lucrarea de față cuprinde 5 capitole din care în primele două sînt redată în mod sintetic aspectele tratate în literatura de specialitate și direcțiile de cercetare în domeniul prospectării terenului "în situ" prin sondaje de penetrare dinamică cu con. În capitolele 3 și 4 sînt prezentate studiile și cercetările experimentale proprii și sînt reliefate contribuțiile autorului în domeniul abordat.

Lucrarea se încheie cu concluzii finale axate în mod sintetic pe direcțiile în care autorul a adus contribuții, capitol în care sînt punctate și aspecte ce necesită a fi studiate în viitor.

Pe tot parcursul perioadei de efectuare a studiilor experimentale și de elaborare a tezei de doctorat, autorul a beneficiat de sprijinul direct, deosebit de atent și de înaltă competență din partea prof.dr.ing. Marin Păunescu, conducătorul științific a lucrării de doctorat, fapt pentru care își exprimă și pe această cale deosebita recunoștință și sincere mulțumiri. Autorul mulțumește de asemenea întregului colectiv al catedrei de Drumuri și fundații - cadre didactice și personal tehnic - care i-a creat climatul propice pentru desfășurarea activității de cercetare și i-a acordat sprijin pe tot parcursul elaborării lucrării.

CAPITOLUL I

ASPECTE PRIVIND CERCETAREA TERENULUI DE FUNDARE

"IN SITU"

1.1. Importanța cercetării terenului de fundare "in situ"

Cercetarea terenurilor constituie una din fazele cele mai importante necesare elaborării proiectului infrastructurii construcțiilor și a lucrărilor din pământ. Ea furnizează date geologice, geomorfologice, geotehnice și hidrologice ale amplasamentului care se obțin prin cercetarea la suprafață a terenului, explorarea în adâncime a acestuia și prin încercări efectuate în laborator și la fața locului.

Metodele zise "clasice de investigație" cuprind lucrări de sondaje și foraje pentru explorarea în adâncime a terenului cu prelevări de probe pentru determinarea caracteristicilor fizico-mecanice în laborator. Întrucât cercetarea în adâncime trebuie efectuată pe cuprinsul zonei active, în foarte multe cazuri forajele trebuie conduse la adâncimi mari, peste 10 m.

Explorarea terenurilor la adâncimi mari este costisitoare și cu randament scăzut, în cazul forajelor manuale, motiv pentru care numărul lor se reduce la minim. Forajele mecanice au randament mai ridicat, dar domeniul lor de aplicabilitate este mai limitat și reclamă utilaj special.

Data fiind neomogenitatea terenurilor, în părțile neidentificate prin foraje pot să apară schimbări în stratificație, neobservate prin numărul redus de foraje efectuate, care poate conduce la erori în aprecierea comportării pământului de pe amplasamentul studiat.

Recoltarea probelor netulburate din anumite categorii de terenuri, cum ar fi nisipurile situate sub nivelul apei sau la adâncime și în general pământurile necoezive sau argilele sensitive, este practic nerezolvată.

Multe erori apar datorită distrugerii parțiale sau totale a legăturilor structurale, din cauza recoltării necorespunzătoare, a ambalării și transportului nereglementar al probelor.

Pentru diminuarea sau chiar eliminarea neajunsurilor de ordin tehnic și economic, în ultimul timp au luat amploare o serie

de metode de cercetare a terenurilor la fața locului numite "in situ". Majoritatea acestor metode nu elimină lucrările clasice de investigație, doar le completează, oferind o paletă mai bogată de date asupra terenului cercetat.

Metodele de cercetare "in situ" sînt deosebit de valoroase întrucît permit studierea directă a terenului în strat cu posibilitate de stabilire a unor caracteristici fizico-mecanice ale acestuia, eliminînd în acest fel erorile cumulate pe drumul parcurs de probă de la prelevare și pînă la determinările de laborator.

Prelevarea probelor netulburate prezintă o limită de volum motiv pentru care similitudinea în comportare față de cea a terenului nu este întotdeauna edificatoare. În această situație încercările "in situ" sînt singurele care pot furniza date mai precise.

Unele metode de cercetare "in situ" sînt mai ieftine și cu randament mai ridicat, față de metodele clasice de investigație, ceea ce permite o studiere mai amănunțită a amplasamentului, prin mărirea volumului lucrărilor de cercetare, diminuînd în acest fel riscul nedepistării unor zone cu schimbări pronunțate în stratificație.

În ultimul timp, prin extinderea lucrărilor de îmbunătățire a terenurilor slabe de fundare, metodele de cercetare "in situ" sînt utilizate pe scară largă pentru testarea calității acestor lucrări.

Avantajele tehnice și economice oferite de metodele de cercetare "in situ" pledează în favoarea utilizării lor și captează atenția unui număr mare de cercetători preocupați de îmbunătățirea metodelor existente și mărirea volumului de informații oferite de acestea sau de găsirea unor metode noi.

Există o serie de metode de cercetare a terenurilor "in situ" fiecare din ele oferind o anumită gamă de elemente care vin să completeze datele obținute prin ale metode de investigație. Unele sînt capabile să furnizeze date cantitative, iar altele numai elemente calitative, dar pe baza cărora se pot trage o serie de concluzii foarte importante în procesul de cunoaștere a terenului.

Încercările "in situ" mai frecvent utilizate la noi în țară au fost standardizate sau prevăzute în instrucțiuni sau norme interne.

În cele ce urmează se va face o succintă descriere a unor încercări "in situ" utilizate pentru studiul terenului de fundare, insistându-se în mod deosebit asupra cercetării prin sondaje de penetrare.

1.2. Încercarea pământurilor cu placa de încărcare

Caracteristicile de compresibilitate ale pământurilor se pot determina direct pe teren prin încercări cu placa rigidă de încărcare în sondaje deschise sau foraje. Cercetarea terenurilor cu ajutorul plăcilor are drept scop stabilirea dependenței dintre presiunile exercitate asupra pământului prin intermediul încărcărilor statice și deformațiile care au loc sub influența acestor presiuni. Încercările se efectuează conform STAS 8942/3/75.

În afara încercării cu placa, caracteristicile de compresibilitate pot fi studiate și prin încărcarea unor fundații de probă.

Încercarea constă în aplicarea unor încărcări în trepte pe o placă rigidă, așezată pe teren și măsurarea tasărilor corespunzătoare plăcii. Fiecare încărcare se menține pînă la stabilizarea tasării plăcii.

Modulul de deformație liniară se determină cu ajutorul relațiilor stabilite în teoria elasticității, în domeniul în care dependența între încărcarea pe placă și tasarea se menține aproximativ liniară:

Pe baza datelor încercării se întocmesc graficele din fig.1.1.

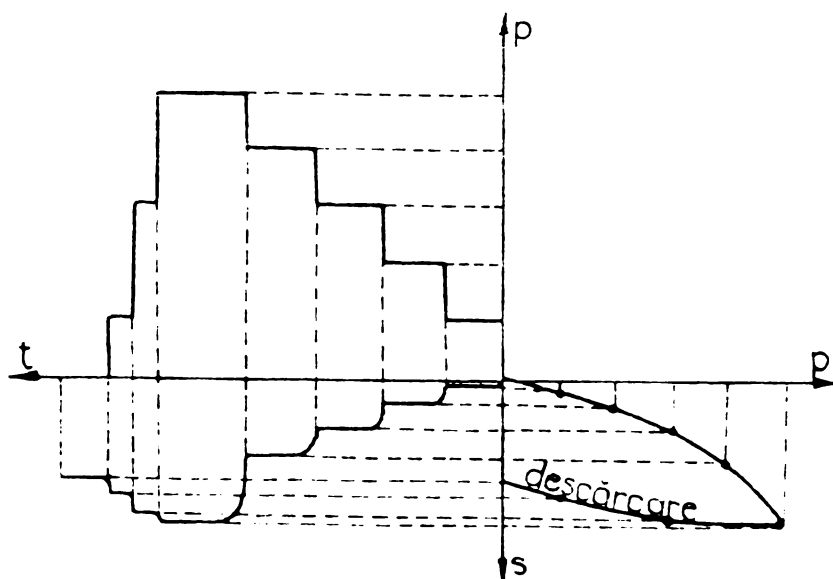


Fig.1.1.Reprezentarea grafică a rezultatelor încercării cu placa

Din teoria lui Boussinesq privind încărcarea la suprafață a unui corp semiinfinit elastic [14], se deduce valoarea modulului de deformație E:

$$E = \frac{p}{s} \frac{\pi}{2} R(1 - \nu^2) \quad (1.1)$$

unde:

p - presiunea pe placă;

s - tasarea plăcii corespunzătoare

presiunii p ;

R- raza plăcii circulare;

ν - coeficientul lui Poisson.

În STAS 8942/3/75 este dată aceeași relație, presiunea introdusă în calcul fiind presiunea limită p_1 pînă la care se păstrează limita de proporționalitate între presiunea pe placă și tasare.

Încercările pe placă au fost larg folosite în trecut în problemele de proiectare a fundațiilor, însă de la constituirea mecanicii pămînturilor ca știință, sfera utilizării lor s-a restrîns. Motivele principale ale acestei situații rezidă în costul lor ridicat în comparație cu forajele și încercările de laborator, precum și datorită unor rezultate eronate furnizate de metodă.

Este esențial să se dispună de o placă cît mai mare pentru ca zona activă de sub placă să se apropie cît mai mult de zona activă a fundației. Această condiție poate fi îndeplinită în cazul fundațiilor continue relativ înguste sau a celor izolate de dimensiuni mici.

Pentru fundațiile mari este practic imposibil să se realizeze plăci de încărcare corespunzătoare. Creșterea suprafeței plăcii de încărcare duce la majorarea substanțială a costului încercării. Ținînd seama de faptul că o singură încercare pe placă este cu totul insuficientă pentru studierea unui amplasament, întrucît caracteristicile terenului variază, în general, atît în plan cît și în adîncime trebuie să se acorde o importanță deosebită aspectului economic. Pentru obținerea unor rezultate concludente sînt necesare cel puțin trei încărcări, de preferință însă mai multe [112].

Aplicarea teoriei lui Boussinesq la pămînturi introduce erori atunci cînd se depășește limita de proporționalitate. De fapt, presiunea limită de rezistență la poansonare la suprafața pămîntului fiind slabă are loc o refulare a materialului de sub marginile plăcii de îndată ce această presiune este depășită [14], de aceea se măsoară o tasare foarte mare din care se deduce o valoare scăzută pentru modulul E. Eroarea este foarte mare la pămînturile ne-coezive fine, a căror rezistență la poansonare este practic nulă la suprafață. La pămînturile coezive eroarea este mai mică.

Cu toate dezavantajele menționate, încercările pe placă nu pot fi scoase din rîndul mijloacelor de prospectare, întrucît în anumite situații ele pot furniza informații pe care nici o altă metodă nu le poate oferi.

1.3. Inercarea de forfecare a pământurilor la fața locului

Inercarea de forfecare "in situ" are la bază principiul forfecării directe și se realizează prin două procedee. Un procedeu constă în realizarea forfecării prin acțiunea unei forțe aplicată în direcția de forfecare când pe suprafața de forfecare acționează o forță normală, iar un alt procedeu folosit mult în practică mondială este încercarea "vane test" la care se folosește aparatul cu palete.

Inercările de forfecare "in situ" se utilizează în cazul pământurilor din care recoltarea probelor este grea sau practic imposibilă cum ar fi nisipurile și argilele de consistență redusă.

Trebuie menționat că încercările de forfecare la fața locului sînt relativ complicate și cer un volum de muncă mai mare decît încercarea de forfecare în laborator.

Procedeul de forfecare sub acțiunea unei sarcini normale aplicată pe suprafața de forfecare permite stabilirea unghiului de frecare interioară ϕ și a coeziunii c [115]. Inercarea și interpretarea rezultatelor se face după principiul forfecării directe în laborator.

Pentru pământurile argiloase în stare curgătoare sau plastic curgătoare procedeul de forfecare cu palete reprezintă singura modalitate pentru determinarea rezistenței la forfecare. Dispozitivul de forfecare cu palete permite determinarea rezistenței la forfecare a pământurilor fără a stabili separat ϕ și c . Unii cercetători [118] recomandă folosirea în calcule pentru coeziune a valorii rezistenței la forfecare, considerînd pământul pur coeziv, ceea ce corespunde argilelor de consistență redusă.

Aparatul de forfecare cu palete (fig.1.2) se utilizează în mod frecvent în gaură de foraj sau la adîncimi mici de cercetare, direct de la nivelul terenului [112].

În esență metoda constă în înfigerea paletelor și rotirea lor cu o viteză constantă de $0,1^{\circ}/s$ [112]. Momentul de torsiune necesar rotirii cilindrului de pământ aflat între palete este aplicat și măsurat cu ajutorul unui dispozitiv aflat la suprafața terenului (masa de lucru).

Pentru evitarea zonei de teren tulburat prin executarea forajului, se recomandă efectuarea determinării la cel puțin 90 cm sub talpa forajului (sau chiar mai mult în cazul argilelor sensitive) [112].

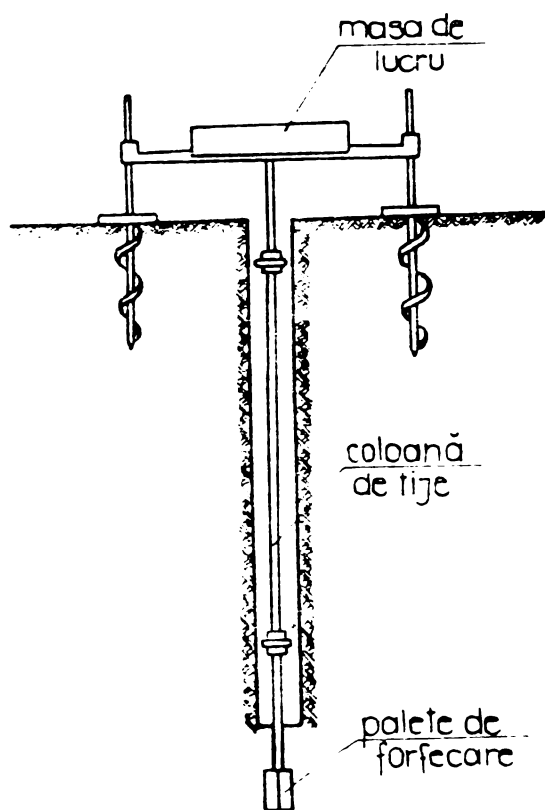


Fig.1.2.Schema de principiu a aparatului de forfecare cu palete

Dispozitivul cu care se realizează forfecarea terenului se compune din patru palete subțiri dreptunghiulare sudate în formă de cruce, fig.1.3. Prin rotirea paletelor se generează un cilindru cu diametrul D și înălțimea H .

Din egalarea momentului de torsiune aplicat, M_t , cu momentul interior care se generează în momentul forfecării, se obține valoarea rezistenței la forfecare, γ_f :

$$\gamma_f = \frac{M_t}{\frac{\pi D^2}{2} (H + \frac{D}{3})} \quad (1.2)$$

Dacă înălțimea paletelor se ia egală cu dublul diametrului, relația 1.2. se poate scrie sub forma 32 :

$$\gamma_f = \frac{6}{7} \frac{M_t}{D^3} = \frac{M_t}{K \gamma_f} \quad (1.2 a)$$

unde K_{γ_f} este o constantă care depinde de dimensiunile paletei.

Pentru interpretarea corectă a rezultatelor încercării, trebuie să se țină seama de erorile care apar la efectuarea determinării.

Sursa principală de erori provine din rezistențele de frecare parazitare. Pentru a reduce la minim frecarea dintre coloana de tije și peretele forajului la fiecare 3,0 m sînt montate ghidaje de centrare. Un control al frecării reale dezvoltate se poate efectua după fiecare încercare, prin ridicarea coloanei de tije pînă cînd dispozitivul cu palete ajunge deasupra fundului forajului și apoi măsurarea momentului de torsiune necesar rotirii coloanei.

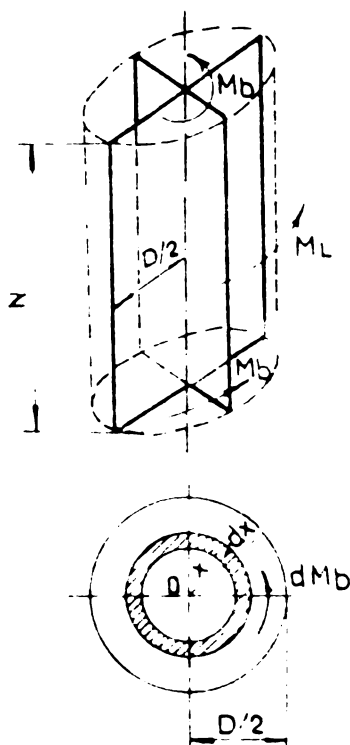


Fig.1.3.Schema momentelor de torsiune pe suprafață generată de palete

Momentul de torsiune necesar rotirii paletelor se determină din unghiul de rotație care rezultă din rotirea dispozitivului

cu palete și răsucirea coloanei de tije. Torsionarea coloanei este mare și ea nu poate fi etalonată cu destulă precizie pentru a obține valoarea reală a unghiului de rotire a dispozitivului cu palete. Pentru adâncimi mari ar fi necesară folosirea instrumentelor pentru măsurarea rotației direct deasupra dispozitivului. Pentru a corecta totuși în mare măsură această eroare se pot utiliza curbe de corecție pentru dife-

rite lungimi de coloană, respectiv câte o curbă pentru fiecare tijă adăugată, fig.1.4.

Tinând seama că interpretarea rezultatelor este simplă, iar corecțiile se fac ușor, metoda primește o aplicabilitate din ce în ce mai largă, deși așa cum s-a arătat la începutul paragrafului, încercarea este destul de anevoioasă.

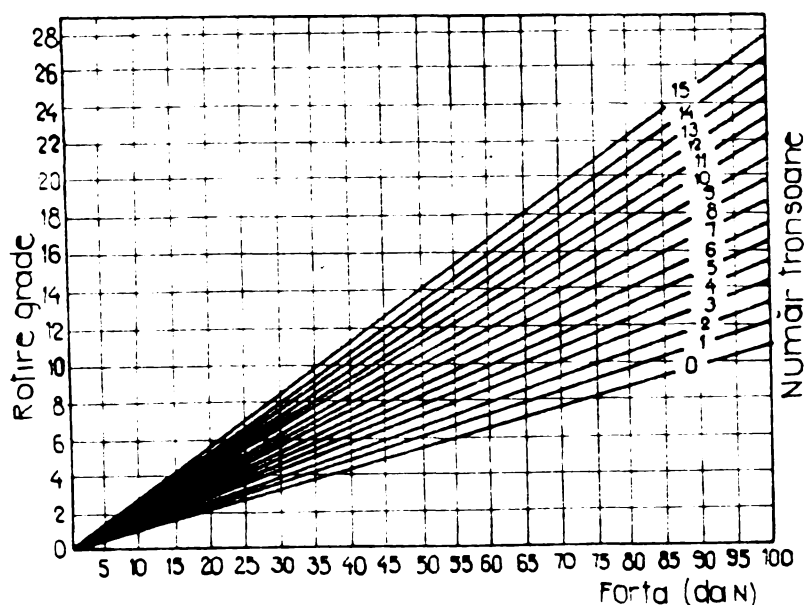


Fig.1.4. Diagrama pentru corectarea unghiului de rotire

1.4. Cercetarea terenului prin metode radiometrice

Utilizarea izotopilor radioactivi în domeniul cercetărilor nedistructive se extinde din ce în ce mai mult avînd aplicabilitate practică și în cercetările pentru determinarea unor caracteristici fizice fără prelevări de probe. La noi în țară cercetarea se efectuează conform STAS 1242/9/76.

Cercetarea "in situ" cu izotopi radioactivi s-a dovedit a fi precisă și expeditivă. Caracteristicile fizice de bază care se pot determina sînt densitatea și umiditatea. Ele pot fi stabilite la suprafață și în adîncime utilizînd aparatură adecvată [3], [4], adică aparate de suprafață sau sonde de adîncime.

Determinarea densității se face cu ajutorul unor aparate numite densimetre (fig.1.5) care se bazează pe proprietatea de interacțiune a radiațiilor gama cu materia aproape în exclusivitate prin efect Compton [103] în domeniul energiei 0,5 - 3,0 MeV și în domeniul de numere atomice "z" ale materialului măsurat între 2 și 30.

Aparatul este astfel construit ca radiația directă sursă-detector să fie ecranată iar detectorul să primească numai acele radiații gama care au interacționat cu mediul înconjurător.

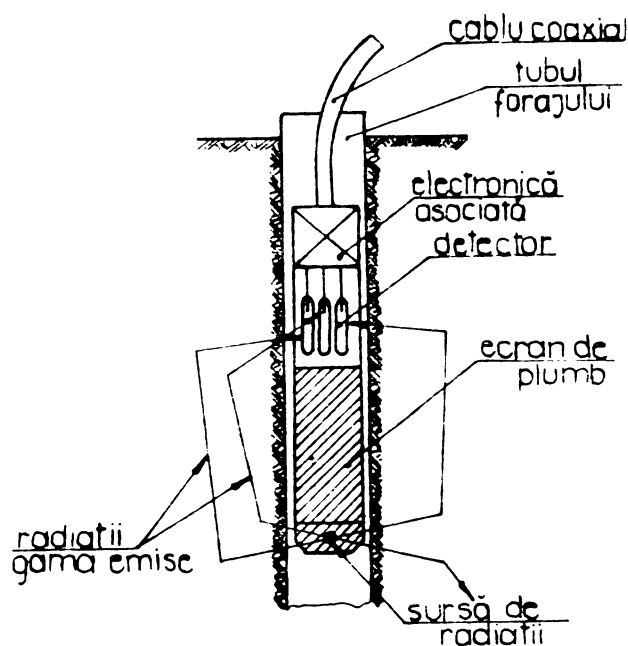


Fig.1.5. Densimetru de adâncime
schemă de principiu

țională cu conținutul de apă în unitatea de volum.

Pentru determinarea umidității se utilizează aparate (fig. 1.6.) care emit neutroni rapizi obținuți prin amestecarea sub formă de pulbere a unui izotop radioactiv cu un element stabil în prezența căruia are loc o reacție de forma (α, n) .

Metoda se bazează pe interacțiunea unui flux de neutroni rapizi cu hidrogenul conținut în moleculele de apă din pământul studiat și înregistrarea neutronilor termici rezultați; densitatea fluxului de neutroni termici este, în final, propor-

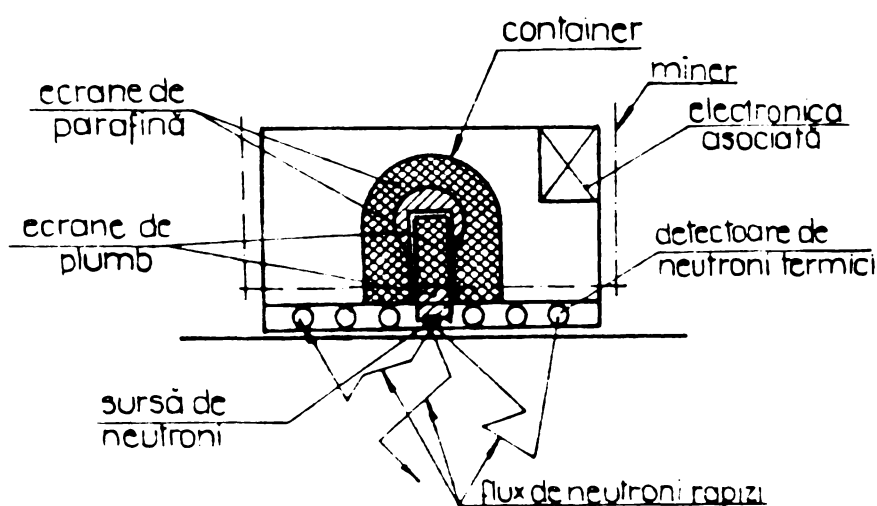


Fig.1.6. Umidimetru de suprafață. Schemă de principiu

Explorările de suprafață și adâncime se efectuează punctual pe profile singulare sau pe profile dispuse cât mai uniform pe suprafața de cercetat.

Pentru interpretarea datelor, aparatele se etalonează în laborator pe probe a căror densitate sau umiditate se determină cu precizie prin metodele clasice [89].

Pe baza datelor obținute se construiește curba de etalonare; în figura 1.7. este prezentată o curbă de etalonare pentru un densimetru cu radioizotopi în cazul unui pământ slab coeziv.

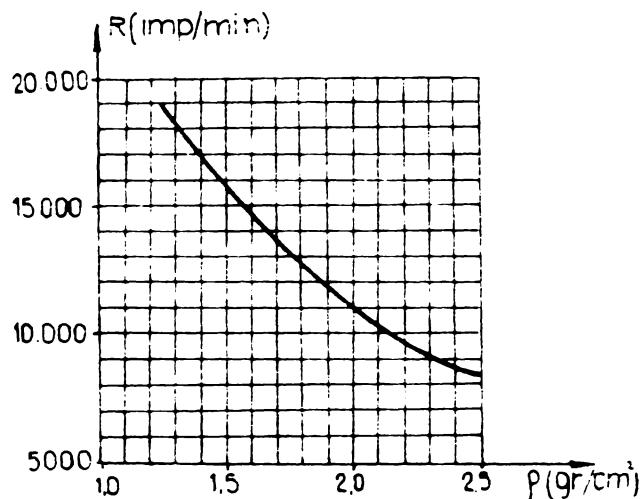


Fig. 1.7. Curbă de etalonare pentru densimetru

Disponând de curbe de etalonare, cu ajutorul datelor înregistrate pe teren se poate determina densitatea respectiv umiditatea. Metoda se utilizează în special pentru verificarea compactității terasamentelor sau a pământurilor îmbunătățite prin procedee de suprafață sau adâncime.

Determinarea densității și a umidității cu radioizotopi prezintă o serie de avantaje dintre care se menționează: operativitate, portabilitate, autonomie mare de funcționare, precizie mare, erorile găsindu-se sub limita celor admise de prescripții.

Ca dezavantaje ale metodei se menționează necesitatea realizării curbelor de etalonare, reetalonarea periodică ținând seama de perioada de înjumătățire a elementului radioactiv, aparatură costisitoare și necesitatea personalului specializat și autorizat care să deservească aparatul.

1.5. Cercetarea terenului prin metoda presiometrică

Prin încercarea presiometrică se poate determina deformabilitatea terenului prin împărțirea terenului investigat în zone caracteristice de deformabilitate, funcție de natura deformațiilor locale [13], [43]; pentru fiecare zonă se determină modulul mediu de deformabilitate. Încercarea se efectuează în gaura de foraj prin aplicarea pe peretele forajului a unei încărcări radiale. În funcție de sistemul de măsurare a deplasărilor radiale se disting două categorii de presiometre:

- presiometre care măsoară deplasările radial, pe un diametru sau mai multe;
- presiometre care măsoară volumul deformat în zona de distribuție a eforturilor omogen-cilindrică.

În timp ce presiometrele din prima categorie, cu excepția celor care măsoară deformațiile numai pe un diametru, pot reda mai clar comportamentul anizotrop al terenului, cele din a doua categorie nu pot măsura decât o deformabilitate medie a volumului terenului

încercat, motiv pentru care se utilizează în terenuri cu structură mai omogenă (marne și argile compacte) la care deformabilitatea nu variază după mai multe direcții.

În funcție de sistemul de creare și distribuție a presiunilor în masa terenului, presiometrele sînt elastice și rigide.

Presiometrele elastice se caracterizează prin aceea că elementul de expandare îl constituie un material elastic (cămașa de expandare). Apa, adusă sub presiune în interspațiul dintre o conductă centrală și cămașa elastică, produce expandarea acesteia din urmă, care la rîndul ei creează o stare parabolică cilindrică de eforturi și deformații.

Presiometrele Kujudzic, Mederatec și LNEC [32] măsoară deplasările medii pe mai multe diametre iar presiometrul Ménard măsoară deformațiile volumice pe înălțimea zonei cu distribuție omogen - cilindrică a eforturilor, prin construcția specială a aparatului. Încărcarea peretelui forajului se face prin intermediul a trei celule dintre care celula mediană este cea care încarcă terenul omogen, celelalte două numite "celule de gardă" distribuie eforturile parabolic, servind pentru creerea zonei mediane de distribuție.

Presiometrele rigide sînt alcătuite din două piese metalice semicilindrice (celule) care încarcă terenul din jur prin îndepărtarea acestora una față de cealaltă. Expandarea se face de către un dispozitiv hidraulic și se măsoară deformațiile radiale. În literatura de specialitate [32] sînt menționate presiometrele tip MAY CEBTP și Talobre.

Presiometrul propriu-zis se introduce în gaura de foraj, după care se creează pe pereții găurii o presiune. Dispozitivul se expandează dînd în masa de teren o stare de efort-deformare. Măsurînd deformațiile radiale, cu excepția presiometrului Menard, se determină deformabilitatea terenului.

La presiometrul Menard se măsoară deformații volumice iar presiunea de calcul se determină din funcția:

$$p_p = f(\Delta V_p) \quad (1.3)$$

Pentru determinarea comportamentului la fluaj a rocii se măsoară sub sarcină constantă deformațiile volumice la 1 minut și 2 minute; se obțin curbele $p=f(t)$ și $dV=f(t)$, prezentate în figura 1.8.

În cazul rocilor moi și semitari solicitate la presiune prin gaura de foraj, Ménard a stabilit 5 faze de comportare a rocii la starea de efort-deformație extinsă în cîmpul de solicitare.

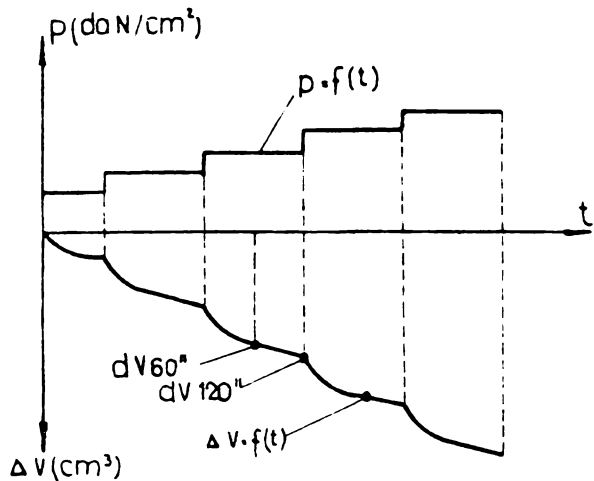


Fig.1.8. Curbele efort-deformație volumică funcție de timp

Succesiunea acestor faze este prezentată în fig.1.9.

Pentru faza corespunzătoare echilibrului limită, presiunea de rupere se calculează cu relația (1.4) din care se poate deduce valoarea modului de deformație, E.

$$p_r = p_0 + c \left[1 + \ln \frac{E}{2c \left(\frac{m+1}{m} \right)} \right] \quad (1.4)$$

unde: p_r - presiunea de rupere;

p_0 - presiunea pentru care materialul este la limita comportării elastice;

c - coeziunea;

E - modulul de deformație;
m - cifra lui Poisson.

Cu datele încercării presiometrice se pot aprecia tasările probabile și capacitatea portantă a terenului de fundare [32].

La noi în țară metoda este utilizată pe scară redusă din cauza aparatului care este în exclusivitate din import și a tehnologiei pretențioase de execuție a încercării. Aparatura

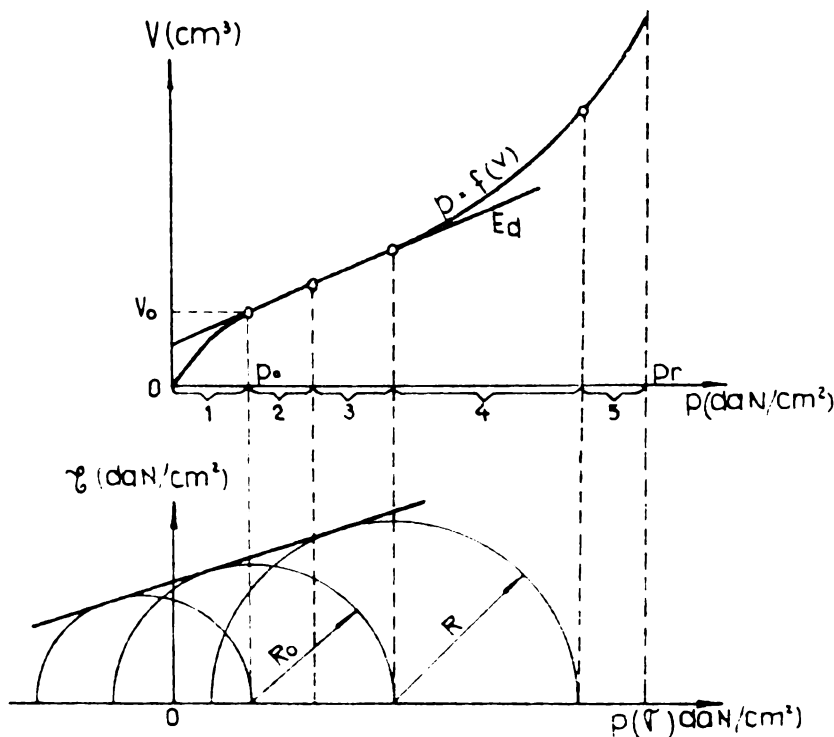


Fig.1.9. Curba de efort-deformație volumică și înfășurătoarea cercurilor Mohr
1.-faza de echilibru a stării inițiale,
2- faza elastică; 3-faza pseudo-elastică
4-faza plastică; 5-faza marilor deformații

contur cât mai circular și pe cât posibil la diametrul proiectat, pentru ca încărcarea terenului să se realizeze pe toată suprafața corespunzătoare aparatului.

1.6. Metode geofizice de prospectare a terenului

Prospecțiunile geofizice permit determinarea stratificației terenurilor nestâncoase sau stâncoase prin măsurarea variațiilor anumitor caracteristici fizice ale materialelor respective, de exemplu proprietăți magnetice, rezistivitatea electrică, densitatea etc.

Aceste metode au valoare limitată întrucât înregistrează schimbările de straturi numai acolo unde acestea prezintă diferențe apreciable ale proprietăților geofizice.

În general metodele geofizice se pretează la prospectarea în adâncime a rocilor stâncoase pentru baraje, galerii sau tuneluri unde este necesară cunoașterea stratificației formațiunilor de rocă în funcție de adâncime, precum și la cercetări în pământuri conținând fracțiuni mari (pietre sau bolovani) în care sondajele sau penetrările nu sînt posibile.

Metodele folosite în general sînt:

- metoda rezistivității electrice;
- metoda prin refracție seismică;
- metoda prin reflexie seismică;
- metoda magnetică.

Metoda rezistivității electrice [112] se bazează pe diferențele care există din acest punct de vedere între diferite tipuri de pământuri sau roci stâncoase. Cu ajutorul unei perechi de electrozi se face să circule prin teren un curent electric, căderea de potențial măsurîndu-se între alți electrozi situați în interiorul primilor, denumiți electrozi de potențial. Cei patru electrozi sînt așezați la distanțe egale, fig.1.10, astfel încît variînd

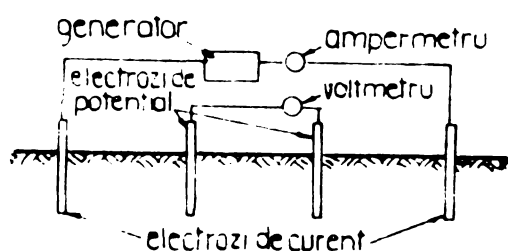


Fig.1.10. Dispoziția electrozilor de prospectiune

distanțele care-i separă, poate fi variată adâncimea de pătrundere în teren a curentului electric. Metoda se aplică mărirînd progresiv distanțele între perechile de electrozi exteriori și interiori și măsurînd căderea de potențial corespunzătoare fiecărei distanțe prin care se poate determina cotele diferitelor straturi.

Metodele seismice se bazează pe faptul că pământurile și rocile stâncoase au caracteristici diferite în ceea ce privește viteza de propagare prin ele a vibrațiilor. Dacă o șarjă explozivă este detonată la nivelul terenului sau într-un foraj, undele se propagă de la punctul exploziei în toate direcțiile și sînt refractate sau reflectate de diferite straturi. Propagarea se face cu

viteză mai mare prin rocile stîncoase și prin pămînturile îndesate decît prin depozite afîinate. Măsurînd cu un seismometru timpul de sosire a undelor la un anumit punct al suprafeței terenului se poate deduce natura și adîncimea straturilor din subsol.

Metoda refracției seismice este mai adecvată prospecțiunilor de mică adîncime decît cea bazată pe reflexie care în mod curent se folosește pentru adîncimi mari de peste 120-150 m [112]. Față de punctul unde este provocată explozia se așează mai multe seismometre la care se înregistrează momentul sosirii frontului de unde în funcție de care se calculează viteza de propagare în fiecare strat și adîncimea diferitelor straturi.

Utilajul folosit este complex și scump din care cauză aplicarea metodei este destul de costisitoare, fiind indicată doar pentru amplasamente mari și condiții speciale, unde economiile rezultă numai din rapiditatea execuției.

Metodele magnetice se bazează pe măsurarea vibrațiilor de intensitate a cîmpului magnetic terestru. Ele sînt utile în depistarea cavităților subterane ascunse, prăbușiri, galerii miniere părăsite etc.

1.7. Cercetarea terenurilor prin metoda penetrării

Cercetarea terenurilor de fundare sau a terasamentelor prin metoda penetrării constă în introducerea în teren a unei sonde prevăzută la partea inferioară cu un vîrf conic, vîrf spiral sau cu o carotieră. În funcție de modul de introducere a sondei se deosebesc:

- penetrometre statice denumite astfel, întrucît rezistența terenului la pătrundere în teren a sondei este învinsă de o forță care variază lent, putînd fi considerată statică;

- penetrometre dinamice denumite astfel, întrucît rezistența terenului la pătrunderea în teren a sondei este învinsă de lucrul mecanic dezvoltat de un berbec în cădere. Aceste penetrometre pot fi prevăzute cu vîrf conic purtînd numele de penetrometre dinamice cu con sau cu carotieră purtînd denumirea de penetrometre standard.

Cercetarea terenurilor prin metoda penetrării a luat amploare în ultimii ani deoarece oferă posibilitatea cercetării ușoare, rapide și ieftine și furnizează un complex de elemente legate de caracteristicile terenului.

Este o metodă continuă de investigare a terenului întrucît datele se înregistrează la intervale scurte de adîncime (10 sau 20 cm) cu excepția penetrării standard la care înregistrarea datelor se face la 1,0-2,0 m.

Un argument puternic în afirmația privind extinderea metodei îl constituie preocuparea în acest domeniu a unui număr tot mai mare de specialiști dintr-un număr de țări în continuă creștere. La simpozionul european în problema testării prin penetrare, din iunie 1974, ținut la Stockholm, au participat țările europene care utilizează metoda în mod curent și câteva țări de pe alte continente care au tradiție sau preocupări deosebite în problema penetrării [10], [62], [114].

Scopul Simpozionului a fost elucidarea și dezbaterrea unor probleme legate de:

- informare cu privire la utilizarea testării terenului prin penetrare, în diferite țări;
- stabilirea ariei de utilizare a cercetării prin penetrare;
- stimularea standardizării încercării terenului prin penetrare;
- stabilirea liniei generale pentru utilizarea metodei în viitor.

În scopul celor mai sus menționate, fiecare țară participantă a prezentat un material privind domeniul de extindere a cercetării prin penetrare, condițiile geomorfologice specifice, aparatura utilizată, interpretarea rezultatelor și preocupări pentru viitor.

Din analiza materialelor prezentate rezultă că aparatura utilizată în diverse țări este relativ diferită, în problemele de penetrare statică, la baza aparatului, în general, fiind penetrometrul olandez la care s-au adus unele modificări. Penetrometrele dinamice sînt și ele variate atît ca dimensiuni cît și lucru mecanic dezvoltat de berbec.

În problema interpretării datelor se fac eforturi pentru extinderea prelucrării cantitative, la ora actuală ponderea mare revenind aspectului calitativ, în special în domeniul penetrării dinamice.

În cadrul discuțiilor purtate s-a reliefat necesitatea standardizării penetrometrelor și cooperarea în viitor a țărilor europene. Standardizarea aparatului ar facilita găsirea și utilizarea unor corelații în vederea interpretării cantitative și ar uni eforturile pentru punerea la punct a unei metodologii de cercetare a pământurilor, foarte avantajoasă din multe puncte de vedere.

Găsirea unor corelații cu valabilitate generală este foarte complicată și practic imposibilă din cauza multiplilor factori care influențează asupra rezultatelor testării prin penetrare, factori legați de teren prin granulometrie, forma granulelor, legături

structurale etc, factori legați de prezența apei, precum și cei legați de aparat. Standardizarea penetrometrelor ar elimina posibilitatea influențării în mod diferit a rezultatelor de către aparatură și ar permite găsirea unor corelații aplicabile pentru anumite categorii de pământuri.

Intrucât problema cercetării prin penetrare face obiectul prezentei lucrări, în cele ce urmează se face o descriere mai detaliată a diverselor metode de cercetare prin penetrare; se prezintă principiul metodei, unele aparate mai semnificative din varietatea mare a aparatelor utilizate și se punctează elementele sau aspectele mai importante. Deasemenea se prezintă tehnologia de efectuare a încercării și câteva aspecte privind prelucrarea și interpretarea datelor.

1.7.1. Cercetarea terenului prin penetrare statică

Sondajul de penetrare statică se utilizează la cercetarea terenurilor coezive și necoezive sărace în particule grosiere (pietriș, prundiș) și lipsite de bolovăniș, iar adâncimea de explorare depinde de natura terenului și de mărimea forței statice care poate fi dezvoltată de aparat.

Încercarea se penetrare statică constituie, de regulă un procedeu ce completează metodele clasice de cercetare a terenurilor de fundare permițând obținerea unor date suplimentare pentru stabilirea condiției de fundare a construcțiilor. Încercarea poate fi utilizată și pentru testarea calității lucrărilor de îmbunătățire a terenurilor slabe de fundare și aprecierea capacității portante a piloților.

Ideea cercetării terenurilor prin penetrare a apărut încă de la începutul mecanicii pământurilor. Astfel a existat o încercare de laborator la care se utilizează un con cu unghiul la vîrf de 90° așezat pe o probă de pământ pur coeziv, măsurîndu-se adâncimea de înfigere a conului sub diferite trepte de încărcare. Din valoarea rezistenței pe con obținută prin raportarea forței aplicate, la suprafața emprentei lăsată de con în probă, se determină mărimea coeziunii.

Primele încercări realizate cu un penetrometru propriu-zis datează din perioada 1932-1937 cînd Barentsen (Olanda) a inventat procedeul tub-tijă-con [94].

În 1946 laboratorul de mecanica pământurilor din Delft împreună cu firma Goudsche Machinefabriek din Gouda (Olanda) a pus la punct penetrometrul olandez de 2,5 tone (forța maximă 25 kN), doi ani mai târziu penetrometrul static de 10 tone (forța maximă 100 kN).

Penetrometrele statice olandeze moderne sînt acționate hidraulic și permit înfigerea tijelor cu viteză constantă de 30... 60 cm/minut; sînt concepute să măsoare separat rezistența pe con și frecarea laterală dată de straturile de teren străbătute, sau rezistența pe con și rezistența totală, din care se calculează frecarea laterală.

Ca urmare a studiilor efectuate în Belgia și Olanda utilizarea penetrometrelor statice s-a extins în Europa după cel de al 2-lea Congres de mecanica pământurilor de la Rotterdam, 1948.

La noi în țară primul penetrometru static a fost realizat în 1955 după modelul olandez de 10 tone manual iar 10 ani mai târziu INCERC București a pus la punct un penetrometru model olandez cu acționare hidraulică.

Inercarea de penetrare statică constă în determinarea rezistenței la înfigerea în teren a unei sonde cu vîrf conic, R_p , precum și a frecării laterale, F_l pe țevile de protecție a coloanei de tije.

Rezistența pe con și frecarea laterală sînt determinate de natura și caracteristicile fizico-mecanice ale straturilor întîlnite, de prezența apei subterane și de sarcina geologică care acționează la adîncimea la care se găsește conul penetrometrului.

Pentru interpretarea corectă a datelor obținute prin sondajul de penetrare trebuie să se țină seama de toți factorii care pot influența asupra măsurărilor.

Cercetarea prin penetrare statică conduce la verificarea rapidă a terenului între punctele cercetate prin foraje și sonde deschise și permite o interpretare calitativă imediată a rezultatelor, putînd să se determine:

- stratificația străbătută, cuprinzînd localizarea limitelor dintre straturi precum și grosimea și înclinarea acestora pe profilul litologic;

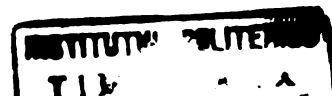
- neuniformitatea terenului atît pe orizontală cît și pe verticală;

- prezența obstacolelor tari și a golurilor din teren;

- evaluarea capacității portante a piloților;

- testarea calității lucrărilor de îmbunătățire a terenurilor de fundare slabe.

676.325



În literatura de specialitate sînt date o serie de corelații între rezistența la penetrare și diferite caracteristici ale terenului permițînd și prelucrarea cantitativă a datelor, cu condiția aplicării corecte a acestora.

1.7.1.1. Aparatura

Pentru mărirea continuă a adîncimii de investigație prin penetrare și pentru efectuarea măsurătorilor cu erori cît mai mici s-au conceput o serie de aparate cu performanțe din ce în ce mai bune.

Varietatea mare a penetrometrelor permite clasificarea lor după mai multe criterii. Astfel, din punct de vedere al protejării coloanei de tije la capătul căreia se află conul de penetrare, sînt:

- penetrometre statice cu tija neprotejată;
- penetrometre statice cu tija protejată de o manta metalică.

În general penetrometrele au tija protejată pentru ca frecarea laterală să nu influențeze asupra rezistenței pe con.

În funcție de poziția conului de penetrare în timpul înregistrării rezistenței terenului la înaintarea conului în raport cu mantaua de protecție, penetrometrele statice se clasifică în:

- penetrometre cu con fix, la care conul nu se deplasează față de manta, măsurătorile făcîndu-se continuu și simultan, atît a rezistenței pe con cît și a forței totale.

- penetrometre cu con mobil, la care în timpul măsurătorilor mantaua rămîne fixă și se deplasează numai conul, măsurîndu-se rezistența pe con, ca apoi să se deplaseze mantaua pentru măsurarea frecării laterale.

După modul de transmitere a rezistenței pe con la aparatul de măsură, se deosebesc:

- penetrometre cu transmitere prin tijă;
- penetrometre cu transmitere electrică sau hidraulică.

După modul de aplicare a forței necesară înfigerii în teren se deosebesc:

- penetrometre statice acționate manual;
- penetrometre statice acționate mecanic.

În cele ce urmează se vor descrie succint cîteva penetrometre statice mai semnificative sau cu utilizare mai largă.

Penetrometrul Stein este cel mai simplu penetrometru static fără manta de protecție, cu domeniu foarte restrâns de utilizare din cauza lungimii reduse a tijei și a posibilității de folosire în special în groapa de fundație. Fiind de construcție foarte simplă, fig.1.11 nu se poate determina separat rezistența pe vîrf și frecarea laterală, motiv pentru care s-a renunțat la determinarea valorii forței de frecare prin construcția aparatului. Pentru eli-

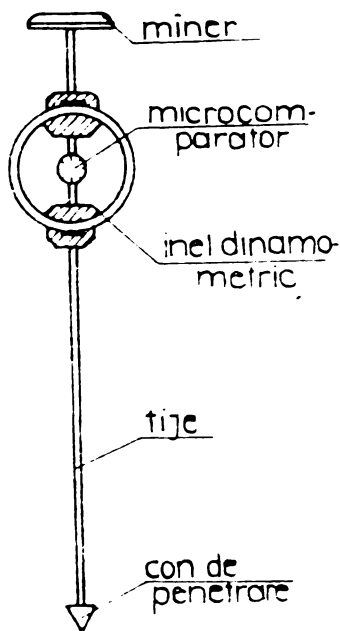


Fig.1.11. Penetrometru static Stein

minarea frecării, diametrul conului este mai mare decât diametrul tijei, astfel urma lăsată de con fiind mai mare, se evită contactul dintre tije și teren.

Din numeroase încercări efectuate s-a constatat că rezistența pe con, R_p și presiunea admisibilă a terenului sînt mărimi proporționale, astfel:

$$p_{ad} = k R_p \quad (1.5)$$

unde k este coeficient de proporționalitate.

Penetrometrul Plantema [36], este cu con fix și tija protejată, fig.1.12. Se poate utiliza la cercetarea terenului pe adîncime

mică din cauza forței statice reduse dezvoltată manual, prin apăsare. Este astfel conceput încît se înregistrează doar forța necesară învingerii rezistenței terenului la înaintarea conului, din care se determină R_p .

Penetrometrul ușor Gamski, fig.1.13 este un penetrometru acționat manual cu care se pot atinge adîncimi mari de 10-20 m [29], [74]. Caracteristica principală a aparatului constă în faptul că, rezistența pe care terenul o opune înaintării conului este echilibrată de rezistența la smulgere a unui burghiu spiral de ancoraj în axul căruia culisează o tijă la capătul căreia se găsește conul de penetrare. Adîncimea mare de penetrare se obține datorită faptului că penetrometrul este combinat cu o trusă manuală de foraj.

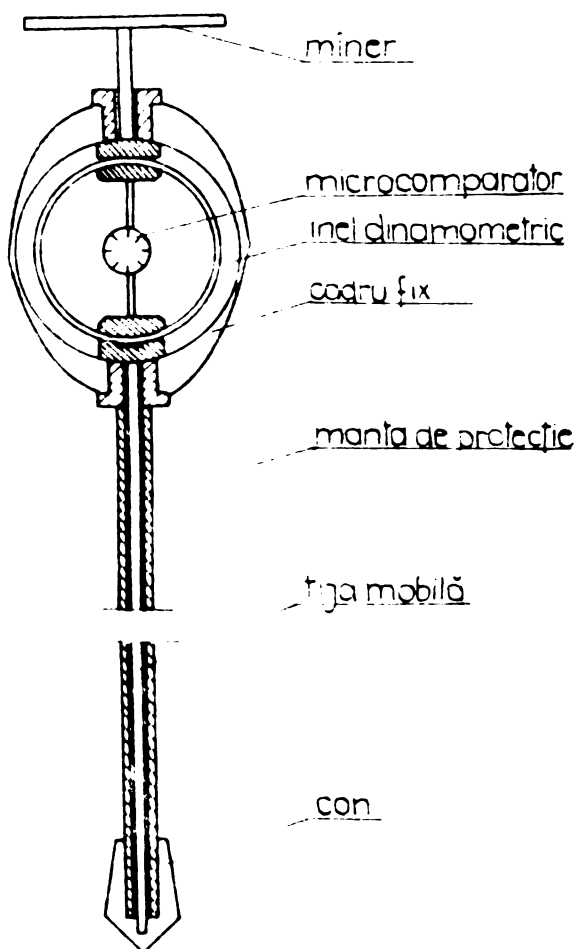


Fig.1.12. Penetrometrul static Plantema

În cazul terenurilor slabe, burghiul de ancoraj nu realizează ancorare suficientă pentru preluarea reacțiunii în timpul efectuării penetrării. Pentru eliminarea acestui neajuns, în cadrul catedrei [74] s-a proiectat un dispozitiv de ancorare de suprafață bazat pe efectul favorabil al rezistenței pasive a terenurilor manifestat pe patru plăci care se așază pe pereții unei gropi de suprafață, fig. 1.14.

Penetrarea se execută în gaura de foraj, realizată cu trusa manuală care are aceleași tije cu ale penetrometrului.

Burghiul de ancoraj se introduce sub talpa forajului, în terenul nederanjat, pentru a fi capabil să preia reacțiunea din timpul operației de penetrare, efectuată pe adâncime de 12 cm, corespunzătoare cursei conului, după care se extrage burghiul de ancoraj și se continuă forajul manual pînă la cota unde urmează să se execute o nouă penetrare.

Penetrometre statice olandeze, sînt cu con mobil cu excepția celui manual de 25 kN, cu unghiul la vîrf 60° și cu secțiunea 10 cm^2 [94]. Adîncimea pînă la care se poa-

te efectua sondajul de penetrare poate atinge 30 m în terenuri slabe.

La penetrometrul manual de 25 kN, pentru reducerea frecării laterale și a sporirii adîncimii de penetrare, tuburile de protecție sînt subțiate pe 90% din lungime și conul este înfipt în teren în același timp cu mantaua, funcționînd ca un penetrometru cu con fix.

La aparatele acționate manual cu ajutorul unei

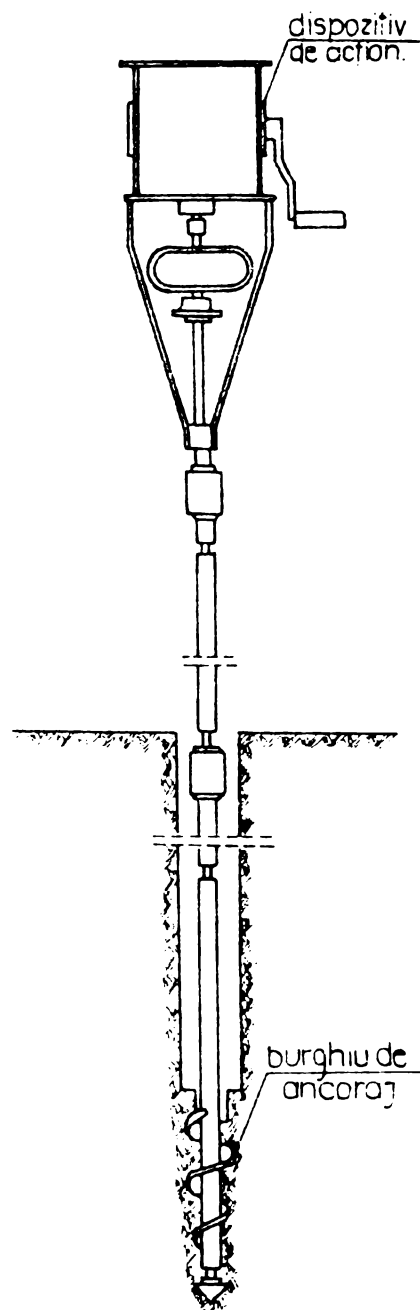


Fig.1.13. Penetrometru static Gamski

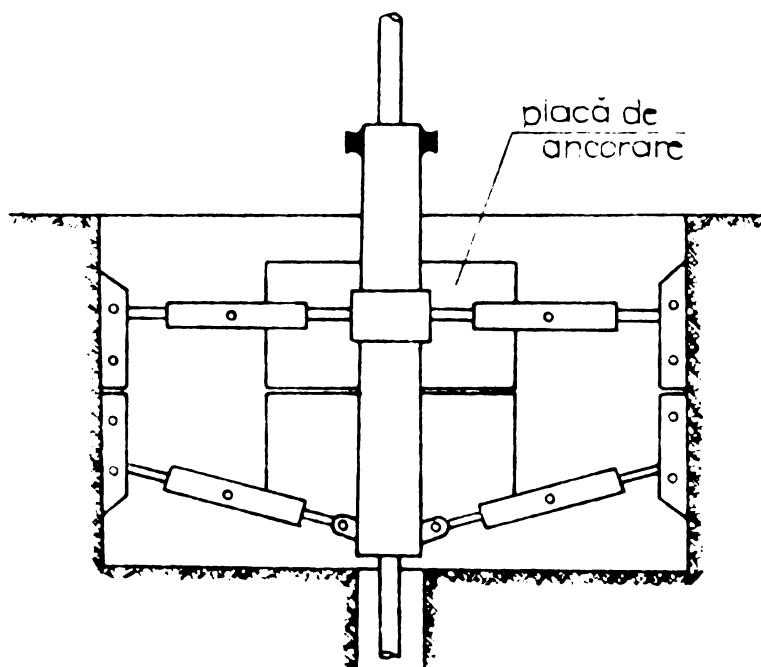


Fig.1.14. Dispozitiv de ancorare de suprafață a plăcii

manivela se antrenează un cric cu cremalieră, dezvoltându-se în acest fel forța necesară penetrării.

Penetrometrele olandeze moderne de 100 kN sînt echipate cu motor care acționează pompa hidraulică de înaltă presiune dezvoltînd forța necesară pentru înaintarea penetrometrului în teren. Pentru măsurarea separată a rezistenței pe vîrf se dă un avans conului prin intermediul tijei centrale (trecerea de la poziția A la B) fig.1.15.

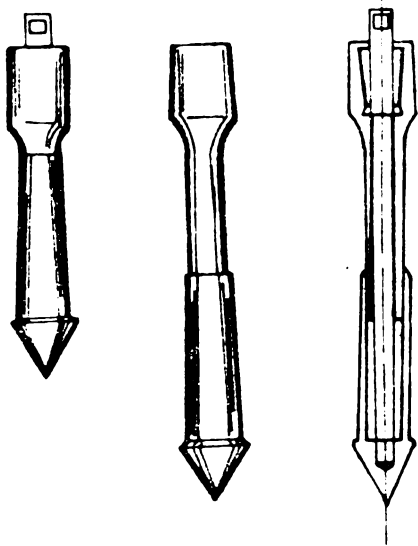


Fig.1.15. Pozițiile conului față de manta în timpul măsurătorilor; poz.A-se măsoară rezistența totală pe con și manta; poz.B(B')-se măsoară rezistența pe con.

În vederea măsurării frecării laterale pe o lungime redusă în apropierea vîrfului, Begeman a conceput un con special prevăzut cu bucșe (mufă) [94], fig.1.16.

Poziția "1" corespunde etapei de înfigere a penetrometrului cînd se măsoară cumulat rezistența pe vîrf și frecarea pe manta. În poziția "2" s-a dat un avans de lungime "a" conului de penetrare prin intermediul tijelor, mantaua rămînînd pe loc în această situație se măsoară rezistența pe con. Pentru situația din poziția "3" s-a mai dat un avans conului cu lungimea "b", lungime cu care se deplasează și mufa fără să se deplaseze mantaua; în această situație se măsoară presiunea pe vîrf și frecarea laterală pe mufă. Se dă deplasarea "a+b" mantalei de protecție, poziția "4" pentru a se ajunge în situație inițială, de unde continuă înfigerea penetrometrului pînă la cota unde se execută din nou măsurători. În timpul deplasării mantalei se măsoară frecarea pe toată lungimea ei și pe lungimea mufei.

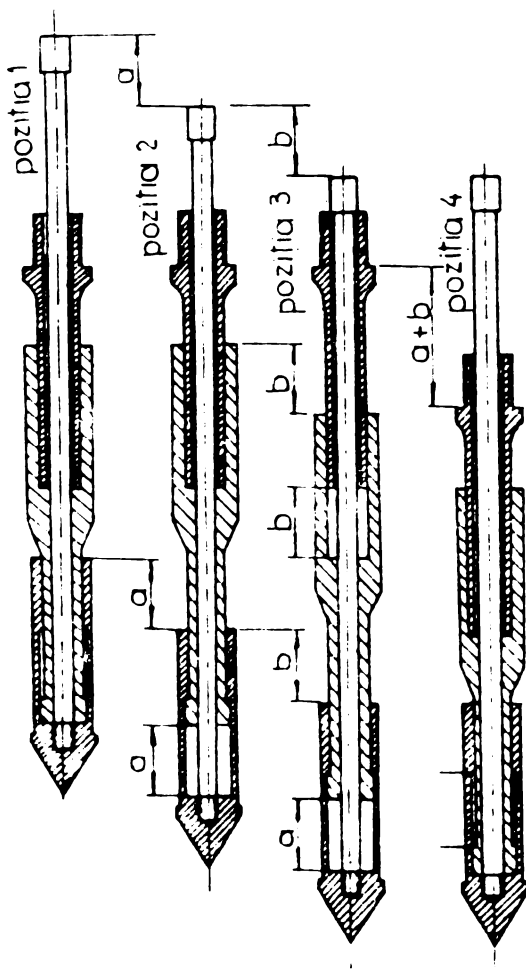


Fig.1.16. Con special cu posibilitate de măsurare a frecării laterale în vecinătatea vîrfului penetrometrului.

Penetrometrul static tip INCERC [129] este aparatul cel mai răspândit la noi în țară, construit după principiul penetrometrului static olandez de 100 kN cu acționare hidraulică cu con fix.

Aparatul este prezentat schematic în figura 1.17 și se compune din următoarele părți:

- echipament de sondare;
- dispozitiv de presare;
- dispozitiv de măsurare a rezistențelor la penetrare;
- dispozitiv de lestare.

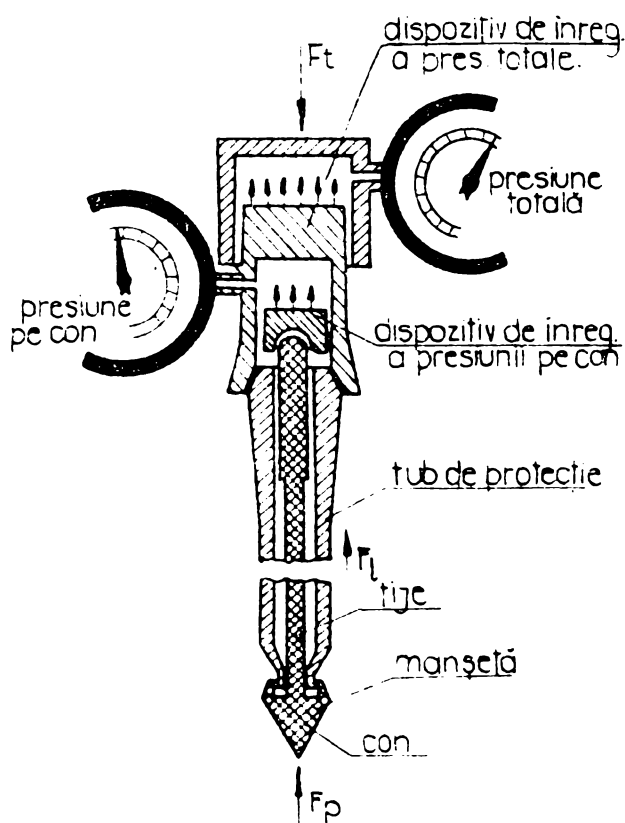


Fig.1.17. Penetrometrul static INCERC- prezentare schematică

șurubat la con. Dispozitivul de presare este hidraulic și este format dintr-o verină a cărei piston antrenează echipamentul de sondare. Acționarea verinei se face cu o pompă de înaltă presiune tip BAC(IMEC) pusă în funcțiune de un motor termic sau electric.

Dispozitivul de măsurare a rezistențelor de penetrare este format din doze manometrice concentrice care permit măsurarea simultan a rezistenței pe con și a rezistenței totale.

Dispozitivul de lestare necesar pentru echilibrarea integrală a forței totale maxime de penetrare poate fi format din 4..6 burghie în funcție de forța care trebuie asigurată sau lest propriu-zis(greutatea autocamionului pe care poate fi montat echipamentul,

Echipamentul de sondare constă dintr-un con cu unghiul la vîrf de 60° și diametrul la bază de 36,5 mm (suprafața 10 cm^2), fix în raport cu tubul de protecție. În cazul cînd se folosesc echipamente de sondare cu manșon, pentru evidențierea frecării, diametrul bazei conului este de 43,7 mm (suprafața 15 cm^2). Conul este montat la un set de tije de oțel format din bare de 1,0 m lungime. Tijele sînt protejate împotriva frecării de teren prin tuburi de 1,0 m lungime, care se îmbină între ele prin înfiletare.

Pentru evitarea pătrunderii pămîntului între tije și manta conul este prevăzut cu o manșetă care îmbracă extremitatea tubului în-

lestat cu plăci metalice suplimentare.

Catedra de Drumuri și Fundații a realizat un autolaborator, fig.1.18, prin echiparea unui autoatelier tip SR 114 cu penetrometru static INCERC precum și cu alte aparate de teren.

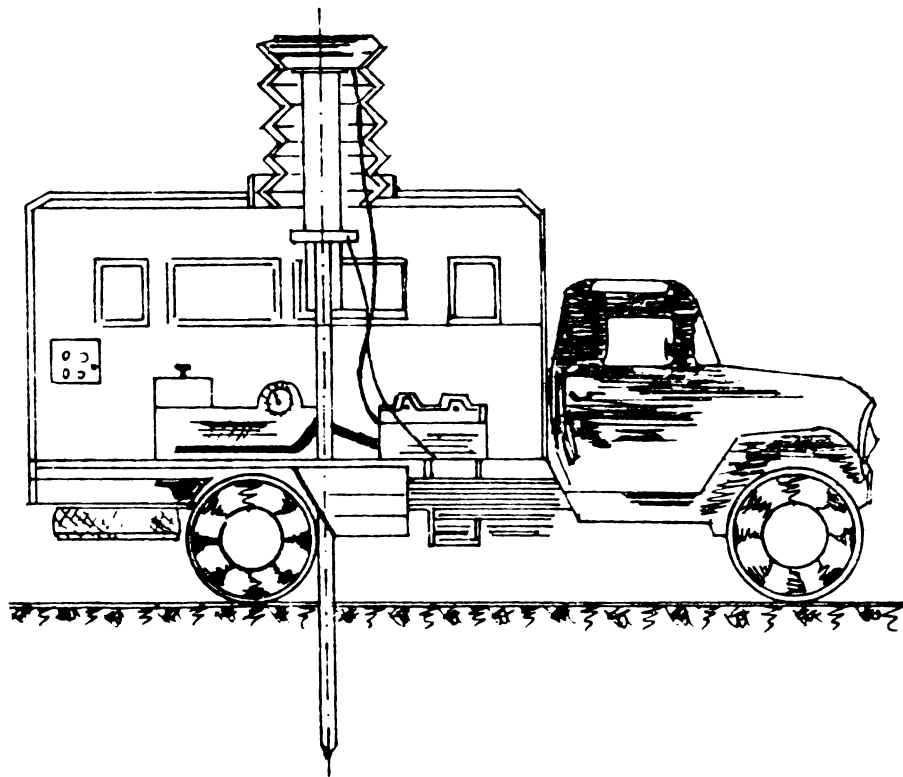


Fig.1.18. Autolaborator echipat cu penetrometru static

Sursa de energie pentru acționarea pompei hidraulice poate fi cea proprie dată de grupul electrogen al autolaboratorului sau poate fi de la rețea.

Penetrometrul Meurisse [94] este asemănător cu cel olandez avînd însă dimensiuni mai mari; diametrul conului 45 mm, la care corespunde suprafața de 16 cm^2 , motiv pentru care necesită forță de penetrare mare pentru străpungerea unor straturi compacte care adeseori prezintă grosime redusă. Din considerente economice penetrometrul este capabil să preia reacțiunea corespunzătoare unei presiuni de maxim 350 daN/cm^2 , la depășirea căreia se apelează la dispozitivul de baterie cu care este echipat penetrometrul; întrucît rezistența pe con scade sub valoarea mai sus-menționată, se reia penetrarea statică.

Meurisse a adus unele modificări conului de penetrare, fig. 1.19. dînd posibilitatea desfacerii legăturii dintre mantaua de protecție și tija cu con, astfel ca în momentul cînd forțele de frecare cresc foarte mult, cercetarea să poată continua în adîncime fără manta.

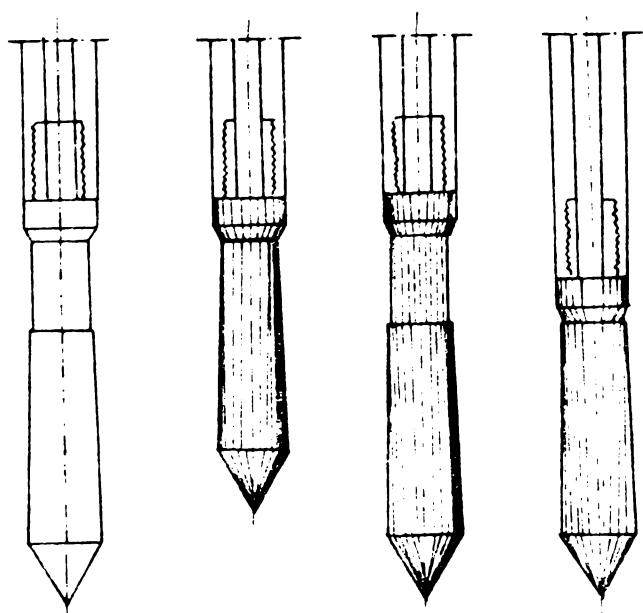


Fig.1.19. Conul de penetrare a aparatului tip Meurisse

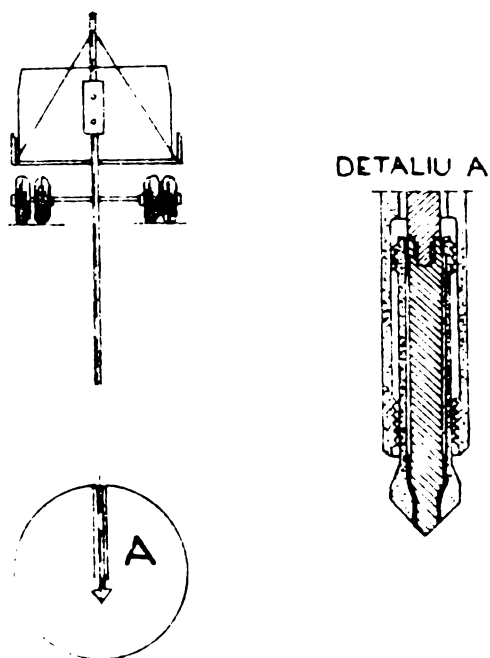


Fig.1.20. Penetrometrul Jangot-Bonneton

re permite ridicarea părții centrale a conului împreună cu coloana de tije.

Cu penetrometrul echipat cu tije \varnothing 35 mm se pot atinge rezistențe pe vîrf de 1000 daN/cm^2 , secțiunea conului egală cu a tijei, fiind mai mică de 10 cm^2 , însă apare inconvenientul imposibilității de separare a rezistenței pe vîrf de frecare laterală. Dificultatea se poate elimina prin măsurarea forței de smulgere, care în pămînturi necoezive poate fi asimilată cu frecarea laterală [94].

Penetrometrul Jangot-

Bonneton fig.1.20 este un penetrometru capabil să dezvolte o forță de 100 kN putîndu-se utiliza pînă la adîncimi mari. Este montat pe un autocamion cu posibilități de lestare și ancorare. Diametrul tuburilor este de 60 mm iar a tijelor de 25 și 35 mm.

Conul de penetrare este format din două părți concentrice. Coroana exterioară este flotantă (fig.1.20, detaliul A) iar partea centrală a conului este solidară cu tijele \varnothing

25 mm. În timpul penetrării partea centrală antrenează coroana exterioară. În momentul în care s-a atins valoarea limită a forței de penetrare și există pericolul de flambare sau rupere a tijelor, se extrag tijele cu diametru de 25 mm și se înlocuiesc cu cele de \varnothing 35 mm, confecționate din oțel special. Mantaua rămîne pe loc și penetrarea continuă fără tuburi de protecție. Înlocuirea tijelor este posibilă prin construcția specială a vîrfului ca-

Extragerea tijelor cu rămânerea pe loc a mantalei dă posibilitatea de determinare cu precizie a nivelului apei subterane și de trecere a unor carotiere mici pentru extragerea probelor de teren la fel ca la un foraj tubat.

La terenuri foarte compacte, unde prin penetrare statică nu se poate străpunge stratul, se pot efectua penetrări dinamice. Partea superioară a aparatului, care servește pentru înfigerea tuburilor, are masa de 300 kg și cade de la 40 cm înălțime pe o nișoară fixată de tijele cu diametrul de 35 mm. Pentru stabilirea rezistenței la penetrare se măsoară pătrunderea conului sub acțiunea a 10 lovituri.

Penetrometrul Degebo este un aparat care permite măsurarea continuă a rezistenței pe vîrf pe cale electrică prin intermediul unei coarde vibrante legată cu cablu electric de aparatul de măsură.

Conul cu secțiunea de 10 cm^2 este prevăzut cu o doză Meihak care are un inel elastic din oțel (fig.1.21), care se comprimă în funcție de rezistența opusă de teren la înaintarea conului de penetrare. În axa conului, în dreptul inelului se găsește o coardă care rămîne întinsă (tensionată) indiferent de valoarea compresiunii din inel, valoare care influențează asupra frecvenței de oscilație a acesteia. În funcție de frecvența înregistrată la aparat se determină presiunea pe vîrf.

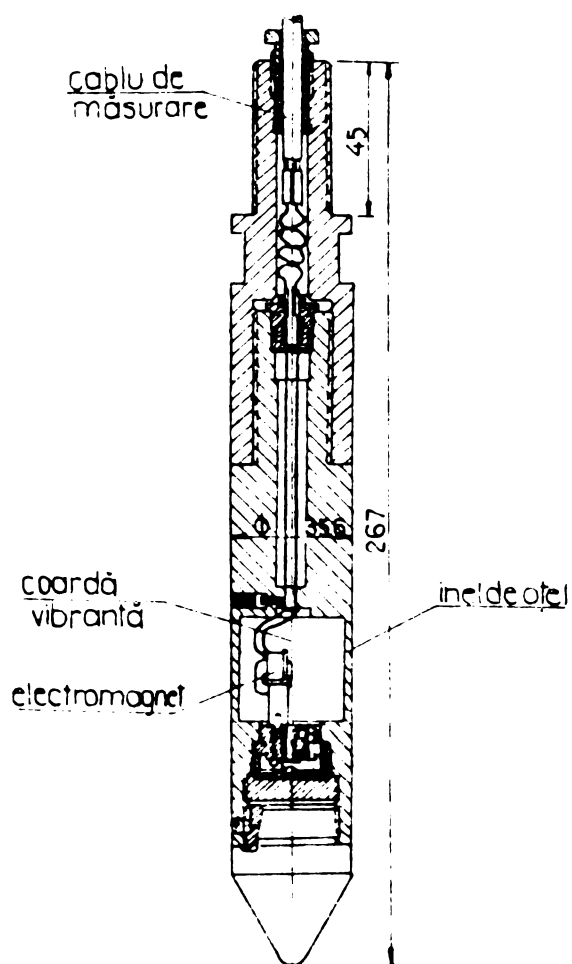


Fig.1.21. Conul de penetrare al aparatului lui Degebo

Frecarea laterală nu se poate măsura deoarece mantaua are diametrul mai mic decât conul pentru a se putea efectua penetrări la adâncimi mari. Dacă în unele situații este necesar să se cunoască valoarea frecării laterale, deasupra conului se montează o mufă (bucșe) de 50 cm lungime pe care se măsoară frecarea.

Penetrometrul static rotativ suedez [126] este un penetrometru cu vîrf spiral care se introduce în

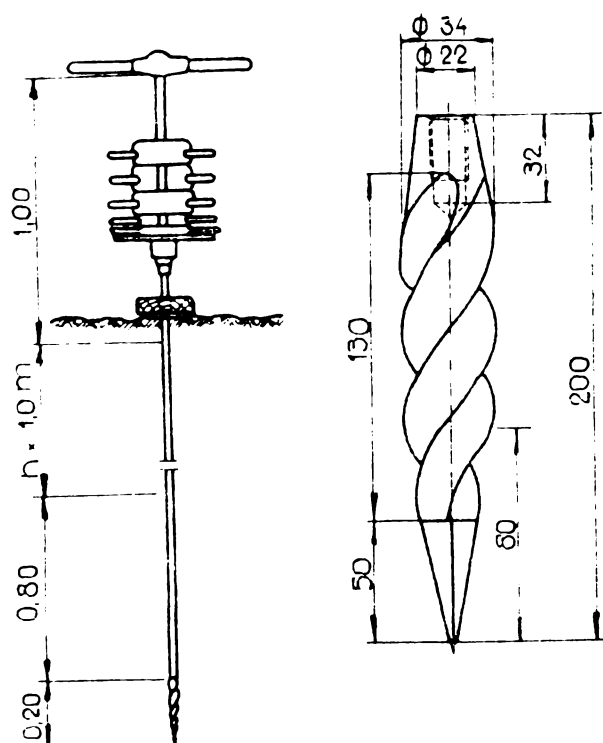


Fig.1.22. Penetrometru static rotativ suedez

teren prin rotire, coloana de tije fiind încărcată cu greutate, fig.1.22.

Cu ajutorul greutăților se obține forța de 5, 15, 25, 50, 75 și 100 daN. Incărcarea se face în funcție de rezistența terenului, iar viteza de lucru recomandată este de $2 \div 5$ cm/s. Pentru aprecierea rezistenței terenului și a unor caracteristici se înregistrează numărul de semirotații pentru pătrunderea pe adâncime constantă (de exemplu 20 cm).

Această metodă de cercetare este standardizată în Suedia și larg utilizată în țările scandinave [16], [28], [101].

Acționarea penetrometrului poate fi manuală sau mecanică, fapt de care trebuie să se țină seama la interpretarea rezultatelor.

1.7.1.2. Tehnologia de efectuare a încercării

Efectuarea unui sondaj de penetrare statică comportă o serie de operații, care se pot grupa în :

- pregătirea încercării;
- efectuarea sondajului de penetrare propriuzis;
- extragerea echipamentului de sondare;
- pregătirea aparatului pentru a fi transportat pe un nou amplasament.

Pregătirea încercării constă în nivelarea terenului pe amplasamentul punctului de lucru, aducerea aparatului pe punctul de lucru, calarea și fixarea acestuia.

Efectuarea încercării propriuzise, constă în introducerea sondei de penetrare în teren și măsurarea rezistenței pe con și a frecării pe menta sau a rezistenței totale la intervale egale de adâncime (10 sau 20 cm). Operația continuă pînă la atingerea adâncimii de cercetare sau pînă la epuizarea capacității aparatului.

Extragerea echipamentului de sondare constă în extragerea din teren a tijelor și a mantalei pe tronsoane, cu dispozitive speciale (oricuri) sau prin alte mijloace ale aparatului, de exemplu hidraulic.

Pregătirea aparatului pentru a fi transportat pe un alt amplasament cuprinde totalitatea operațiilor necesare pentru a aduce penetrometrul în poziție de transport (de exemplu blocarea sistemului de acționare, scoaterea burghiilor de ancoraj etc).

Tehnologia de lucru pentru penetrometrele statice utilizate la noi în țară sînt descrise detaliat în STAS 1242/2/76 și în instrucțiunile tehnice C 159-73 [129].

Volumul lucrărilor de cercetare a terenului prin penetrare statică depinde de scopul urmărit, în sensul posibilității de utilizare a metodei pentru cercetarea terenului de fundare sau testarea unor lucrări de consolidare a terenurilor slabe de fundare. În primul caz volumul încercărilor depinde de amploarea și natura construcțiilor, de natura terenului de fundare și de gradul de cunoaștere ale acestuia prin studii anterioare sau prin procedee de investigație clasice (foraje, puțuri, șanțuri) sau de cercetare "in situ".

Pe amplasamentul cercetat se va executa mai întîi un sondej de penetrare statică în imediata vecinătate a unui foraj, pentru care se determină diagrama de variație a rezistenței de penetrare cu adîncimea, ce va fi considerată ca diagramă etalon pentru amplasamentul dat. Restul forajelor pot fi înlocuite prin sondeaje de penetrare statică; în cazul în care diagramele de penetrare obținute se deosebesc de diagrama etalon se vor executa noi foraje cu prelevări de probe și analize de laborator.

Distanța minimă între penetrarea etalon și foraj va fi de 1,0-5,0 m, funcție de posibilitatea de deviere spre foraj (în cazul adîncimilor mari) și de remaniere a terenului după forare (în cazul terenurilor necoezive, sub nivelul apelor subterane).

În terenuri omogene, amplasamentele construcțiilor importante se cercetează prin minimum trei penetrări, iar amplasamentele destinate dezvoltării industriale, urbanistice etc., prin minimum o penetrare la 1000 m².

Pentru terenurile neomogene programul de cercetări prin penetrări se stabilește de la caz la caz.

Adîncimea sondajelor de penetrare se ia egală cu cea stabilită pentru foraje, ea limitîndu-se însă la capacitatea aparatului.

În cazul testării terenurilor slabe de fundare consolidate prin diferite procedee metoda penetrării statice se utilizează

pentru aprecierea calității și adâncimii de extindere a efectului consolidării precum și a unor caracteristici ale terenului. În acest scop se efectuează penetrări în terenul neconsolidat purtând denumirea de penetrări martor, a căror număr se stabilește de către organul de cercetare, în funcție de extinderea și neomogenitatea terenului și penetrări de control în terenul consolidat, numărul acestora fiind stabilit tot de organul de cercetare în funcție de elementele menționate în cazul penetrărilor martor și de procedeul de consolidare utilizat.

1.7.1.3. Prelucrarea datelor și interpretarea rezultatelor

În cele ce urmează se va prezenta modul de prelucrare a datelor primare înregistrate pe teren cu ocazia efectuării sondajului de penetrare cu penetrometrul tip INCERC. La alte tipuri de penetrometre prelucrarea se face în mod asemănător, ținând seama de datele primare specifice care se înregistrează. Deasemenea se vor prezenta câteva aspecte mai semnificative legate de interpretarea rezultatelor din punct de vedere calitativ, aspectele cantitative fiind prezentate în capitolul 2.

Datele primare obținute pe teren sînt presiunile înregistrate la cele două manometre, (fig.1.17), pe baza cărora, în funcție de diagramele de etalonare, proprii aparatului, se determină forța necesară învingerii rezistenței terenului la înaintarea conului de penetrare, F_p și forța totală pentru înfigerea penetrometrului în teren, F_1 .

Rezistența pe con, R_p și frecarea laterală F_1 se calculează cu relațiile:

$$R_p = \frac{F_p + G_t}{S} \quad (1.6)$$

$$F_1 = F_t - F_p + G_{t+m} \quad (1.7)$$

unde: G_t - greutatea coloanei de tije;

G_{t+m} - greutatea coloanei de tije și a mantalei de protecție;

S - suprafața conului de penetrare.

Cu valorile calculate se trasează diagramele de variație a rezistenței pe vîrf, respectiv a frecării laterale, însoțite de coloana litologică a terenului determinată cu ajutorul forajului de control, fig.1.23.

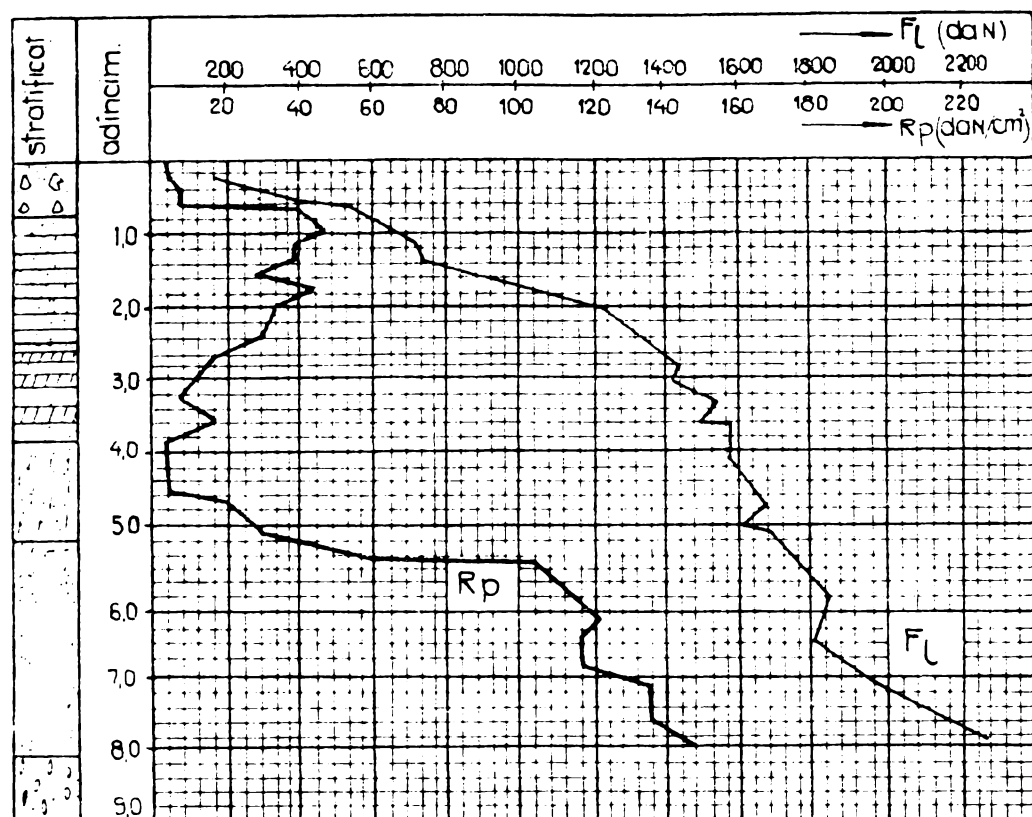


Fig.1.23. Diagrama de variație a rezistenței la penetrare. Rp-rezistența pe vîrf; F_l -frecarea laterală

Interpretarea datelor penetrării statice este o problemă dificilă și mult controversată din cauza complexului de factori care influențează asupra datelor primare înregistrate cu ocazia efectuării sondejului de penetrare. Găsirea unor corelații cu valabilitate generală între rezistența la penetrare și diverse

caracteristici ale terenului nu s-a fost posibilă. Ori de câte ori se stabilesc corelații prin prelucrări statistice întotdeauna este necesar să se precizeze și domeniul de valabilitate a acestora.

Deși sondajul de penetrare statică are aplicabilitate largă privind natura terenului, iar prin datele furnizate printr-o prelucrare atentă se pot obține multe elemente cu privire la terenul cercetat, totuși există inerție în aplicarea metodei tocmai din cauza dificultății în ce privește interpretarea cantitativă corectă a datelor, care depinde în mare măsură de experiența cercetătorului.

Prelucrarea calitativă a datelor este mai simplă și în același timp capabilă să furnizeze o serie de elemente legate de terenul cercetat. Astfel, se obțin date legate de natura terenului, stratificație, gradul de neuniformitate a depozitelor întâlnite, adîncimea la care se găsește stratul de bază, se facilitează depistarea unor straturi slabe care favorizează pierderea stabilității terenului, se apreciază gradul de îndesare a pămînturilor necoezive și consistența pămînturilor coezive.

Chiar prin simpla comparare a unor diagrame de penetrare obținute pe amplasament, cu diagrame etalon, efectuate pe baza datelor sondajului de penetrare executat lîngă un foraj de control sau cu o diagramă martor în cazul testării calității unor lucrări de

consolidare a terenurilor slabe [39], se obține reducerea substanțială a lucrărilor clasice de investigație care prezintă avantaj economic substanțial și scurtarea termenului de efectuare a cercetării.

În zonele în care se cunoaște bine geologia generală, combinarea diagramei de variație a rezistenței de penetrare pe vîrf, R_p cu diagrama de variație a frecării laterale, F_1 permite obținerea unor date informative asupra naturii straturilor de teren și a neomogenității acestora. De fapt, combinarea se referă la analiza în paralel a alurii celor două diagrame, din care pe baza unei experiențe dobîndite în domeniul cercetării terenurilor prin penetrare, precum și pe baza fenomenelor fizice care apar în teren în timpul efectuării sondajului de penetrare se pot trage concluzii asupra terenului.

În instrucțiunile tehnice C 159-73 [129] este dat un tabel cu ajutorul căruia se poate stabili orientativ natura terenului după alura diagramelor de penetrare.

Pe baza diagramelor de penetrare și a prospecțiunilor prin forajele de control se întocmesc profile de stratificație sau bloc diagrame din care rezultă grosimea diferitelor straturi și gradul de neuniformitate al terenului de fundare în adîncime și în plan orizontal.

La pămînturile necoezive, în funcție de rezistența de penetrare pe con, R_p , se poate aprecia starea de îndesare. După Meyerhoff [63], pe baza unor cercetări statistice, aprecierea stării de îndesare se face după valorile din tabelul 1.1.

Tabelul 1.1.

Starea de îndesare a nisipului	Gradul de îndesare	Rezistența de penetrare pe con R_p daN/cm^2
Foarte afînat	$< 0,2$	< 20
Afînat	0,2 0,4	20 - 40
Compact	0,4 0,6	40 - 120
Îndesat	0,6 0,8	120 - 200
Foarte îndesat	$> 0,8$	> 200

Stefanoff și Beikoff [107] indică valori destul de apropiate de cele din tabelul 1.1., astfel pentru $R_p < 45 \text{ daN/cm}^2$ corespunde un nisip în stare afînată, iar pentru $R_p > 110 \text{ daN/cm}^2$, nisip în stare îndesată.

În tabelul 1.2. sînt date valorile pe baza cărora se apreciază starea de îndesare a nisipurilor, conform instrucțiunilor tehnice C 159-73 [129] și care sînt foarte apropiate de cele indicate de Trofimenkov [113].

Tabelul 1.2.

Ad. sondaj m	Rezist. la penetrare pe con Rp	Nisip mare			Nisip media			Nisip fin		
		Indes.	Indes. medie	Afinat	Indes.	Indes. medie	Afinat	Indes.	Indes. medie	Afinat
5,0	daN/cm ²	>150	150-100	<100	>100	100-60	<60	>60	60-30	<30
10,0		>220	220-150	<150	>150	150-90	<90	>90	90-40	<40

Starea de consistență a pămînturilor coezive se poate aprecia în funcție de rezistența de penetrare Rp; valori orientative au fost prezentate de Stefanoff și Baikoff [107], tabelul 1.3.

Tabelul 1.3.

Rezistența de penetrare pe con Rp [daN/cm ²]	Indicele de consistență I _c
5	< 0
5 - 10	0 - 0,25
10 - 15	0,25 - 0,50
15 - 30	0,50 - 0,75
30 - 60	0,75 - 1,00
> 60	> 1,0

Posibilitatea de apreciere a stării de îndesare la pămînturile necoezive și a consistenței pămînturilor coezive prezintă un avantaj remarcabil al sondajului de penetrare, întrucît pe baza acestora se poate estima capacitatea portantă a terenului. Astfel, în STAS 8316/77 presiunea convențională a nisipurilor este dată în funcție de starea de îndesare, iar a pămînturilor coezive în funcție de consistență și indicele porilor.

Din cele arătate mai sus rezultă că însăși prelucrarea calitativă a datelor sondajului de penetrare oferă suficient de multe avantaje pentru ca metoda să fie aplicată pe scară largă.

1.7.2. Cercetarea terenului prin penetrarea dinamică cu con

Inercarea de penetrare dinamică cu con constă în introducerea în teren a unei sonde, prevăzută la partea inferioară cu un vîrf conic, sub efectul lucrului mecanic dezvoltat de un berbec în cădere. Inercarea poartă denumirea de "penetrare dinamică cu con" spre a o deosebi de penetrarea dinamică standard.

Rezistența terenului la înaintarea conului depinde de natura și caracteristicile fizico-mecanice ale straturilor întîlnite, adîncimea la care se găsește vîrfurile conice față de nivelul terenului, nivelul apelor subterane, caracteristicile utilajului, viteza de penetrare etc.

Inercarea face parte din gama metodelor corelative de cercetare a terenurilor permițînd reducerea și completarea metodelor clasice de investigație și obținerea unor elemente suplimentare pentru stabilirea condițiilor de fundare.

Inercarea de penetrare dinamică cu con poate fi folosită și pentru testarea calității unor lucrări de consolidare a terenurilor slabe de fundare și pentru aprecierea capacității portante a piloților. Deasemenea prin sondajul de penetrare dinamică se pot obține date informative asupra unor caracteristici fizice și mecanice ale terenului.

Sondajul de penetrare dinamică cu con se poate aplica la pămînturile necozive sărace în particule grosiere (pietriș, prundiș) și lipsite de bolovăniș în care filtrarea apei se produce simultan cu aplicarea loviturilor.

În pămînturile coezive cu permeabilitate redusă și de obicei saturate, încercarea are aplicații limitate utilizîndu-se la delimitarea straturilor cu consistență diferită.

Inercarea terenurilor prin sondaj de penetrare dinamică a fost folosită cu precădere de Künzel [53] și Parproth [69]. După cel de al doilea război mondial datorită simplității, rapidității și prețului de cost redus, procedeul s-a extins în Elveția, RFG, URSS, Franța etc.

În RFG utilajele au fost standardizate în cadrul DIN 4094/1 [123] iar ulterior în cadrul DIN 4094/2 [124] s-au prezentat factorii care influențează rezultatele penetrării.

În țara noastră I.C.S.P.C. (actualmente ISPIF București) a inițiat utilizarea metodei în anul 1952 dar aplicarea s-a făcut sporadic.

Catedra de Drumuri și Fundații în colaborare cu IPROTIM s-a preocupat de problema penetrării dinamice cu con; astfel în 1958 s-a proiectat și executat un penetrometru dinamic ușor [35], iar ulterior prin sporirea lucrului mecanic s-a proiectat și executat penetrometrul mijlociu și greu [73].

La ora actuală, datele furnizate de sondajul de penetrare se utilizează aproape cu precădere pentru preluorări calitative și mai rar pentru preluorări cantitative, dar există preocupare susținută, pe plan mondial, pentru mărirea sferei acestora din urmă, pentru exploatarea la maxim a unor date obținute pe teren relativ ușor.

1.7.2.1. Aparatura

Penetrometrele dinamice sînt foarte variate, ele fiind în funcție de lucrul mecanic dezvoltat de berbecul în cădere, modul de acționare a berbecului, manual sau mecanic și modul de înregistrare a numărului de lovituri pentru înaintarea conului pe adîncime constantă, "z".

Elementul cel mai important este lucrul mecanic dezvoltat de berbec, după mărimea căruia penetrometrele se clasifică în:

- penetrometre dinamice ușoare (PDU);
- penetrometre dinamice mijlocii (PDM);
- penetrometre dinamice grele (PDG).

Masa berbecului la PDU este, de regulă, de 5...20 Kg, la PDM, 20...40 Kg iar la PDG, 50...100 Kg.

Înălțimea de cădere a berbecului este impusă de lucrul mecanic care trebuie realizat și se fixează prin construcția aparatului.

După modul de construcție, penetrometrele dinamice se clasifică în:

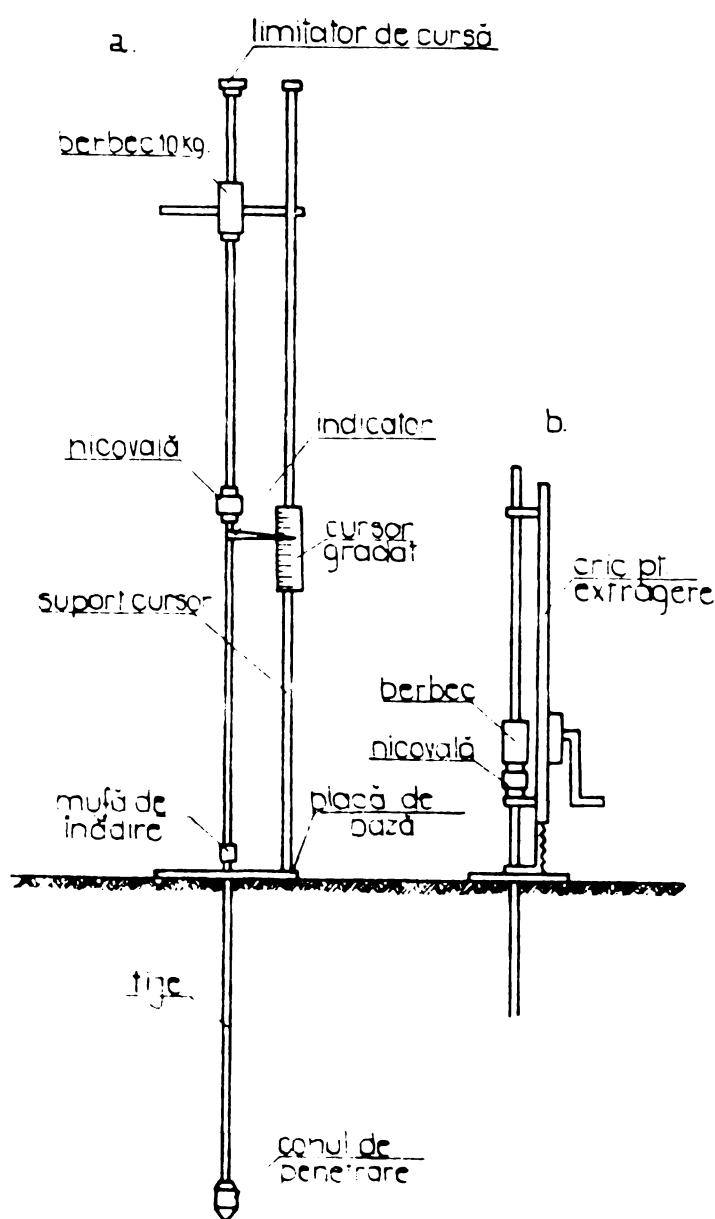
- penetrometre fără manta de protecție;
- penetrometre cu manta de protecție;
- penetrometre cu con recuperat;
- penetrometre cu con pierdut.

Penetrometrele dinamice fără manta de protecție sînt utilizate cel mai des, întrucît prezintă o serie de avantaje datorită simplității, rapidității de execuție a sondajului și costului redus. Pentru micșorarea sau chiar eliminarea forței de frecare, conul de regulă recuperabil, are diametrul sensibil mai mare față de cel al tijei.

S-au conceput penetrometre la care diametrul tijelor s-a luat egal cu cel al conului, însă ele se folosesc din ce în ce mai rar deoarece mobilizează simultan frecarea laterală și rezistența pe con, fără posibilitatea de separare a acestora. Folosirea lor a rămas limitată la aprecierea capacității portante a piloților, de altfel și în acest caz discutabilă [94] din cauza similitudinii imperfecte.

Penetrometrele cu manta de protecție, deși elimină frecarea pe tije, au utilizare restrânsă, deoarece complică manevrarea și ridică prețul de cost al sondajului.

Penetrometrele cu con pierdut se utilizează în străinătate (Canada, SUA) pentru a ușura recuperarea coloanei de tije, după executarea sondajului de penetrare.



Penetrometrul dinamic ușor este cel mai potrivit pentru cercetare rapidă cu mijloace simple. Aparatul poate fi manevrat de doi oameni, la nevoie chiar de unul. Adâncimea de cercetare poate atinge cca 8,00 m în pământuri cu îndesare mai redusă și cu fragmente nu prea mari. La adâncimi mai mari, lucrul mecanic dezvoltat de berbec este consumat substanțial de fenomenele parazitare.

În cazul când se străbat straturi moi, pentru a stabili adâncimea la care apar straturi mai rezistente, se pot atinge și cu PDU adâncimi peste 8,0 m.

Părțile principale, comune celor trei tipuri de penetrometre, PDU, PDM și PDG, sînt:

- dispozitivul de baterie;
- coloana de tije;
- vârful conic;
- extractorul de tije.

Fig.1.24. Penetrometru dinamic ușor

În figura 1.24. se prezintă în mod schematic un penetrometru dinamic ușor.

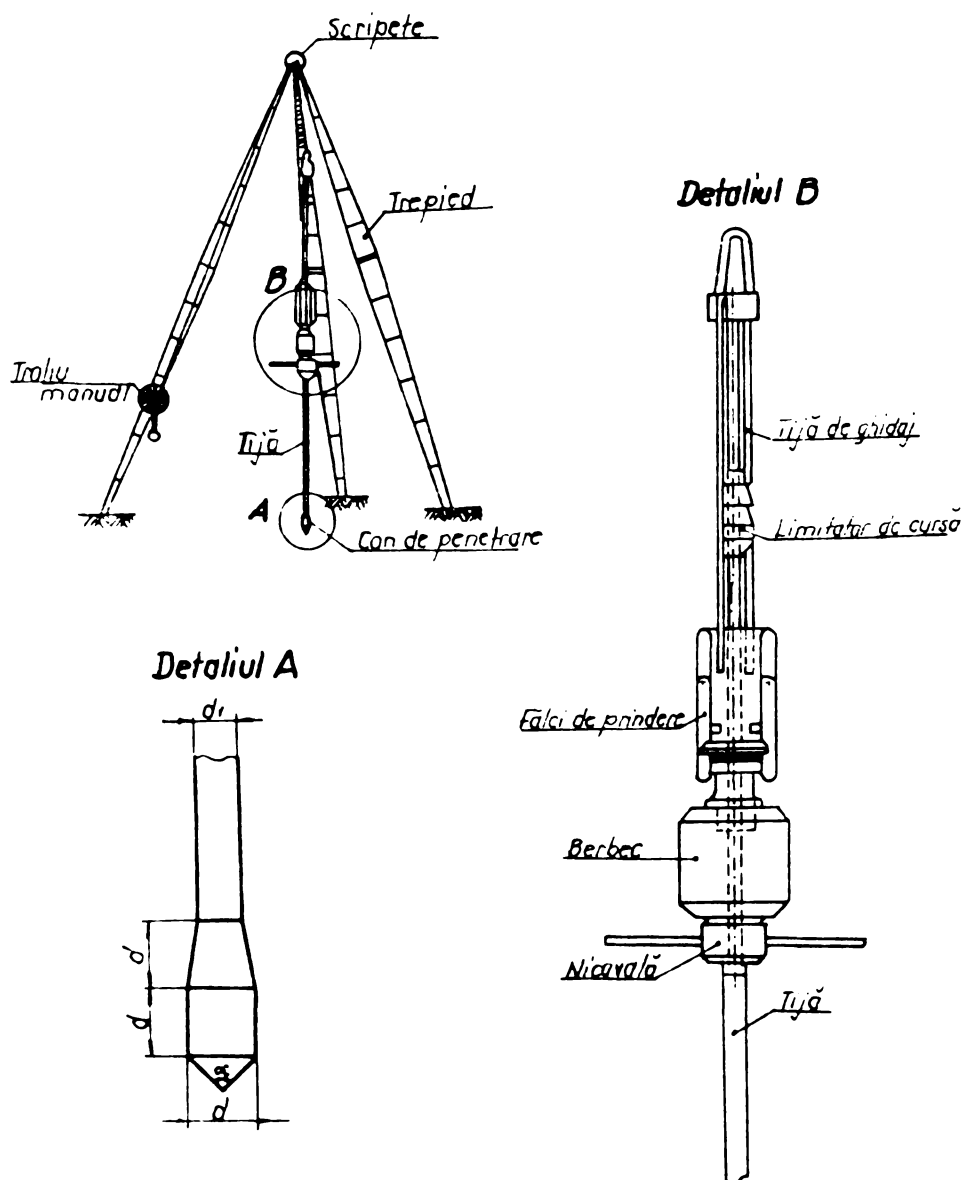


Fig.1.25. Penetrometrul dinamic mijlociu și greu cu acționare manuală

Dispozitivul de batere constă din berbec, care poate avea diferite mase, în funcție de tipul penetrometrului, nicovală, tijă de ghidaj și limitatorul de cursă cu care se fixează înălțimea de cădere a berbecului. Coloana de tije este formată din tronsoane de 1... 2,0 m lungime, îmbinate ca să reziste la șoc. Vîrfurile conice este realizat din oțel de calitate superioară fiind partea cea mai expusă în timpul sondajului de penetrare.

Extractorul de tije face parte din echipamentul penetrometrului și se realizează, de obicei, sub forma unui cric care se utilizează pentru recuperarea coloanei de tije.

Penetrometrele dinamice mijlocii și grele mai au elemente accesorii necesare ridicării berbecului. Astfel penetrometrul mijlociu și greu cu acționare manuală este echipat cu un trepied de susținere și un trolu manual, fig.125, iar cele mecanice cu dispozitiv de ghidare și echipament de acționare.

La Simpozionul de la Stockholm [62] [114], țările participante au prezentat aparatura utilizată pentru efectuarea sondajelor de penetrare, foarte variată așa cum rezultă din tabelul 1.4, în care sînt trecute principalele caracteristici ale acestora.

Tabelul 1.4.

Tara	Caracteristicile penetrometrului dinamic					Observații
	Diametru con	Masa ber- bec	Inălți- me de că- dere	Unghiul conului	Diametru tijei	
	mm	kg	cm	o	mm	
1	2	3	4	5	6	7
Bulgaria	25	20	25	90	-	PDU
	47,7	50	50	90	-	PDM
	74	60	80	60	-	PDG
Elveția	35,6	10	50	90	22	Ac.mec.în- reg.electr. PDU
	36	20	50	90	24	PDU
	36	20	30	30	23	50%din nr. penetrom. PDM
	43,7	50	50	90	32	Ac.mec.în- reg.electr. PDG
	62	60	50	90	38	PDG
	62	50	32	90	43x43	PDG
	43,7	50	50	60	33,5	PDG
	43	50	50	60	32	PDG
Franța	60	25	25	-	32	Penetrometru BIG
	60	75	75	-	32	
	65	150	150	-	45	E.T.F.1963
	50	15	100	-	34	VERITAS PDU
	35	8	80	-	25	SOCOTEC PDU
	60	60	50	-	32	BERG 1962
	55	60	50/150	-	42	SOBESOL-1960
	75	130,74	100	-	31,5	DEREMEYER
	35	5,2	100	-	18	ANN
	43,7	50	50	-	32	SISCO 1969
	60	75	65	42	-	PILCON
	25,2	10	50	22	-	NORDMEYER PDU.Electro automatic
	43,7	50/69,3 /100	50/76,2	32	-	NORDMEYER PDG
	43,7	50/100	50	32	-	BÖTTE
	60	25/50	40	36	-	Geotechnique appliquée
63	65	75	41	-	TECHNOSOL 1963	
RFG	25,2	10	50	22	90	PDU-PDM
	35,6	10	50	22	90	PDU-PDM
	43,7	50	50	32	90	PDG
Italia	51	73	75	33	60	Se măsoară N30-PDG
Grecia	43	50	50	32	90	se măsoară N20-PDG
Marea Britanie	50	72,5	76	25	-	se măsoară N30.Terza- ghi-Peck 1967

Tabelul 1.4 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7
Polonia	35,6	10	50	-	60	PDU
	50,5	65	-	75	60	PDG
Portugalia	30	10	50	25	90	PDU
URSS	74	30	40	-	60	PDU
	74	60	80	-	60	PDM
	74	120	100	-	60	PDG

Notă: N_{20} , reprezintă numărul de lovituri pentru pătrunderea penetrometrului cu 20 cm, iar N_{30} pentru pătrundere de 30 cm. În general la celelalte penetrometre se înregistrează pătrunderea pe adâncime de 10 cm.

La noi în țară se utilizează trei tipuri de penetrometre [131] a căror caracteristici sînt prezentate în tabelul 1.5.

Tabelul 1.5.

Tipul penetrometrului dinamic cu con	Caracteristicile penetrometrului					Obs.
	Diametru con mm	Masa berbec Kg	Înălțime de cădere cm	Unghiul conului °	Diametru tijă mm	
1	2	3	4	5	6	7
Ușor	35,6	10	50	90	22	PDU
Mijlociu	43,7	35	50	90	32	PDM
Greu	43,7	50	50	90	32	PDG

1.7.2.2. Tehnologia de efectuare a încercării

În general încercarea începe de la suprafața terenului și mai rar de la talpa săpăturii sau de la pardoseala subsolului în funcție de scopul pentru care se execută cercetarea (prospectare, verificarea terenului de fundare în groapa de fundație sau în subsolul unei construcții existente). Încercarea se poate executa și în gaură de foraj.

Efectuarea unui sondaj de penetrare dinamică cu con comportă aceleași operații ca la penetrarea statică prezentată la punctul 1.7.1.2.

Pregătirea încercării de penetrare dinamică cu con constă în nivelarea suprafeței terenului, așezarea aparatului în poziție de lucru, montarea primei tije și asigurarea verticalității acesteia.

Pentru asigurarea verticalității pe primii 0,50...1,0 m se aplică lovituri ușoare cu berbecul de la înălțime 20-25 cm. În continuare înfigerea coloanei de tije se face lăsând să cadă berbecul de la înălțimea prevăzută prin construcția aparatului.

Efectuarea încercării propriu-zise constă în aplicarea loviturilor cu frecvență de 15-30 lov/min asupra tijelor, prin căderea liberă a berbecului de la înălțime constantă și înregistrarea numărului de lovituri pentru înaintarea conului penetrometrului cu 10 sau 20 cm; se poate înregistra și adâncimea de înfigere sub un număr constant de lovituri (căzături ale berbecului).

Pe măsura înfigerii, coloana de tije se prelungeste prin introducerea unui tronson de tije între nicovală și coloana înfiptă în teren.

Extragerea echipamentului de sondare constă în recuperarea coloanei de tije cu ajutorul unui extractor de regulă manual și mai rar mecanic.

Tehnologia de lucru pentru penetrometrele dinamice utilizate la noi în țară sînt descrise detaliat în Instrucțiunile tehnice O 176-75 [131].

Volumul lucrărilor de cercetare prin sondaje de penetrare dinamică cu con, amplasarea acestora precum și adâncimea pînă la care se execută se stabilește în mod asemănător ca la penetrarea statică (punctul 1.7.1.2).

1.7.2.3. Prelucrarea datelor și interpretarea rezultatelor

Datele primare, reprezentînd numărul de lovituri pentru pătrunderea penetrometrului pe adâncime constantă z , N_z , servesc pentru trasarea diagramei A, din fig.1.26. Mai rar se înregistrează adâncimea de înfigere pentru un număr constant de lovituri cu care se trasează diagrama B.

În DIN 4094/1 [123] mai este indicat un mod de prezentare a datelor penetrării dinamice, unde pe abscisă în locul numărului de lovituri se trece lucrul mecanic efectuat pe unitatea de volum de pămînt dislocat de penetrometru, determinat conform relației:

$$L = N_z \frac{Q_1 \cdot H}{A \cdot z} \quad \text{daN} \cdot \text{cm/cm}^3 \quad (1.8)$$

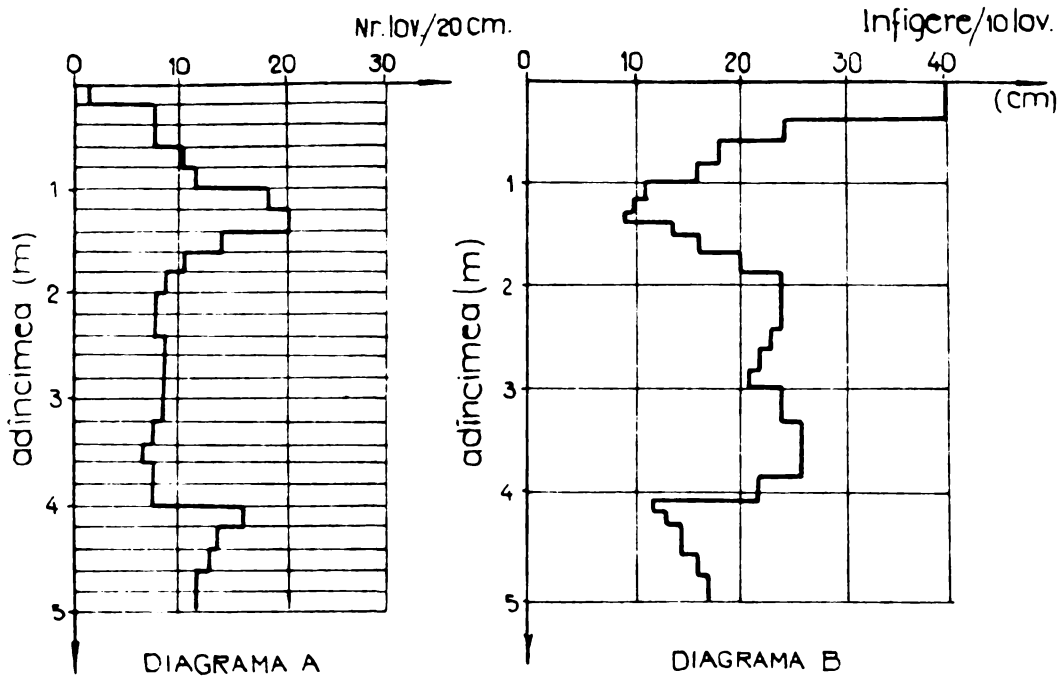
în care: N_z - numărul de lovituri pentru înfigerea conului pe adâncimea constantă, z ;

Q_1 - greutatea berbecului, în daN;

H - înălțimea de cădere, în cm;

A - secțiunea transversală a conului, în cm^3 .

Dintre cele trei moduri de prezentare a datelor sondajului de penetrare dinamică, cea utilizată frecvent este sub forma diagramei A din fig.1.26.



Interpreta-
rea datelor
penetrării
dinamice cu
con constituie
o problemă mai
dificilă decât
în cazul pe-
netrării sta-
tice din cau-
za fenomene-
lor mai com-
plexe care iau
naștere în te-
ren pe parcur-
sul efectuării

Fig.1.26. Diagrama de penetrare dinamică

sondajului de penetrare, precum și a multitudinii de factori care influențează asupra rezistenței de penetrare. Varietatea mare a aparatelor, așa cum rezultă din tabelul 1.4. complică și mai mult găsirea unui factor comun în stabilirea unor corelații cu aplicabilitate largă.

La ora actuală, penetrarea dinamică cu con se utilizează în majoritatea cazurilor pentru prelucrări calitative și cu aplicații limitate pentru prelucrări cantitative.

În cadrul prelucrării calitative, rezultatele sondajului de penetrare se utilizează la:

- extrapolarea identificării litologice făcute prin sondaje;
- reperarea diferitelor orizonturi litologice;
- verificarea uniformității litologice pe suprafața unui amplasament;
- verificarea compactării depozitelor naturale și artificiale pe baza unor diagrame de penetrare etalon;
- identificarea pământurilor sensibile la umezire;
- evaluarea capacității portante a piloților, în corelație cu capacitatea portantă determinată prin încercări de probă.

Modul de utilizare a datelor penetrării dinamice cu con pentru determinarea unor aspecte calitative se aseamănă cu cea a penetrării statice (punctul 1.7.1.3) și este expus detaliat în Instrucțiunile tehnice C 176-75 [131]. În cele ce urmează se vor semnaliza doar unele elemente mai deosebite și specifice penetrării dinamice cu con.

Penetrarea dinamică cu con fiind o metodă de investigare continuă, permite detectarea și controlul stratificației terenului de fundare, deoarece rezistența de penetrare pe vîrf, exprimată prin numărul de lovituri " N_z " variază în funcție de natura terenului. Cu această metodă pot fi sesizate chiar și intercalații subțiri, care se diferențiază de pachetul în care se găsesc.

În cazul în care diagrama de penetrare nu delimitează clar orizonturile litologice sau cînd apar neconcordanțe cu stratificația din forajul de referință, se recomandă utilizarea diagramei integrale sau diferențiale.

Diagrama integrală reprezintă variația numărului de lovituri însumat ($\sum N_z$) cu adîncimea. Diagrama prezintă puncte de inflexiune între care se acceptă o variație liniară (fig. 1.27 b).

Punctul de inflexiune în diagrama integrată și salturile din cea diferențială, indică cota delimitării dintre straturi cu caracteristici diferite.

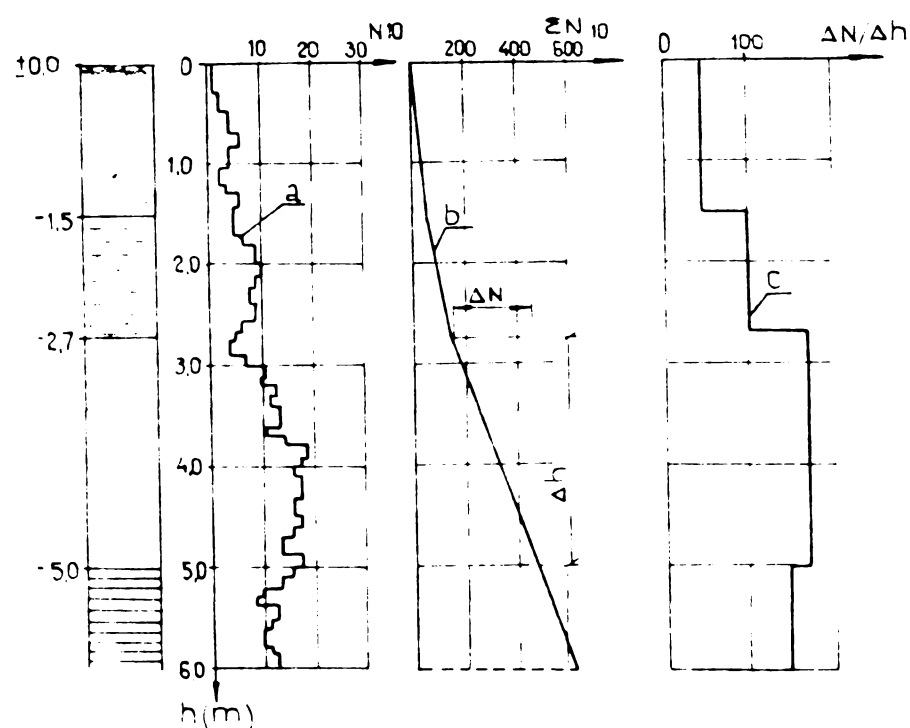


Fig. 1.27. Diagrame de penetrare dinamică
a.-diagrama de variație N_z ; b.-diagrama integrală; c.-diagrama diferențială

Pe baza sondajelor de penetrare dinamică și a unui număr limitat de foraje se pot întocmi profile litologice sau bloc diagrame din care să rezulte grosimea diferitelor straturi, adîncimea la care se găsește stratul de portanță ridicată și gradul de uniformitate litologică pe suprafața unui amplasament.

Pentru identificarea unor pămînturi sensibile la umezire se compară

diagramele de penetrare obținute pe baza sondajelor de penetrare efectuate în terenul cu umiditate naturală cu cele obținute pe baza sondajelor de penetrare efectuate în terenul umezit în adâncime cu ajutorul unor puțuri dren. Reducerea pronunțată a numărului de lovituri semnalează evident sensibilitatea terenului la umezire.

Prin metoda penetrării dinamice cu con se poate reduce numărul încercărilor de probă efectuate pentru determinarea capacității portante a piloților. În acest sens, se execută un număr redus de încercări de probă în vecinătatea cărora se execută sonde de penetrare, pe baza cărora se construiesc diagrame etalon, cu care se compară diagramele obținute pe baza sondajelor de penetrare efectuate lângă piloții a căror capacitate portantă se impune să fie evaluată. Diferențe evidente între diagrama de penetrare executată lângă un pilot de pe amplasament și diagrama etalon vor semnala modificări ale capacității portante care impune, de regulă, efectuarea unor încercări de probă.

La pământurile necoezive pe baza datelor sondajului de penetrare dinamică se poate aprecia starea de îndesare. În acest sens s-au efectuat o serie de încercări în paralel cu alte metode pentru a putea stabili intervalul în care variază " N_z " pentru o anumită stare de îndesare în cazul utilizării unui anumit tip de penetrometru.

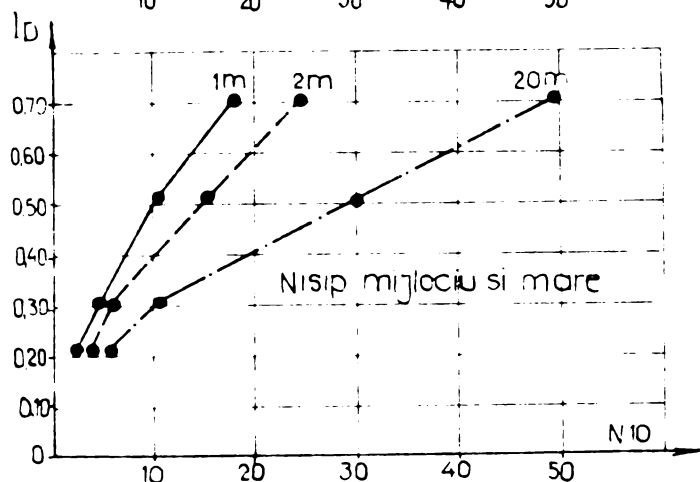
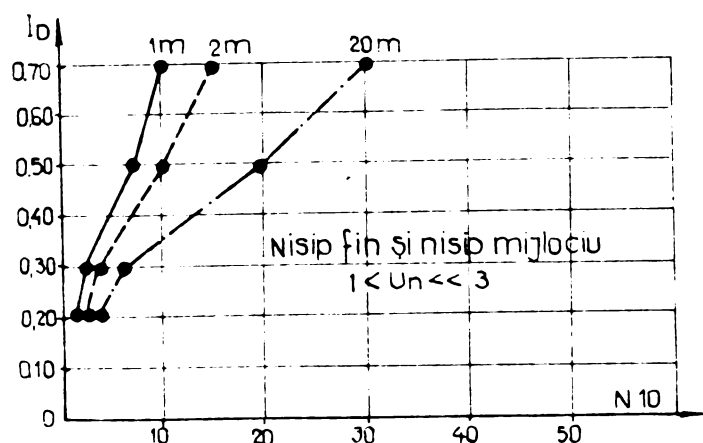
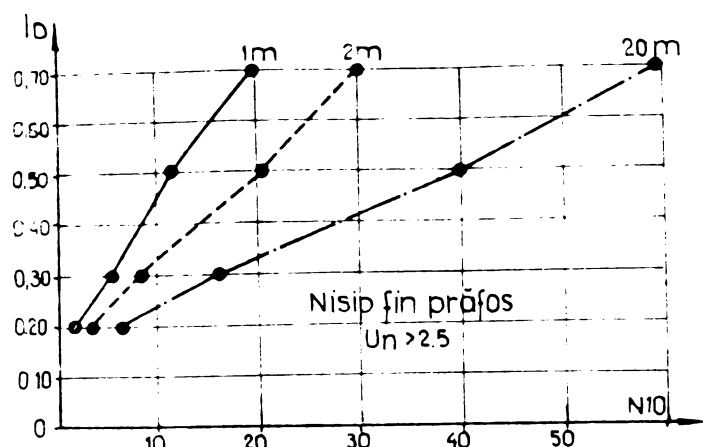
Stefanoff [107] a stabilit limitele pentru N_{10} care caracterizează o anumită stare de îndesare, în cazul utilizării penetrometrului PDU iar Wolski [119] a stabilit valori pentru N_z în cazul utilizării penetrometrului PDU și PDG. Valorile sînt prezentate în tabelul 1.6.

Tabelul 1.6.

Tipul penetrometrului	N_z	Gradul de îndesare		
		$I_D = 0,33$	$I_D = 0,66$	$I_D = 0,85$
PDU - Bulgaria	N_{10}	<10	10...25	>25
PDU - Polonia	N_{10}	5	20	60
PDG - Polonia	N_{20}	8	25	45

Notă: Caracteristicile penetrometrelor sînt prezentate în tabelul 1.4.

Experiențe efectuate cu penetrometrul dinamic greu [44] în pământuri necoezive au permis stabilirea legăturii dintre gradul de îndesare și numărul de lovituri N_{10} , prezentată în fig.1.28.



Cele trei curbe corespund limitelor de adâncime notate în dreptul lor și permit să se țină seama de influența adâncimii tratată la punctul 2.2.2.

Încercarea de penetrare dinamică este nesigură în cazul pământurilor argiloase din cauza influenței presiunii apei din pori care depinde de viteza de penetrare, permeabilitatea și gradul de umiditate al pământurilor.

Din această cauză este foarte greu să se stabilească legătura dintre rezistența la penetrare și starea de consistență fiind satisfăcătoare, în general concluziile calitative.

În tabelul 1.7. se prezintă criteriile IPROTIM [73] pentru aprecierea stării de consistență cu penetrometrul mijlociu PDM și cu cel ușor PDU, având caracteristicile cuprinse în tabelul 1.5, pentru argila prăfoasă din zona de nord și nord-vest a municipiului Timișoara, pe adâncimi de 1,0-4,0 m.

Fig.1.28. Legătura dintre gradul de îndesare I_D și numărul de lovituri N_{10} -PDG

Tabelul 1.7.

Starea de consistență	Indicele de consistență	N_{10} PDM	N_{10} PDU	Caracteristicile argilei prăfoase
Plastic consistent	0,50 - 0,75	5 - 10	7 - 15	$w_L = 43 - 54 \%$
Plastic vîrtos	0,75 - 1,00	10 - 20	15 - 25	$w_p = 17 - 20 \%$ $n = 38 - 43 \%$
Tare	> 1,00	> 20	> 25	$S_r = 0,7 - 0,9$

Cu penetrometrul PDU - Bulgaria, Stefanoff [107] a apreciat consistența pământurilor coezive, criteriile fiind prezentate în tabelul 1.8.

Tabelul 1.8.

Starea de consistență	Indicele de consistență I_C	Numărul de lovituri N_{10} pentru		
		argilă nisipoasă	nisip argilos	argilă
Plastic curgător	0 - 0,25	<4	<7	<3
Plastic moale	0,25- 0,50	4 - 5	7 - 8	3 - 5
Plastic consist.	0,50- 0,75	5 - 6	8 -10	5 - 7
Plastic vîrtos	0,75- 1,00	6 -10	10 -10	7 -14
Tare	>1,00	>10	>16	>14

Experiențe efectuate în pământuri argiloase [44] cu PDG [123] au permis stabilirea legăturii dintre porozitate, indice de consistență și numărul de lovituri, fig.1.29.

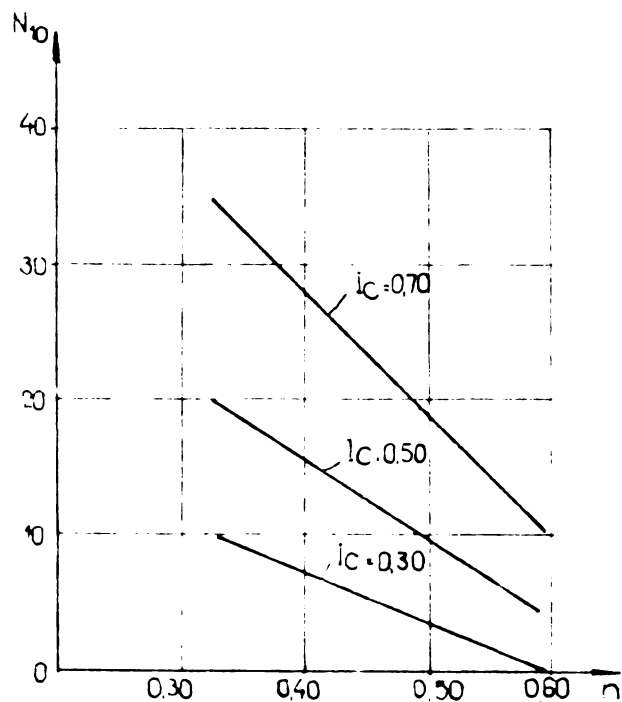


Fig.1.29. Legătura dintre porozitate, indice de consistență și numărul de lovituri N_{10} -PDG

La aprecierea stării de îndesare a pământurilor necoezive și a stării de consistență a pământurilor coezive trebuie să se acorde mare atenție, din cauza unor factori care pot produce modificarea aparentă a rezistenței la penetrare exprimat prin N_g (parag.2.2).

În cele de mai sus s-au arătat câteva aspecte privind prelucrarea calitativă a datelor penetrării dinamice cu con, urmînd ca în cadrul capitolului 2 să se prezinte aspecte ale prelucrării cantitative.

1.7.3. Cercetarea terenului prin penetrare standard (SPT)

Principiul metodei constă în stabilirea unei corelații între caracteristicile terenului și rezistența opusă de acesta la înfișarea prin bătăre a unui tub carotier. Încercarea este aplicată

sistematic ca o metodă de rutină în toate țările Americii, Marea Britanie și mai rar în Europa (țările de pe continent). La noi în țară metoda este standardizată prin STAS 3198-71.

Incercarea se aplică în general la pământurile nisipoase din care în mod obișnuit nu pot fi recoltate probe netulburate, dar se utilizează cu rezultate bune și în pământurile coezive. Nu se aplică la pământurile sensibile la umezire sau refulante.

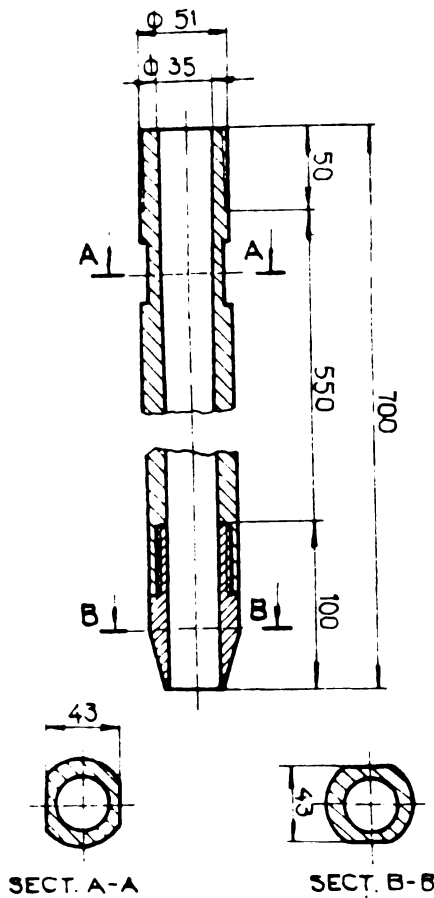


Fig.1.30. Tubul carotier STAS 3198-71

Penetrarea standard se efectuează în foraje cu diametrul minim de 20 cm. Incercarea începe prin coborîrea berbecului și a tubului carotier, fig. 1.30, atașat la capătul coloanei de tije. Se aplică lovituri de berbec cu un ritm de bătăi de 15 - 30 lov/min, necesar pătrunderii tubului în teren pe adîncime de 46 cm. Se înregistrează numărul de lovituri pentru pătrunderea tubului carotier pe ultimii 30 cm, notat cu N_{30} cu care se trasează diagrama din figura 1.31.

În funcție de rezistența terenului exprimată prin N_{30} , se poate aprecia starea de îndesate [109] [110] [119], unghiul frecării interioare, modulul de deformație edometric [120] a pământurilor necoezive și starea de consistență [110] a pământurilor coezive. De asemenea poate fi apreciată presiunea admisibilă a fundațiilor [97].

Capacitatea portantă a piloților se poate evalua pe baza încercării de penetrare standard prin utilizarea unor corelații stabilite între presiunea pe vârful pilotului, respectiv între frecarea laterală și numărul de lovituri N_{30} [10].

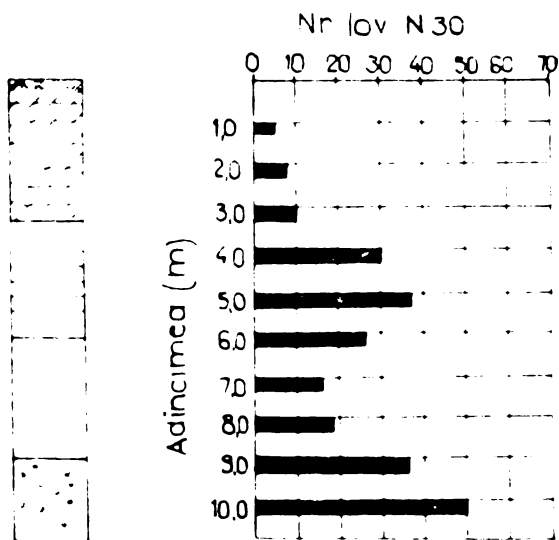


Fig.1.31. Diagrama de penetrare standard

1.7.4. Aspecte privind utilizarea metodei penetrării la noi în țară

La noi în țară, cercetarea terenurilor prin metoda penetrării statice și dinamice cu con a început să ia amploare în ultimul timp, odată cu extinderea procedeelelor de îmbunătățire a terenurilor slabe de fundare a căror calitate trebuie să se testeze în mod foarte atent. Totuși, sînt puține unități de profil dotate cu aparatură necesară efectuării sondajelor de penetrare, din care motiv, metoda nu este generalizată.

Primii care au utilizat metoda de cercetare "in situ" prin sondaje de penetrare au fost ISPIF București, INCERC București, IPROTIM și Catedra de Drumuri și Fundatii Timișoara.

ISPIF București s-a preocupat în special de sondajele de penetrare statică avînd în dotare un penetrometru static olandez cu care a efectuat, la cererea beneficiarilor, sondaje pe o serie de amplasamente din țară.

INCERC București s-a preocupat de cercetarea terenului prin sondaje de penetrare statică și dinamică, punînd însă un accent deosebit pe primele. Avînd la bază un program sistematic de cercetări în domeniul penetrării statice a acumulat experiență și în colaborare cu ISPIF București a elaborat instrucțiunile tehnice C 159-73 [129] și STAS 1242/2/76, care dau posibilitatea unificării metodologiei de cercetare.

Pentru a crea baza materială necesară utilizării metodei, INCERC București prin BAC (actualmente IMEC) a trecut la realizarea unui penetrometru hidraulic după modelul penetrometrului olandez.

Catedra de Drumuri și Fundatii din cadrul Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara are în dotare două astfel de penetrometre, unul fiind montat pe un autolaborator care a permis mărirea mobilității și ușurarea efectuării sondajelor de penetrare.

Sondajele de penetrare statică au fost utilizate în cadrul catedrei la cercetarea terenurilor de fundare în vederea întocmirii studiilor geotehnice pentru diverse obiective și în cadrul studiilor privind alunecările de teren, permițînd reducerea substanțială a lucrărilor clasice de investigație și obținerea unor date suplimentare pentru terenurile din care nu era posibilă recoltarea probelor netulburate. În ultimii ani, sondajele de penetrare statică s-au utilizat și pentru testarea calității lucrărilor de consolidare a terenurilor slabe de fundare și pentru aprecierea capacității portante a piloților.

Din anul 1958 Catedra de Drumuri și Fundații împreună cu IPROTIM (fost DSAPC Timișoara) se preocupă de cercetarea "in situ" a terenurilor prin penetrarea dinamică cu con. În acest scop s-au proiectat și executat penetrometrele dinamice PDU, PDM și PDG cu acționare manuală, s-au efectuat o serie de experiențe de laborator și de teren pentru punerea la punct a aparaturii și a tehnologiei de execuție a sondajelor de penetrare, precum și pentru dobândirea experienței în interpretarea rezultatelor.

Sondajele de penetrare dinamică cu con se utilizează în aceleași domenii de cercetare ale terenului ca și sondajele de penetrare statică, permițând reducerea volumului lucrărilor clasice de investigație și a unor lucrări de cercetare "in situ" mai costisitoare și mai greu de executat.

Proiectarea și experimentarea unor aparate de penetrare cu acționare manuală și în ultimii ani cu acționare mecanică, va permite trecerea la producția de serie a aparaturii necesară pentru generalizarea metodei. În acest sens, în cadrul unui contract de cercetare cu INCERC București, catedra de Drumuri și Fundații a executat, în 1977 și 1978, toate fazele necesare omologării unui prototip de penetrometru dinamic ușor cu acționare manuală și a unui penetrometru dinamic mijlociu și greu cu acționare mecanică.

Tot pentru generalizarea metodei și unificarea metodologiei de cercetare "in situ" prin sondaje de penetrare dinamică, un colectiv din cadrul catedrei a elaborat "Instrucțiunile tehnice pentru folosirea penetrării dinamice cu con la cercetarea terenurilor" C 176-75 [131], pe baza experienței dobândite în peste 15 ani de studii și cercetări și a unei strânse colaborări cu IPROTIM.

Studiile și cercetările efectuate urmăresc mărirea domeniului de prelucrare a datelor sondajului de penetrare în general și în special al sondajului de penetrare dinamică pentru obținerea unei game cât mai mari de informații asupra terenului cercetat cu o aparatură și tehnologie simplă.

Utilizarea sondajelor de penetrare pentru cercetarea terenurilor la elaborarea studiilor geotehnice precum și în cadrul testării lucrărilor de îmbunătățire a terenurilor slabe de fundare a permis realizarea unor economii importante și scurtarea termenului de execuție a lucrărilor de investigație.

CAPITOLUL 2

CONSIDERATIILE TEORETICE ASUPRA CERCETARII TERENULUI
DE FUNDARE PRIN METODA PENETRARII CU CON

Sondajul de penetrare statică sau dinamică cu con constituie o metodă continuă de investigație a terenului pe adâncimea explorată. Penetrometrul pătrunde în teren sub acțiunea unei forțe statice, sau a unui lucru mecanic capabil să învingă rezistența terenului. Prin înfigerea conului se produce ruperea terenului în prezența compresiunii și refulării laterale ce corespunde unui minim de energie.

2.1. Fundamentarea teoretică a sondajului de penetrare
cu con

2.1.1. Aspecte generale

Pînă în prezent nu s-a găsit o rezolvare teoretică atotcuprinzătoare cu privire la starea de efort și deformare produsă în teren prin introducerea penetrometrului cu vîrf conic, datorită naturii complexe a fenomenelor.

Pentru simplificare, mulți cercetători au propus să se considere compresiune pură, fără să se țină seama de aportul refulării laterale, obținînd rezistențe de penetrare pe con mai ridicate decît în situația reală care corespunde combinației compresiune - refulare ce necesită o energie minimă.

În pămînturile necoezive are loc comprimarea (îndesarea) terenului urmată de ruperea acestuia. În funcție de starea de îndesare predomină un fenomen sau altul. La pămînturile afîinate se produce comprimarea puternică înainte de apariția ruperii spre deosebire de pămînturile îndesate la care se atinge repede stadiul de rupere pe lîngă comprimarea relativ redusă a acestuia. La pămînturile foarte îndesate apare o reorganizare a granulelor explicabilă numai prin sfărîmarea acestora.

În ultima instanță, rezultă că rezistența de penetrare pe vîrf depinde de rezistența la forfecare și de compresibilitatea terenului, care și ele depind de gradul de îndesare.

La penetrometrele fără manta de protecție, frecarea pe tijă poate influența mărirea rezistenței de penetrare. Influența frecării se face puțin simțită deasupra nivelului apei subterane ca urmare a diametrului sperit al vîrfului față de tijă, astfel că pereții găurii nu se prăbușesc, fenomen bazat pe înoleștarea

(împănarea) granulelor și a coeziunii aparente.

În pământurile coezive, atîta timp cît acestea nu sînt saturate, fenomenele sînt similare. În cazul cînd sînt saturate, situație foarte des întîlnită, atunci datorită vitezei mari de penetrare rezultatele sînt influențate de apa din pori care din cauza permeabilității reduse nu se scurge destul de repede. Apar astfel presiuni suplimentare în apa din pori care împiedică comprimarea respectiv creșterea rezistenței la forfecare a terenului. Odată procesul de îndesare consumat, terenul devine practic incompresibil pe o anumită porțiune avînd forma unui bulb în jurul vîrfului, iar în continuare pe măsură ce crește încărcarea statică sau dinamică, se intră în stadiul de rupere, însoțit exclusiv de deformații plastice în interiorul bulbului. În această situație rezistența pe vîrf (statică sau dinamică) corespunde chiar cu presiunea critică sub care se produce ruperea terenului.

Sub acțiunea solicitărilor statice se produce o îndesare slabă, astfel că în calcule este posibil să se folosească unghiul de frecare corespunzător terenului netulburat.

În cazul solicitării dinamice înainte de a intra în stadiul de rupere, terenul necoeziv se îndesă mai puternic decît sub solicitarea statică, astfel că trebuie să se ia în considerare creșterea gradului de îndesare, respectiv a unghiului de frecare interioară, pe măsura apropierii în interiorul bulbului, de vîrfurile sondei [60].

Alura suprafețelor de rupere este mult controversată de cercetători care, din acest punct de vedere, se împart în trei grupe [58].

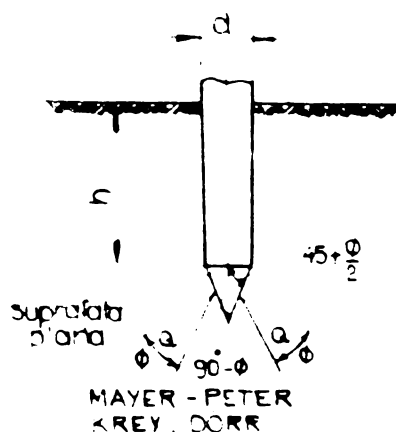


Fig.2.1. Suprafețe de alunecare plane

Prima grupă pleacă de la teoria clasică a stării de eforturi în teren și presupune suprafețe de alunecare plane.

A doua grupă consideră suprafețele de alunecare sub formă de spirală logaritmică la extremități cu suprafețe plane tangențiale.

A treia grupă consideră drept suprafețe de alunecare spirala logaritmică care se reîntoarce pe tijă, situație care corespunde cel mai bine cu realitatea [58].

Dezavantajul ipotezelor considerate de cele trei grupe este că nu se ține

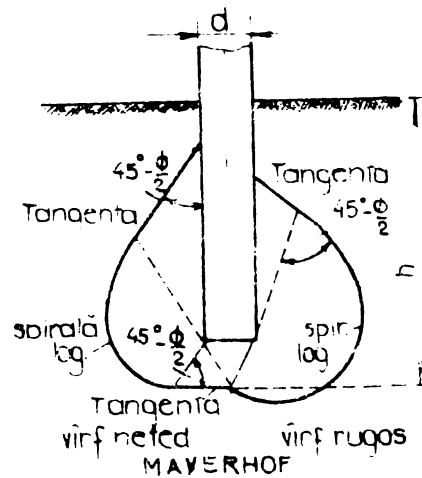
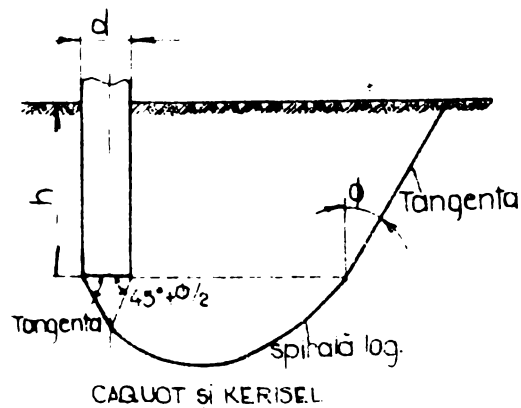
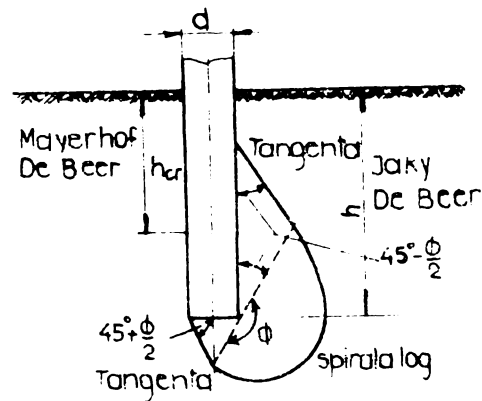
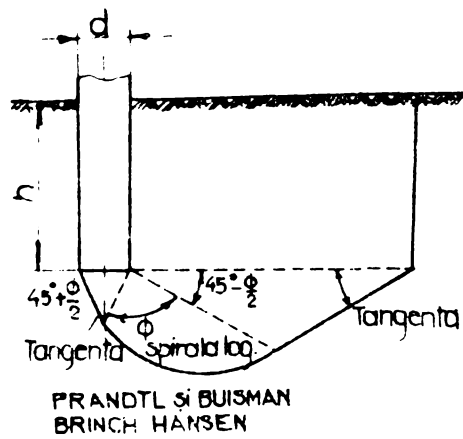


Fig.2.2. Suprafețe de alunecare-spirală logaritmică

seama de starea de efort și deformație spațială.

Spațial, penetrarea unui con metalic în masa unui pământ, dacă pământul se consideră ca un corp elastic și omogen, poate fi tratată ca o sollicitare axial simetrică, pentru care însă o exprimare fizico-matematică a fenomenelor nu a fost clarificată.

Pentru starea plană și pentru un teren considerat omogen elastic și fără forță masică, Shojiro Hata [32] explică ruperea la penetrare prin distribuția deformațiilor plastice după suprafețe de minimă rezistență ce delimitează anumite zone, care ating la nivelul traversat, starea critică la penetrare.

Pentru un mediu dispers pur coeziv și în care conul metalic de penetrare nu este introdus complet ($h \leq h_0$), suprafețele de

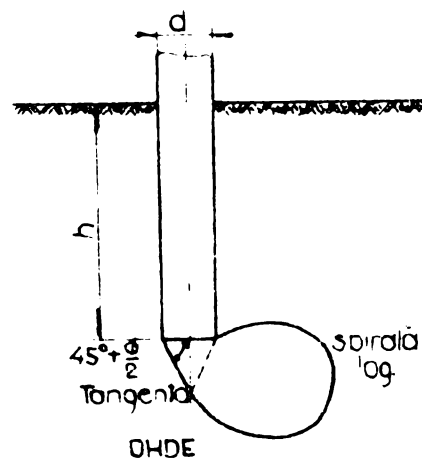
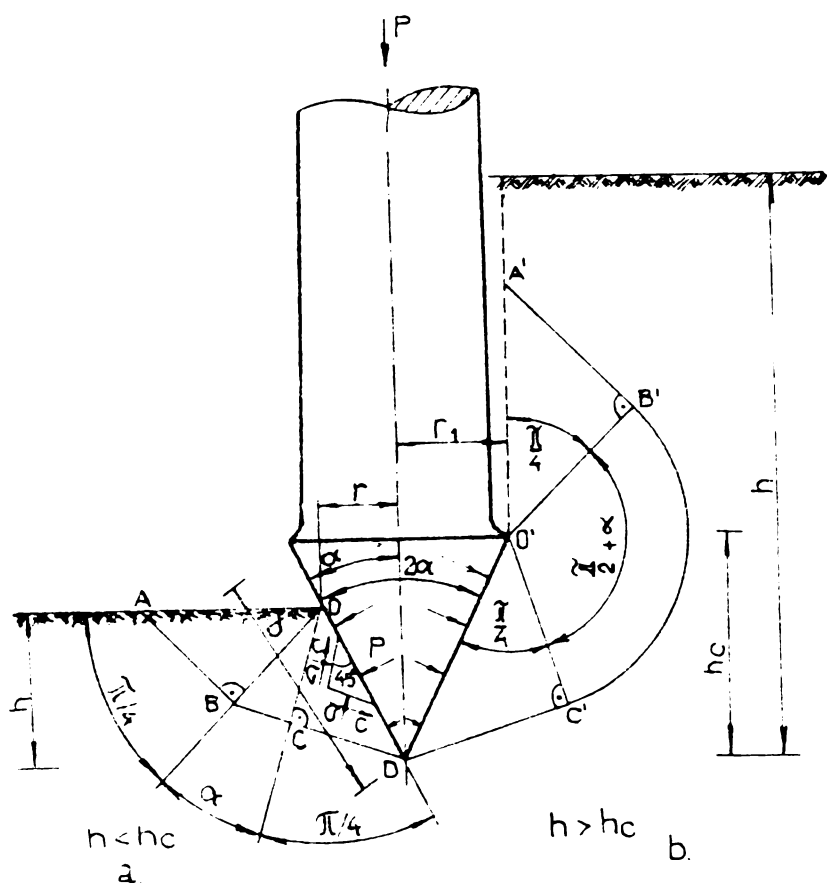


Fig.2.3. Suprafețe de alunecare spirală logaritmică care se închide pe tija penetrometrului

minimă rezistență la starea limită de solicitare la penetrare, p_{or} pentru nivelul h_1 sînt figurate după limitele ABCD din fig.2.4.



Zonele delimitate de suprafețele A,B,C,D, la starea de echilibru limită și determinate după teoria împingerii pasive a lui Rankine sînt descrise de prismele AOB, BOC și OCD. Admițînd unghiul dintre suprafețele de alunecare de $\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}$ și dacă $\phi = 0$ (pămînt pur coeziv), rezultă unghiurile $\frac{\pi}{4}$ care delimitează suprafețele prismelor AOB și OCD. Zona mediană, cunoscută sub denumirea de "zona rezistențelor pasive a lui Prandtl" este delimitată de unghiul α .

Fig.2.4. Suprafețe de minimă rezistență generate de pătrunderea conului în terenuri pur coezive. a-penetrarea de suprafață; b-penetrare de adîncime

La acțiunea de penetrare a vîrfului conic în ma-

sa terenului pe generatoarea conului se dezvoltă efortul unitar de penetrare, p . In mediu pur coeziv, componentele rezultantei efortului reactiv al terenului (care constituie rezistența pasivă) sînt eforturile unitare normale $\bar{\sigma}$ și tangențiale c .

Ecuția de echilibru dintre efortul de acțiune și cel de reacțiune, la starea limită de rupere, după direcția efortului p , este:

$$p = \bar{\sigma} + c \tag{2.1}$$

Efortul normal unitar dezvoltat în zona OCD, la contactul cu conul metalic și la starea limită de solicitare la penetrare se deduce din relația lui R.Hill [32].

$$\bar{\sigma} = 2 c \theta = \text{const.} \tag{2.2}$$

unde θ este unghiul ce delimitează, în zona considerată omogenă, prisme după ale căror suprafețe de contact se dezvoltă eforturile unitare ce generează deformațiile plastice. Pentru un mediu pur coeziv din zona OCD, ecuația stabilită în coordonate cilindrice pentru cazul solicitării axial simetrice este:

$$\sigma = c (1 + 2\alpha) \quad (2.3)$$

Introducând valoarea lui σ în ecuația (2.1) se obține :

$$p = 2c (1 + \alpha) = \frac{P}{\pi r^2} = R_p \quad (2.4)$$

Pentru un mediu coeziv din zona OCD situată la adâncimea h (fig.2.4 b) efortul σ la starea limită de solicitare este:

$$\sigma = c (1 + \pi + 2\alpha) \quad (2.5)$$

Înlocuind această expresie în relația (2.1), rezultă:

$$p = R_p = 2c \left(1 + \frac{\pi}{2} + \alpha\right) \quad (2.6)$$

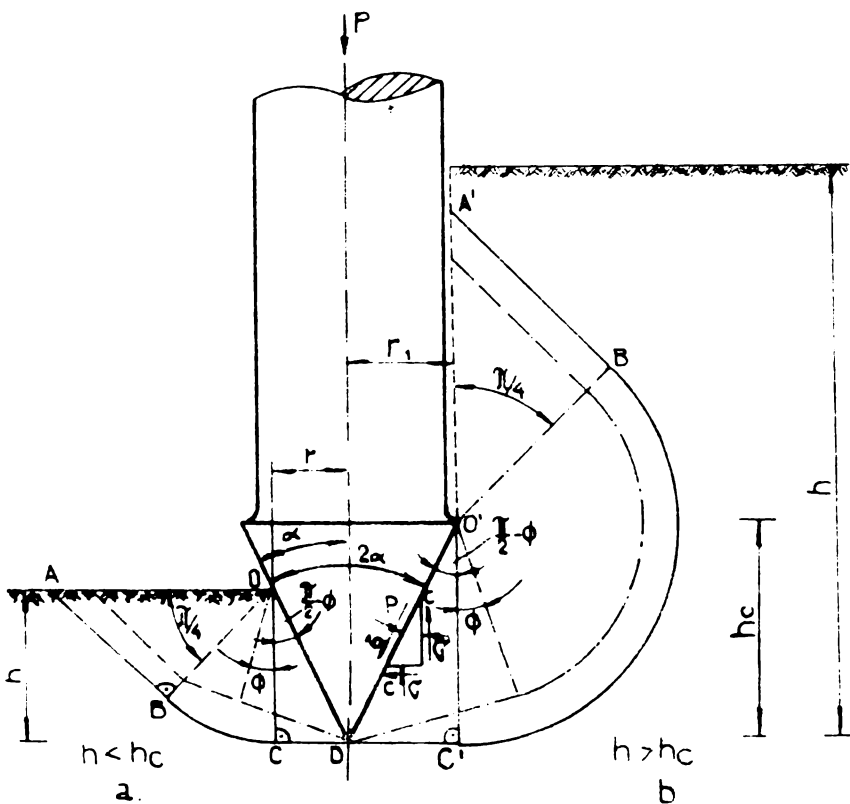


Fig.2.5. Suprafațe de minimă rezistență generate prin pătrunderea conului de penetrare în terenuri slab coezive. a- penetrarea de suprafață; b- penetrare de adâncime

Pentru terenuri slab coezive cu frecare interioară, fig.2.5. valoarea efortului unitar dezvoltat în prisma OCD sînt:

- pentru $h \leq h_c$ (fig.2.5a) rezultă:

$$\sigma = c(1 + 2\alpha + 2\phi) \quad (2.7)$$

- pentru $h > h_c$ (fig.2.5b) rezultă:

$$\sigma = c(1 + \pi + 2\alpha + 2\phi) \quad (2.8)$$

Intr-un astfel de mediu, componentele eforturilor unitare dezvoltate pe suprafața conică la încărcarea limită de penetrare sînt:

$$p = \sigma + c \sin 2\left(\frac{\pi}{4} - \phi\right) \quad (2.9)$$

$$\tau = c \cos 2\left(\frac{\pi}{4} - \phi\right) \quad (2.10)$$

Valoarea lui R_p în cazul cînd $h > h_c$ pe baza relației lui Coulomb este:

$$R_p = p + \sigma \operatorname{ctg} \alpha = c \left[1 + 2\alpha + 2\phi + \pi + \sin 2\left(\frac{\pi}{4} - \phi\right) + \cos 2\left(\frac{\pi}{4} - \phi\right) \operatorname{ctg} \alpha\right] \quad (2.11)$$

Din analiza relațiilor stabilite de Shojiro Hata rezultă că rezistența la penetrare, considerînd pămîntul lipsit de forță masică, depinde de caracteristicile rezistenței la forfecare ϕ și c .

După recomandările geotehnicienilor belgieni și olandezi [94] se poate admite că penetrometrul, element lung și cu secțiune redusă constituie prin similitudine un model de fundație care provoacă în teren solicitări similare cu acelea ale piloților sau puțurilor de diametru redus, suficient încastrate în straturile portante. În consecință este logic să se considere că rezistențele la vârful penetrometrului, corespund într-o primă aproximație cu presiunea de rupere la baza pilotului sau a puțului.

În cazul unui strat incompresibil pătrunderea conului de penetrare în teren produce refularea laterală a terenului când eforturile ating o anumită limită. Practic acest efort este foarte puțin influențat de mărimea suprafeței conului din care cauză rezultatele penetrării se pot aplica direct la calculul capacității portante a piloților.

În cazul unui teren instantaneu compresibil se produce o micșorare de volum datorită modificării structurii, motiv pentru care efortul de rupere crește cu creșterea suprafeței conului.

Când penetrometrul pătrunde în teren, rezistența pe vîrf corespunde presiunii de rupere fiind, în consecință, funcție de caracteristicile rezistenței la forfecare ϕ și c ; frecarea laterală este legată de aceleași caracteristici, mărimea forței de frecare fiind influențată și de coeziune datorită aderenței terenurilor coezive pe suprafața coloanei de tije, astfel:

$$R_p = F(\phi, c) \quad F_1 = F_1(\phi, c) \quad (2.12)$$

Ruperea terenului la pătrunderea penetrometrului se produce sub acțiunea unei sarcini critice care se poate calcula asimilînd penetrometrul cu o fundație de suprafață sau adîncime și ținînd seama de natura încărcării aplicate în funcție de tipul acestuia.

2.1.2. Penetrarea statică

Pentru determinarea sarcinii critice, mulți cercetători [94] asimilează penetrometrul cu o fundație de suprafață prin neglijaarea forței de frecare pe manta, deși din punct de vedere teoretic nu se poate admite că există similitudine între modul de rupere a terenului sub vârful penetrometrului și sub o fundație de suprafață.

Relația generală de calcul pentru presiunea critică sub o fundație în fișie este de forma:

$$p_{or} = \gamma D N_q + c N_c + \gamma B N_\gamma \quad (2.13)$$

în care: - greutatea volumică a terenului;

D - cota de fundare;

c - coeziunea specifică;

B - lățimea fundației;

N_q, N_c, N_γ - coeficienți de capacitate portantă determinați în funcție de suprafața de alunecare adoptată în calcul.

În relația 2.13 primul termen reprezintă termenul de adâncime, al doilea, reprezintă termenul de coeziune și ultimul termenul de lățime. Ținând seama de faptul că diametrul penetrometrului este redus ultimul termen se poate neglija în toate cazurile.

Dacă se scrie relația (2.13) după teoria și notațiile Caquot [14] și dacă se neglijează termenul de lățime se obține:

$$p_{or} = \gamma_1 h S_2 S_2' + H(S_2 - 1) \quad (2.13 a)$$

unde: γ_1 - greutatea volumică a terenului de fundare deasupra tălpii fundației;

h - adâncimea de fundare;

$$H = \frac{c}{\text{tg } \phi}$$

S_2, S_2' - mărimi adimensionale în funcție de ϕ .

După teoria Terzaghi relația pentru p_{or} scrisă pentru cazul când se neglijează termenul de lățime este:

$$p_{or} = \gamma D N_q + c N_c \quad (2.13b)$$

Conform DIN 4017 [122] sarcina critică a unui pilot sau penetrometru solicitat static exclusiv pe vîrf (frecarea pe manta se consideră nulă), într-un pămînt considerat îndesat (incompresibil) se exprimă cu ajutorul relației:

$$P_{cr} = R_p \cdot A = A (c N_c \lambda_c \cdot \tau_c + q N_q \lambda_q \tau_q + \gamma d N_\gamma \tau_\gamma) \quad (2.14)$$

unde: A - secțiunea vîrfului pilotului sau penetrometrului;

d - diametrul vîrfului pilotului sau penetrometrului;

N_c, N_q, N_γ - coeficienți de capacitate portantă care depind de unghiul frecării interioare, ϕ^0 ;

$\lambda_c, \lambda_q, \lambda_\gamma$ - coeficient de adâncime;

q = γh - sarcina geologică la nivelul vîrfului.

Și în cazul acestei formule termenul al treilea poate fi neglijat din considerentele prezentate cu ocazia analizei termenilor

din relația 2.13.

În cazul pământurilor necoezive dispare, din relațiile 2.13 și 2.14, termenul caracteristic coeziunii. Astfel egalând presiunea critică cu rezistența la penetrare R_p , se poate scrie:

$$R_p = \gamma D N_q \quad \text{sau} \quad (2.15)$$

$$R_p = \gamma h S_2 S'_2 \quad (2.16)$$

$$R_p = q N_q \lambda_q \tau_q \quad (2.17)$$

Dacă în relația (2.17) se introduce coeficientul global de capacitate portantă, notat cu $N'_q = N_q \lambda_q \tau_q$ se obține,

$$R_p = q N'_q \quad (2.17 a)$$

Valoarea coeficientului global de capacitate portantă N'_q se determină după diferite metode, majoritatea cercetătorilor considerînd $\tau_q = 1$ pentru cazul cînd pilotul sau penetrometrul este introdus suficient de adînc în teren, depășind adîncimea critică.

Deoarece în problema spațială starea de efort și deformație nu poate fi calculată cu precizie, s-a inițiat determinarea coeficientului de capacitate portantă N'_q pe cale experimentală.

Totuși și în această situație propunerile existente pentru alura suprafețelor de alunecare, respectiv valorile N'_q , nu sînt certe deoarece nu țin seama de solicitarea la compresiune și forfecare care apare sub vîrfurile penetrometrului. Chiar și la nisipurile îndesate, cercetările [50] au arătat că oca 30 % din sarcina critică pe pilot se datorează comprimării terenului iar oca 70 % provine de pe urma procesului de rupere propriu-zis.

În aceste condiții, conform figurii 2.6. este absolut normal să rezulte o împrăștiere foarte mare a valorilor N'_q , calculate după diferite teorii sau experiențe, în funcție de unghiul de frecare ϕ .

În cazul unui pământ pur coeziv, unghiul frecării interioare $\phi = 0$, căruia îi corespunde după Caquot și Terzaghi, coeficientii de capacitate portantă,

$$N_q = S_2 S'_2 = 1$$

și

$$N_c = \frac{S_2 - 1}{\text{tg } \phi}$$

unde, $S_2 = \text{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \cdot \pi \text{tg } \phi = 1$ pentru $\phi = 0$, de unde rezultă:

$$N_o = \frac{1-1}{0} = \frac{0}{0}$$

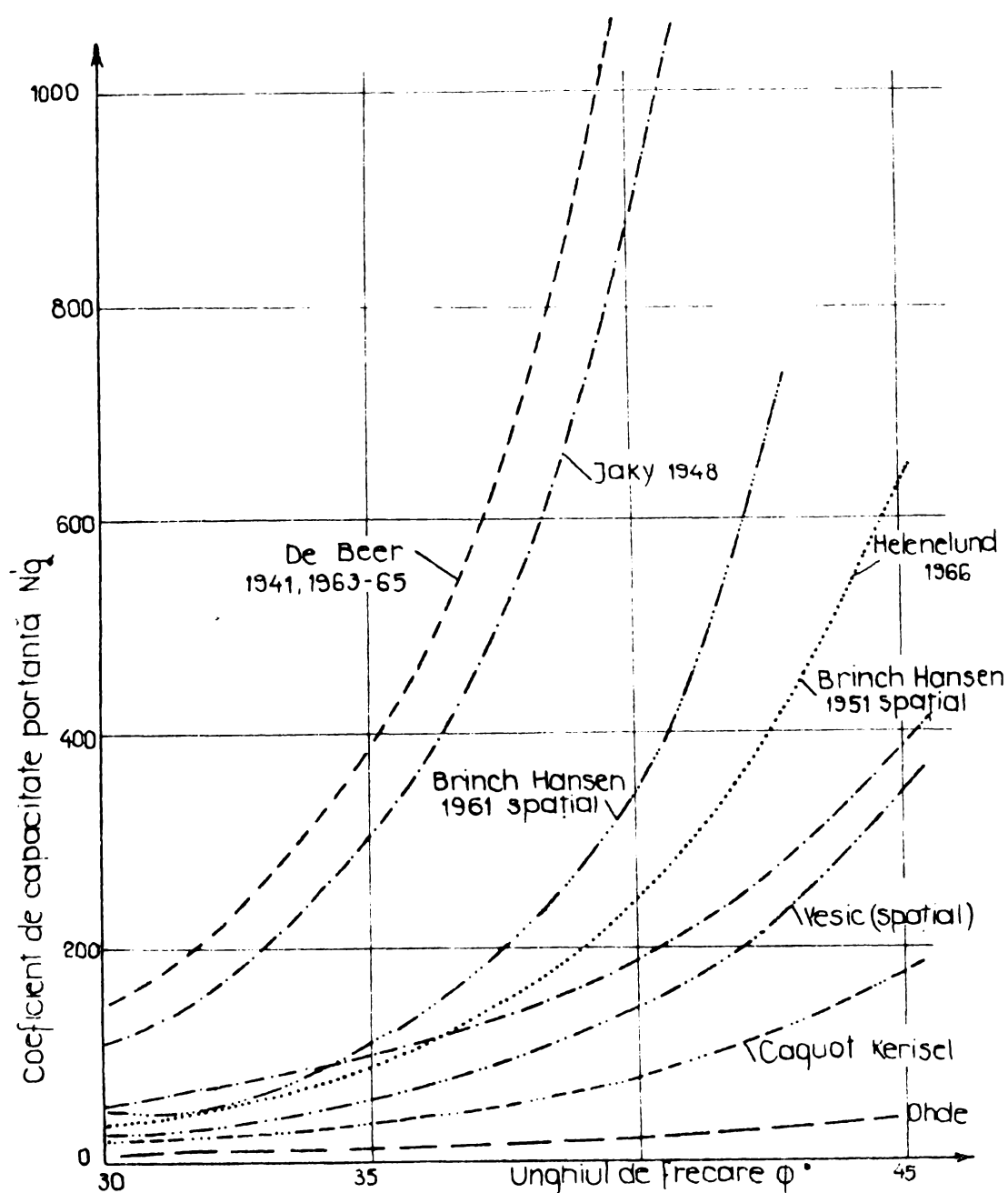


Fig.2.6. Coeficienții globali de capacitate portantă după diferiți autori

Nedeterminarea se ridică prin dezvoltarea în serie și se obține:

$$N_c = (2 + \pi) = 5,14$$

Înlocuind coeficienții N_q și N_c în relația 2.13 se obține:

$$p_{or} = \gamma D + 5,14 \sigma \quad (2.18)$$

sau neglijînd termenul corespunzător adîncimii :

$$p_{or} = 5,14 \sigma \quad (2.18 a)$$

neglijare posibilă fără introducerea unor erori mari datorită faptului, că în general, valoarea rezistenței la penetrare este mult mai mare decît presiunea dată de sarcina geologică.

După Terzaghi, ținând seama de frecarea dintre beton și teren, pentru o fundație în fișie, presiunea critică se calculează cu relație:

$$p_{cr} = 5,7 c \quad (2.18 b)$$

Meyerhoff [94] propune pentru presiunea critică la vârful penetrometrului:

$$p_{cr} = R_p = 9 c \quad (2.18 c)$$

Relațiile (2.18) exprimă legătura dintre rezistența pe con asimilată cu presiunea critică și coeziune în cazul pământurilor pur coezive.

2.1.3. Penetrarea dinamică

Penetrometrele dinamice se pot considera piloți la scară redusă (model), astfel încât o serie de teorii legate de explicarea fenomenelor care iau naștere la introducerea piloților prin batere precum și cele legate de capacitatea portantă se pot aplica cu oarecare aproximație și la penetrometre.

La penetrometrele dinamice se aplică formulele dinamice deduse pentru determinarea capacității portante a piloților. Formulele au la bază relația lucrului mecanic [58]

$$\frac{1}{k Q_1 H} = \frac{2}{We} + \frac{3}{0,5 W \Delta l_p} + \frac{4}{0,5 W \Delta l_t} \quad (2.19)$$

unde: k - gradul de influență a loviturii la înfigerea dinamică;

Q_1 - greutatea berbecului, daN;

H - înălțimea de cădere, cm;

W - rezistența dinamică de pătrundere, daN;

e - refuzul pilotului (penetrometrului) cm;

Δl_p - deformația elastică a pilotului (penetrometrului) cm;

Δl_t - deformația elastică a terenului, cm.

Cei patru termeni din relația 2.19 au următoarea semnificație:

1 - lucrul mecanic dezvoltat de berbecul în cădere liberă la o singură lovitură;

2 - energia utilă pentru învingerea rezistenței de pătrundere;

3 - pierderea energiei datorită comprimării elastice a pilotului (penetrometrului);

4 - pierderea energiei datorită deformației elastice a terenului.

În funcție de ipotezele simplificatoare adoptate de diverși cercetători s-au obținut o serie de relații care se pot grupa în mai multe categorii de metode, după cum urmează:

a) Relații în care se ține seama de pătrunderea remanentă (refuzul pilotului) și parțial de deformația elastică a acestuia; astfel se cunosc relațiile stabilite de Redtenbacher, Stern, Weissbach, Rankine, Eytelwein, Ritter, Brix, Janbu, Gersevanov și formula Engineering-News Record [58].

O relație foarte simplă a fost stabilită de mai mulți cercetători și scrisă sub forma:

$$W = \frac{Q_1 \cdot H}{e} \cdot \frac{1}{K_3} \quad (2.20)$$

unde:

$$\begin{aligned} - \text{după Brix-Janbu,} \quad K_3 &= \frac{(Q_1 + Q_2)^2}{Q_1 Q_2} \\ - \text{după Ritter} \quad K_3 &= \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} \end{aligned}$$

Formula stabilită de Ritter, pentru calculul rezistenței dinamice poartă denumirea de formula olandeză:

$$W = \frac{Q_1^2 H}{e(Q_1 + Q_2)} \quad (2.20 a)$$

unde: Q_2 este greutatea pilotului (penetrometrului).

După Caquot, formula olandeză este cea mai apropiată de realitate cu condiția să se țină seama de scurtarea elastică a pilotului (penetrometrului).

Pentru a exprima adevărata rezistență de rupere a terenului (rezistența corespunzătoare unei încărcări statice) s-a convenit să se introducă la numitor în loc de "e" valoarea $e + \Delta l_p$, formula olandeză modificată în acest fel purtând numele de formula Engineering-News Record (E.N.R):

$$W = \frac{Q_1 H}{e + \Delta l_p} \cdot \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} \quad (2.20 b)$$

În practică este destul de greu să se determine termenul Δl_p .

b) Relații care țin seama de pătrunderea remanentă și de deformația elastică a pilotului și a terenului.

Deformația totală elastică se măsoară (Rausch 1930) [94] sau se ia în considerare prin coeficienți corespunzători determinați experimental. Din această categorie poate fi amintită relația lui Hiley.

c) Formule care determină capacitatea portantă cu ajutorul diagramei de variație a presiunii în pilot (Forehand și Reese 1964 [58]).

Valoarea rezistenței dinamice se poate determina ușor pornind de la teoria conservării impulsului cu luarea în considerare a fenomenelor care se produc în timpul impactului [9].

$$W = \frac{Q_1 H}{(1+a)e} \cdot \frac{1}{1 + \frac{c}{e}} (1 + n^2 a) \quad (2.21)$$

unde pe lângă notațiile din relația (2.19) intervin:

$$a = \frac{Q_2}{Q_1} ;$$

n - coeficient care ține seama că impactul este parțial elastic;

c - coeficient prin care se ține seama de pierderea energiei prin tija penetrometrului și în terenul înconjurător.

În relația 2.21:

$\frac{Q_1 H}{(1+a)e}$ - reprezintă rezistența terenului la ciocnire perfect neelastică;

$\frac{1}{1 + \frac{c}{e}}$ - reprezintă factorul de corecție adimensional (< 1) care ține seama de energia pierdută (disipată);

$(1+n^2 a)$ - este factorul de corecție adimensional (> 1) care ia în considerare elasticitatea impactului.

Relația 2.21 se poate scrie și sub forma:

$$W = \frac{Q_1 H}{e + c} \cdot \frac{1 + n^2 a}{1 + a} \quad (2.21 a)$$

Dacă se notează cu $H_0 = \frac{H \cdot c}{e + c}$, H_0 fiind înălțimea de cădere a masei berbecului pentru care refuzul $e = 0$, se obține pentru rezistența dinamică, relația:

$$W = \frac{Q_1}{(1+a)e} (H - H_0) (1 + n^2 a) \quad (2.22)$$

Multe din formulele existente derivă din una din formulele generale (2.21, 2.21 a și 2.22) fiind diferiți doar coeficienții de corecție.

Formula olandeză consideră $n = 0$, ceea ce corespunde pentru o ciocnire perfect neelastică și $c = 0$ ce presupune inexistența deformațiilor elastice și a pierderilor de energie. Când refuzul

scade sub 1 cm s-a constatat că simplificările mai sus amintite introduc erori mari în calculul rezistenței dinamice, totuși se utilizează în majoritatea cazurilor din cauza simplității sale.

Formula "Engineering-News Record" presupune $n = 1$, ciocnire perfect elastică și $c = 2,5$ ce corespunde pentru o energie excesiv pierdută, pentru a compensa ipoteza ciocnirii elastice.

Formula lui Hiley [9] ia în considerare următorii factori de corecție:

$$0 < c < 0,5$$

$$0 < n < 0,5 \text{ pentru pilot;}$$

$$0 < n < 0,7 \text{ pentru penetrometre.}$$

Comparând aceste valori a factorilor de corecție, cu acelea folosite frecvent, se constată că se pot obține câteodată valori prea mari pentru rezistența dinamică W și aceasta din următoarele motive:

- formula lui Hiley a fost stabilită pentru piloți pe când energia pierdută la penetrometre este mult mai mică;

- echipamentele de acționate sînt astfel concepute încît se pierde puțină energie în timpul căderii berbecului.

Formulele Bredten-Backer și Kreuter [9] sînt adaptate de formula generală (2.22) cu $n = 0$ (Bredten-Backer) sau $n=1$ (Kreuter). Ele dau valori mai mici în cazul penetrării, dar folosirea lor este mai complicată, din cauza lui H_0 .

Mai mulți autori au comparat forța critică dedusă cu ocazia încercării de penetrare; pe de o parte rezistența terenului la înfigere (penetrare statică) și pe de altă parte rezistența sa la lovitură (penetrare dinamică) obținînd rezultate învecinate.

În 1952, Buisson a formulat concluzii bazate pe un număr foarte mare de cazuri [94]. Dacă se notează cu R_p rezistența la penetrare statică și cu w' rezistența dinamică specifică calculată cu formula olandeză fără coeficient de siguranță și necorectată se constată că între cele două mărimi există corelație dependentă de natura terenului și mărimea refuzului.

În tabelul 2.1. este dat raportul celor două mărimi pentru anumite terenuri.

Experiențele lui L'Herminier și Toheng din 1964-65 [94] au confirmat concluziile lui Buisson. În majoritatea cazurilor pentru obținerea rezistenței statice la vârful penetrometrului s-a convenit să se afecteze rezistența dinamică, calculată cu formula olandeză

necorectată, cu un coeficient cuprins între 0,5 - 0,75. În mod excepțional acest coeficient poate coborî pînă la 0,3 (terenuri afinate sau cu consistență redusă) sau poate urca pînă la 1,0 (teren grosier cu frecare laterală ridicată).

Tabelul 2.1.

Natura terenului	Mărimea refuzului e om	Rp/w'
Nisipuri, terenuri marnoase și calcaroase	> 2,5	~ 0,75
Diverse terenuri lipsite de fragmente mari	0 - 2,5	0,75 - 1,0
Nisipuri grosiere și pietriș		≥ 1,0
Pămînturi mîloase sau argiloase		0,3 - 0,5

Capacitatea portantă a piloților calculată cu formulele dinamice este nesigură fiindcă anumite influențe cum ar fi frecarea pe manta, comportarea elastică a terenului sau a pilotului, ori nu se iau în considerare ori se iau numai parțial. Menzenbach [94] susține că pentru un refuz "e" identic, capacitatea portantă a pilotului este influențată de natura terenului.

Capacitatea portantă calculată cu formula de batere, se utilizează la ora actuală numai în cazul pămînturilor necoezive și numai pentru comparație, respectiv pentru stabilirea raportului față de încercările de probă (DIN 1054 Schenk 1963).

Din considerente asemănătoare aceste formule nu pot fi folosite decît pentru compararea rezultatelor obținute cu diferite penetrometre dinamice cu con.

Unii cercetători au urmărit răspîndirea rezistenței dinamice la penetrometre, determinată cu diferite formule de batere pentru cazul penetrometrului dinamic ușor și greu.

La Institutul din Aachen s-au efectuat experiențe cu penetrometre dinamice cu con pînă la adîncimea de 4,0 m în condiții controlate [58] și s-au aplicat 12 formule dinamice pentru determinarea forței dinamice W, din care s-a calculat presiunea dinamică w' pe suprafața conului de penetrare. În fig.2.7 sînt prezentate domeniile în care se înscriu valorile w'.

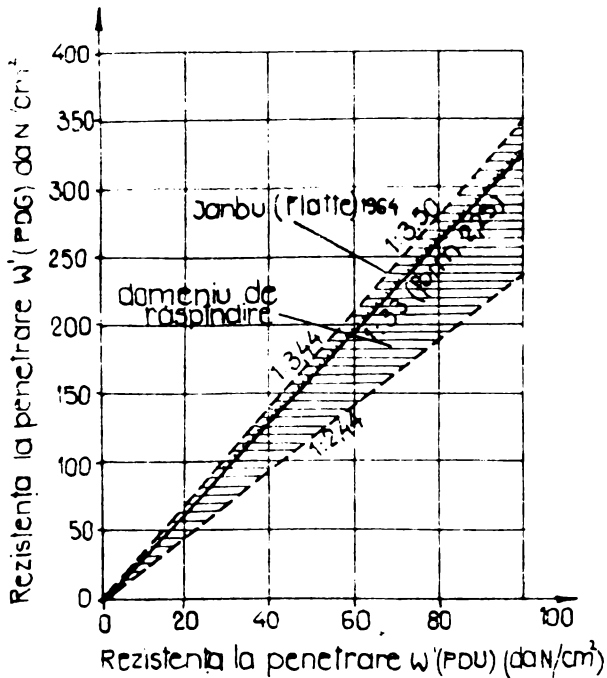


Fig.2.7. Domeniile în care se înscriu valorile w' pentru un penetrometru dinamic ușor și greu

S-a observat că formula norvegiană Janbu aparținând grupei "a" se plasează în partea mijlocie și superioară a domeniului de răspândire. Melzer [58] compară rezultatele obținute cu penetrometrul dinamic mijlociu și greu folosind formula de batere cea mai simplă și anume:

$$W = \frac{Q_1 H}{e} \quad (2.23)$$

din care rezultă rezistența dinamică la penetrare

$$w' = \frac{W}{A} = \frac{Q_1 H}{A e} \quad (2.24)$$

Raportul dintre rezistențele dinamice a două penetrometre se poate scrie sub forma:

$$a'_{1,2} = \frac{w_1'}{w_2'} = \frac{W_1 A_2}{W_2 A_1} \quad (2.25)$$

Pentru penetrometrul dinamic ușor respectiv greu prin aplicarea formulelor (2.24) și (2.25) s-a găsit $1:a' = 1:3,44$. Determinându-se răspândirea raportului $1:a'$ cu ajutorul diferitelor formule de batere din prima grupă, s-a găsit că acesta variază de la $1:a' = 1:2,44$ pînă la $1:a' = 1:3,50$.

Se constată că valoarea obținută cu relația cea mai simplă (2.24) se găsește foarte aproape de valoarea obținută cu formula Janbu.

DIN 4094/1 [123] nu recomandă folosirea rezistenței dinamice la penetrare obținută cu ajutorul formulelor de batere a piloților din cauza caracterului relativ empiric al formulelor cît și a rezultatelor nesatisfăcătoare ce se obțin în cazul aplicării lor la penetrometre. Totuși există mulți cercetători care pleacă în calcule de la formulele deduse pentru piloți, ele fiind capabile să furnizeze rezultate orientative.

2.2. Factorii care influențează rezultatele penetrării

Rezistența pe vîrf statică sau dinamică este influențată de o serie de factori legați de natura și proprietățile fizico-mecanice ale terenului, prezența sau absența apei, caracteristicile utilajului, adîncimea de penetrare etc. Numai cunoașterea tutu-

ror factorilor și a interdependenței dintre ei permite interpretarea corectă a rezultatelor penetrării.

Există factori specifici diverselor categorii de terenuri, precum și factori independenți de natura acestora.

O analiză foarte detaliată și sistematizată a factorilor de influență asupra sondajului de penetrare dinamică este prezentată în DIN 4094/2 [124]. Majoritatea factorilor acționează în mod asemănător sau identic în cazul sondajelor de penetrare statică.

2.2.1. Influența naturii terenului

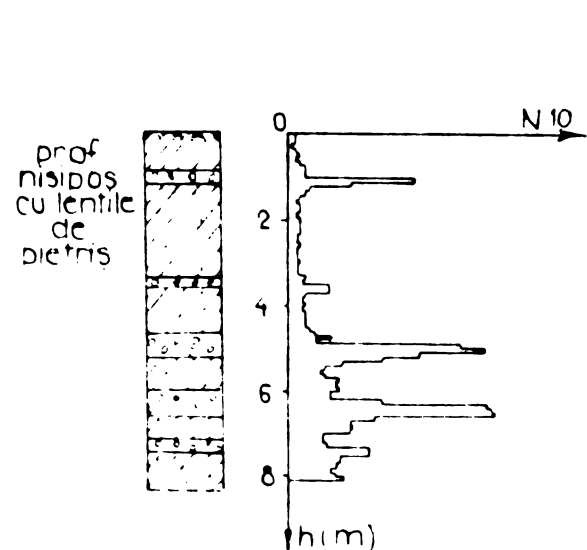
Natura terenului are influență complexă asupra rezistenței la penetrare, fiind legată în primul rând de prezența sau de absența coeziunii.

La pământurile necoezive joacă un rol important compoziția granulometrică și coeficientul de neuniformitate (U_n), compoziția mineralogică a granulelor, forma și rugozitatea acestora, prezența sau absența legăturilor structurale.

La pământurile coezive influențează permeabilitatea, starea de consistență, presiunea apei din pori și legăturile structurale mai complexe decât în cazul pământurilor necoezive.

Influența compoziției granulometrice. De regulă pentru același grad de îndesare în nisipurile uniforme care au un număr redus de puncte de contact, rezistența la penetrare este mai scăzută decât în nisipurile neuniforme care au un număr mult mai mare de puncte de contact.

Granulele colțuroase și aspre opun o rezistență mai mare decât cele rotunde și netede.



Fragmentele de pietriș și bolovăniș din masa nisipurilor sau lentițele subțiri de pietriș sînt semnalate în mod evident prin salturi brusce în diagramele de penetrare, fig.2.8.

La interpretarea rezultatelor penetrării se ține seama de așa zisa "regulă de aur" [95] conform căreia toate valorile rezistenței de penetrare înregistrate sub formă de salturi, se elimină.

Fig.2.8. Creșterea bruscă a rezistenței la penetrare în cazul lentilelor subțiri de pietriș, după G.Viering [124]. In cazul cînd dimensiunile granulelor se apropie de diametrul conului

se obțin rezistențe artificial sporite, astfel că în aceste situații se renunță la cercetarea prin sondaje de penetrare sau nu se utilizează datele pe grosimea stratului cu fragmente mari.

Penetrometrul dinamic ușor și cel static sînt mai sensibile decît penetrometrele dinamice mijlocii și grele, la variația dimensiunilor granulelor și a stării de îndesare a terenului.

Compoziția mineralogică influențează asupra formei și rugozității granulelor și asupra rezistenței acestora, vîrfurile conice putînd provoca sfărîmarea fragmentelor mai slabe.

În nisipurile cu conținut ridicat de mică s-a semnalat scăderea pronunțată a rezistenței de penetrare pe lîngă unghiul frecării interioare aproape egal; prezența fragmentelor de mică duce la creșterea compresibilității și a fragilității. În figura 2.9 se prezintă un exemplu după Vesic [127] unde prezența a 10 % mică a dus la scăderea pronunțată a rezistenței de penetrare. Un alt exemplu este prezentat în lucrarea lui De Beer [20], nisipul din regiunea ANTWERP include mai mult de 50% glauconit care reduce rezistența la strivire față de nisipul cu cuarț, fig.2.10.

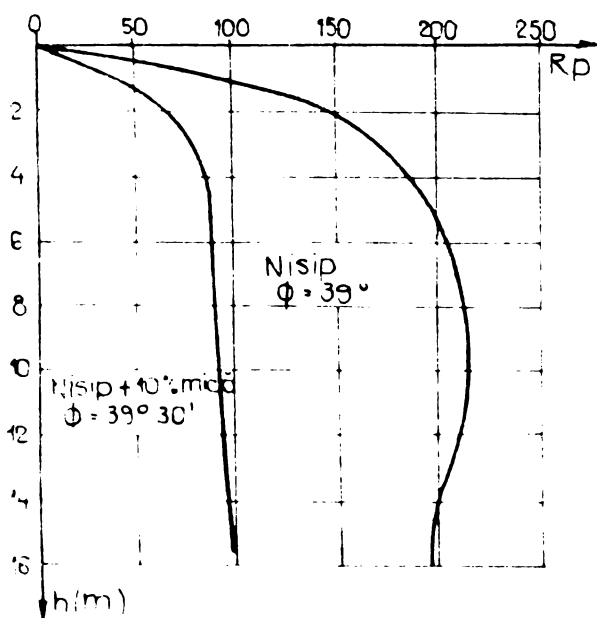


Fig.2.9.Reducerea rezistenței de penetrare datorită prezenței de mică

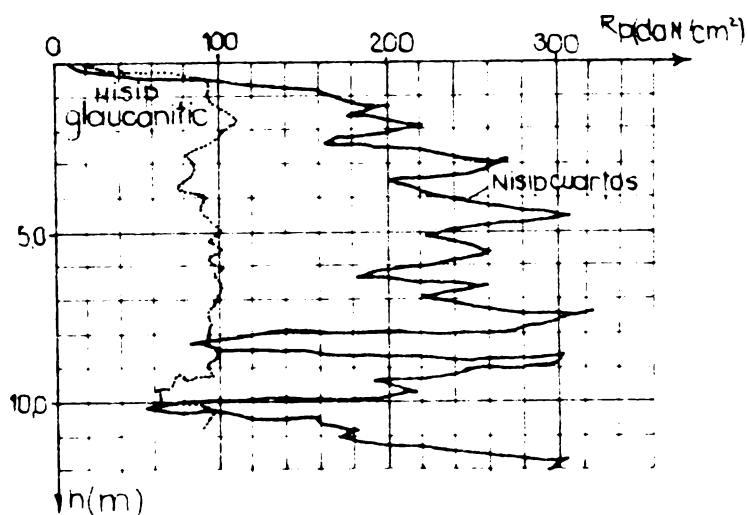


Fig.2.10.Reducerea rezistenței la penetrare datorită conținutului ridicat de glauconit

Influența îndesării. Încercările efectuate la scară redusă în condiții perfect controlabile precum și la scară mare au scos în evidență creșterea rezistenței la penetrare odată cu creșterea gradului de îndesare [41]. Încercările efectuate într-o groapă mare umplută cu nisip mijlociu-mare avînd gradul de îndesare $I_D = 0,10 - 0,75$, au scos în evidență acest fapt, fig.2.11.

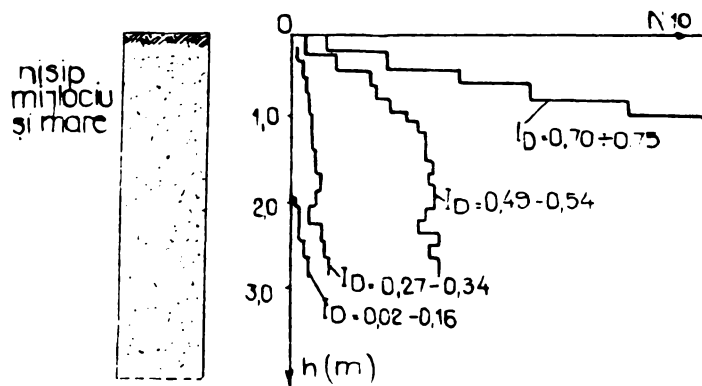


Fig.2.11. Variația rezistenței la penetrare cu gradul de îndesare I_D într-un nisip omogen—după F.J.Dücker [124]

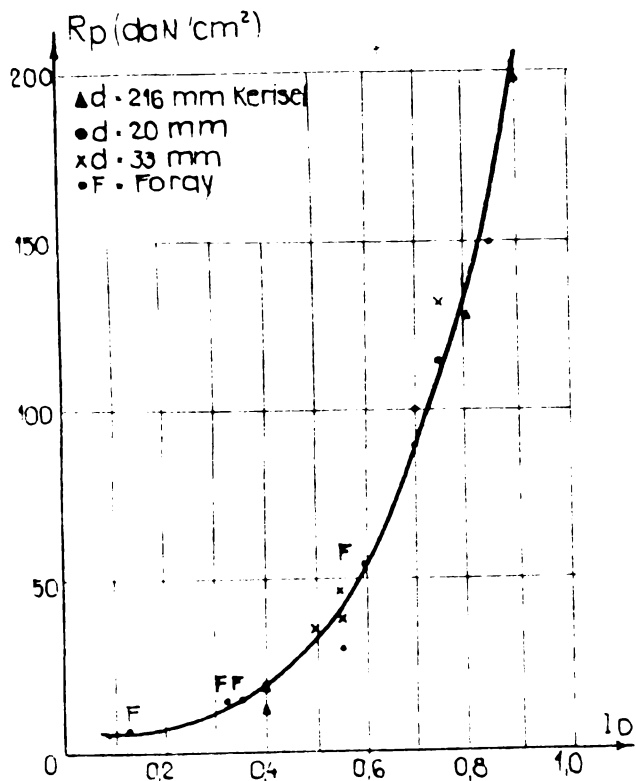


Fig.2.12. Dependența dintre rezistența pe vîrf și rezistența de penetrare R_p

cînd la îmbunătățirea caracteristicilor mecanice. Cu cît mai mare este îndesarea inițială cu atît mai intens se desfășoară procesul de formare a legăturilor structurale.

Incercări efectuate cu un penetrometru dinamic greu tip UBP-15, avînd masa berbecului, $Q_1 = 60$ kg, înălțimea de cădere $H=80$ cm și diametrul conului, $d = 42$ mm, în nisipurile naturale și în umpluturi cu nisip de Volga au confirmat influența substanțială a legăturilor structurale. Datele obținute sînt prezentate în tabelul 2.2.

Incercări efectuate pe piloți și penetrometre de FORAY în nisipuri de HOSTUN și de Kerisel și Tscheng în nisipuri de Loira [88] au dovedit că odată cu creșterea gradului de îndesare crește rezistența pe vîrf R_p , fig.2.12.

Influența legăturilor structurale.

Incercările de penetrare au permis stabilirea faptului că nisipurile în stare naturală pot avea legături structurale care de obicei se pierd cu ocazia recoltării probelor, în special de sub nivelul apei subterane. Denisov numește aceste legături "aderența de întărire" [115]. Prezența legăturilor structurale asigură nisipurilor în stare naturală o rezistență la penetrare mai mare decît a aceluiași nisipuri în umplutură, în condițiile aceluiași grad de îndesare.

Experiențele au relevat că "întărirea" nisipurilor durează mai mulți ani, fără variația umidității sau densității, du-

Tabelul 2.2.

Starea de îndesare	Densitatea uscată ρ_d t/m ³	Cifra porilor e	Număr de lovituri N ₁₀	
			Nisip natural de Volga	Umplătură din nisip de Volga
afinat	< 1,52	> 0,75	< 5 ÷ 7	< 2
mediu	1,52 - 1,63	0,64 - 0,75	(5÷7)÷(12÷15)	2 ÷ 6
îndesat	> 1,63	< 0,64	> 12 ÷ 15	> 6

Starea de consistență a pământurilor coezive influențează în mod asemănător asupra rezistenței la penetrare, ca și starea de îndesare a pământurilor necoezive. Atît penetrarea dinamică cît și cea statică, semnaleză clar variația stării de consistență a pământurilor coezive prin numărul de lovituri, respectiv rezistența de penetrare pe vîrf, care cresc odată cu consistența.

Sondajul de penetrare statică este preferat în cazul pământurilor coezive, care datorită aplicării încărcării cu viteză redusă permite într-o măsură mai mare consolidarea terenului.

Sondajul de penetrare dinamică dă rezultate concludente în pământurile cu consistență ridicată; în cele cu consistență scăzută datele obținute sînt mult influențate de frecarea pe tije, date care în aparență ar corespunde unor pămînturi de consistență mai ridicată.

2.2.2. Influența adîncimii

În pămînturile omogene rezistența la penetrare statică și dinamică nu este constantă datorită influenței adîncimii care se manifestă prin așa zisa "adîncime critică" și prin sarcina geologică care acționează la nivelul vîrfului conic al penetrometrului.

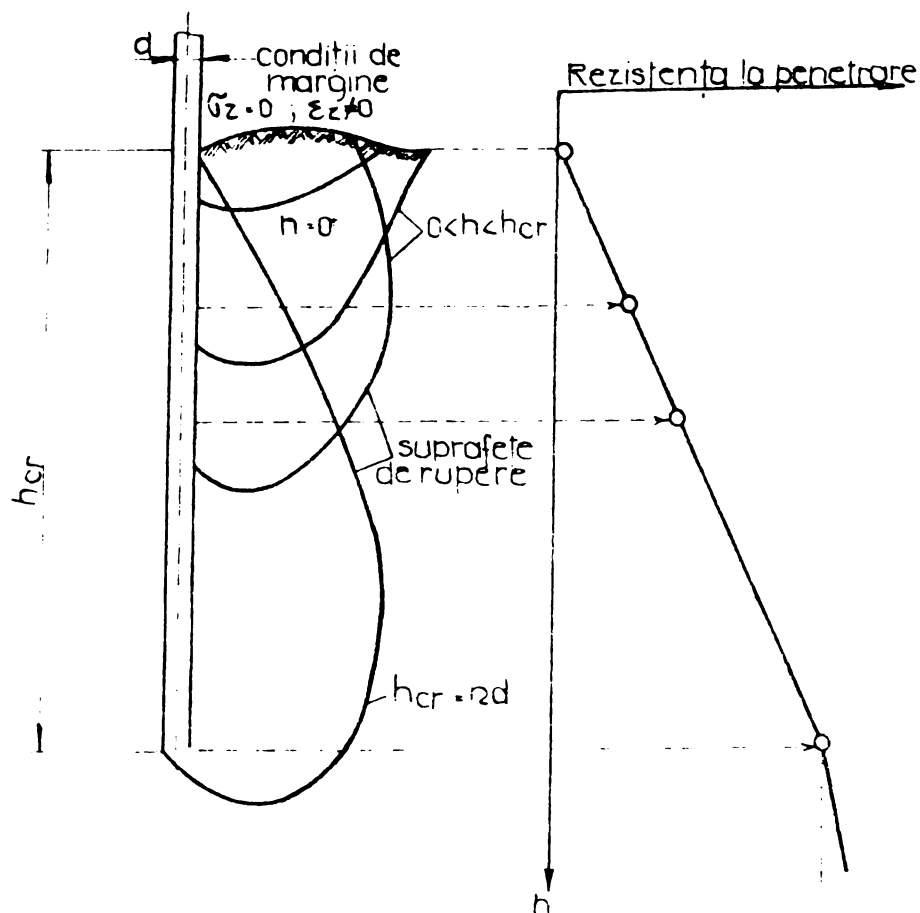
Adîncimea critică corespunde condiției de margine, terenul fiind o masă semiinfinită mărginită la partea superioară. Așa cum s-a arătat la începutul capitolului, prin înfigerea conului se produce ruperea terenului în prezența compresiunii și refulării ce corespunde unui minim de energie.

La suprafața terenului rezistența la penetrare este scăzută întrucît dislocarea terenului de către conul de penetrare se face ușor prin refulare laterală și în sus.

Pe măsură ce crește adîncimea, refularea spre suprafață devine tot mai grea, necesitînd mai multă energie din cauza sarcinii

geologice și starea de solicitare se modifică treptat de la solici-
tare de suprafață la una de adâncime. În momentul în care refula-
rea spre suprafață este împiedicată rezistența la penetrare crește
foarte lent datorită majorării sarcinii geologice.

În figura 2.13 este prezentată influența condițiilor de mar-
gine în cazul unui pământ omogen.



La adâncimi
reduse, în speci-
al la pământuri
îndesate, rupe-
rea se produce
după suprafețe
de alunecare ca-
re ating supra-
fața terenului
[104]. De la o
anumită adânci-
me în jos supra-
fețele de alu-
necare nu mai
stăpung pînă
la suprafață
ci se localizea-
ză pe tije, sar-
cina geologică
fiind aceea ca-
re influen-
țează și modi-
fică forma su-
prafetelor de alunecare.

Fig.2.13. Influența condițiilor de margine
asupra rezistenței la penetrare

prafetelor de alunecare.

Se definește drept adâncime critică, h_{cr} , aceea adâncime
pînă la care rezistența de penetrare crește puternic și după care
creșterea acesteia este mult mai mică.

Existența adâncimii critice a fost foarte clar evidențiată
prin două încercări de penetrare efectuate într-o groapă umplută
cu nisip mijlociu-mare îndesat, fig.2.14. Penetrarea 1 s-a executat
de la suprafața gropii, iar a 2-a după îndepărtarea unui strat de
1,3 m grosime.

Atît calculele teoretice cît și experiențele au scos în
evidență că mărimea adâncimii critice depinde în afară de sarcina
geologică și de gradul de îndesare, respectiv de unghiul de frecare

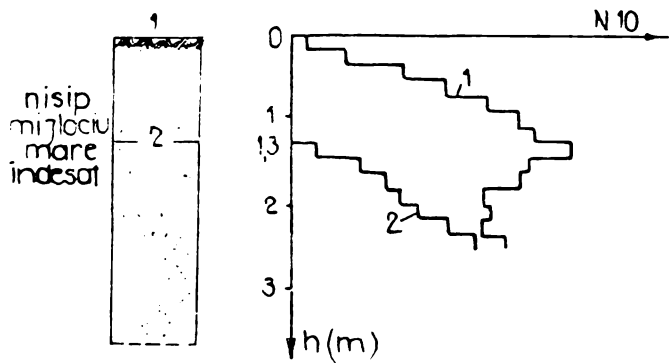


Fig.2.14. Evidențierea adâncimii critice după F.J. Dücker 124 .

cu formula (2.26) bazată pe teoria plasticității, care se poate aplica numai la terenuri incompresibile (de îndesare foarte mare).

interioară ϕ .

Din calculele teoretice, într-un teren omogen, Jaky [48] stabilește pentru adâncimea critică următoarea relație:

$$h_{cr} = d \operatorname{tg}(45 + \frac{\phi}{2}) e^{\pi \operatorname{tg} \phi} \quad (2.26)$$

Experiențele efectuate cu penetrometre statice au arătat că adâncimea critică crește odată cu scăderea gradului de îndesare ceea ce este în contradicție

cu formula (2.26) bazată pe teoria plasticității, care se poate aplica numai la terenuri incompresibile (de îndesare foarte mare).
 În pământurile afânate sau de îndesare medie se produce îndesarea terenului înaintea apariției rupeții. Posibilitatea de refulare în sus fiind mai ușoară, adâncimea critică este mult mai mare decât la pământurile îndesate [58].

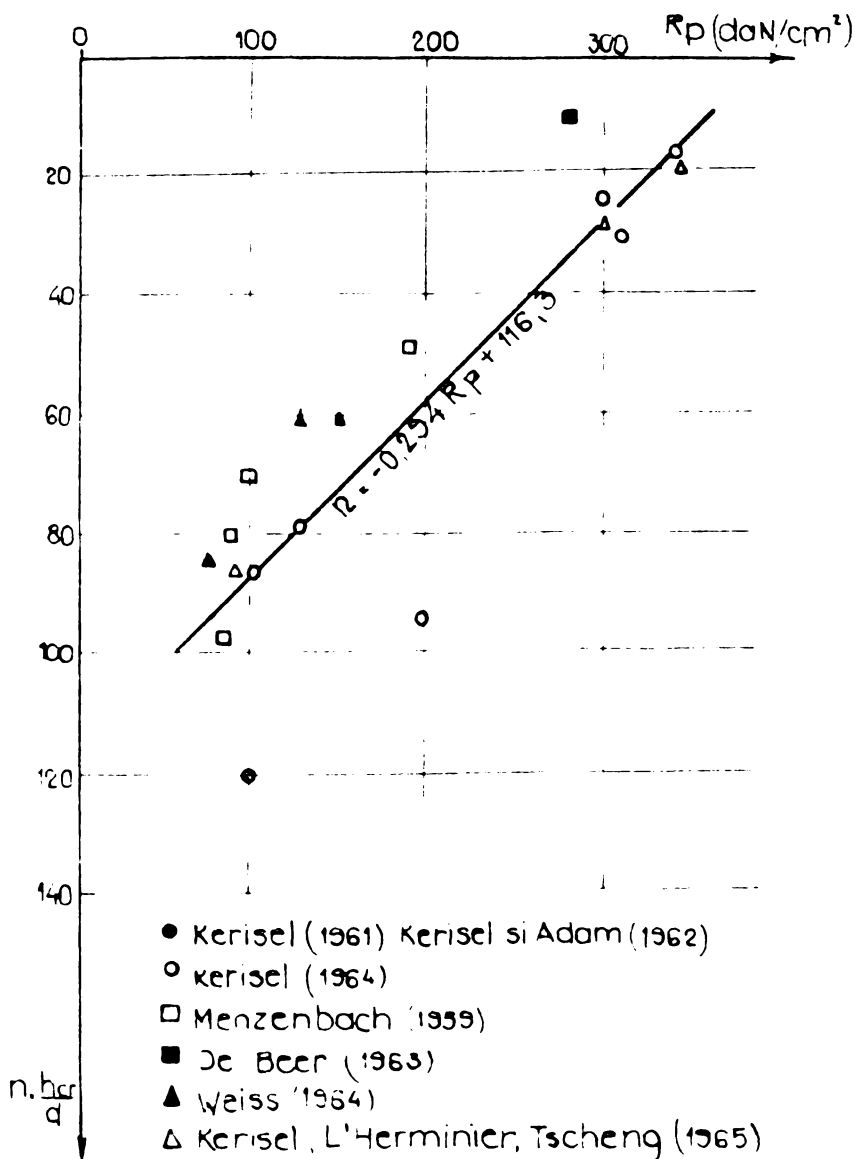


Fig.2.15. Corelația dintre $n = \frac{h_{cr}}{d}$ și R_p

În fig.2.15 se prezintă rezultatele experimentale obținute de diferiți cercetători privind legătura dintre raportul

$$n = \frac{h_{cr}}{d} \text{ și}$$

rezistența de penetrare statică, R_p .

Din analiza diagramei de corelație rezultă că odată cu scăderea lui R_p respectiv al gradului de îndesare, crește adâncimea critică.

Față de cele obținute și prezentate de Melzer [58] în lucrarea [26] se arată că între adâncimea critică și gradul de îndesare este o relație directă. În fig.2.16 sînt prezentate diagramele pentru adâncimea critică relativă ($\frac{h_{cr}}{d}$) pentru două conuri cu diametre diferite.

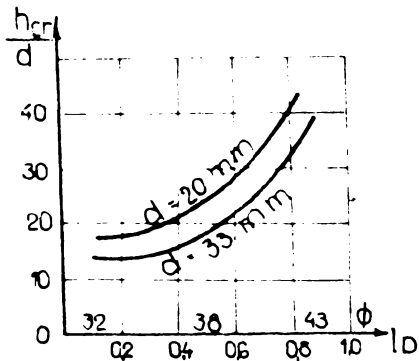


Fig.2.16. Variația adâncimii critice relative cu gradul de îndesare

Biarez și Gresillon (1972) [88] au stabilit legătura între unghiul frecării interioare, starea de îndesare și adâncimea critică relativă, prezentată în tabelul 2.3. Vesic (1967, 1970) recomandă valoarea "10" pentru adâncimea critică relativă în cazul nisipurilor afîinate și valoarea "20" în cazul celor îndesate.

Tot în lucrarea [88] se dă o formulă empirică pentru determinarea adâncimii critice, reprezentată în figura 2.17.

$$h_{cr} = 25 \sqrt{d} (1 + R_p/100) \quad (2.27)$$

unde: d - diametrul penetrometrului în cm;

R_p - rezistența pe vîrf în daN/cm^2 .

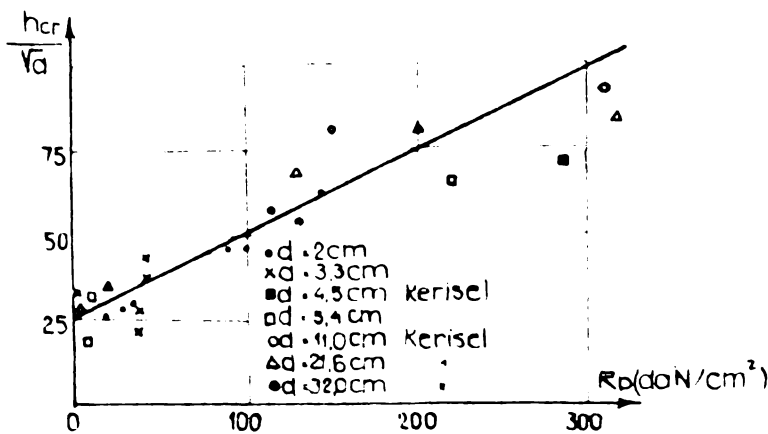


Fig.2.17. Reprezentarea grafică a formulei 2.27

Tabelul 2.3.

Unghiul frecării interioare ϕ	Starea de îndesare	$\frac{h_{cr}}{d}$
25	afîinat	1,8
30	afîinat	2,9
35	afîinat	4,8
40	îndesat	9,4
45	îndesat	23,0

Din analiza relației (2.27) rezultă că adâncimea critică este direct proporțională cu rezistența la penetrare care la rîndul ei este proporțională cu gradul de îndesare.

În cazul penetrării dinamice pe lângă același grad de îndesare se obține o adâncime critică mai scăzută decât la penetrarea statică, deoarece sub efect dinamic se obține o îndesare mai puternică care conduce la ruperea mai rapidă a terenului.

În terenurile foarte afânate se semnalează foarte slab adâncimea critică, deoarece nu se produce ruperea propriu zisă prin cedarea laterală a granulelor.

Din încercările executate la Institutul Belgian de Geotehnică s-a observat că 1-2% prezintă diagrame de penetrare excepționale la care adâncimea critică are valori foarte mari [22]. Se pare că există o densitate pentru care rezistența pe con crește liniar cu adâncimea pînă la adâncimi mari. În figura 2.18 se prezintă creșterea liniară a rezistenței pe con pentru un nisip de îndesare medie din Luluabourg (Zair) la adâncime de peste 32 m.

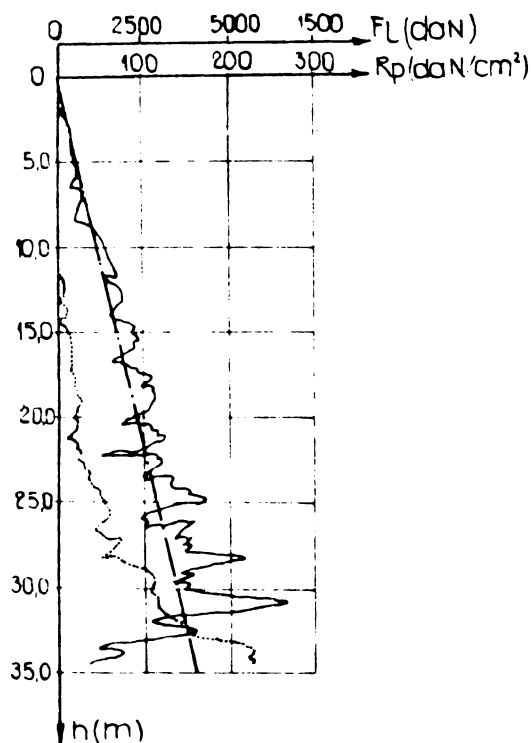


Fig. 2.18. Creșterea continuă a rezistenței pe con într-un strat de nisip omogen

Din cele prezentate rezultă că problema stabilirii adâncimii critice este mult controversată ajungând chiar cercetători cu renume cum este Kerisel, la rezultate contradictorii (fig. 2.15 și 2.17).

Sarcina geologică duce la creșterea ușoară a rezistenței la penetrare și după depășirea adâncimii critice. Melzer [58] a efectuat încercări într-o cuvă de 6,0 m adâncime și diametru, 3,0 m în care a așezat nisip cu grad de îndesare constant pentru a putea determina influența sarcinii geologice. S-au efectuat mai multe experiențe cu diferite grade de îndesare cuprinse între 0,35 - 0,74 pe baza cărora s-a stabilit următoarea relație:

$$\log y = a_1 \gamma h + a_2 I_D + a_3 \pm s_y \quad (2.28)$$

Coeficienții a_1 , a_2 , a_3 și s_y s-au stabilit pentru diferite tipuri de penetrometre și pentru diverse terenuri [58].

2.2.3. Influența frecării

Influența frecării laterale pe coloana de tije trebuie tratată cu discernământ în cazul penetrometrelor fără manta de protec-

ție. În general penetrometrele statice au tija protejată și sînt prevăzute cu posibilitate de măsurare separată a rezistenței de penetrare pe vîrf și a frecării laterale sau a forței totale din care se poate calcula frecarea laterală.

În condițiile protejării tijei, mărimea rezistenței pe vîrf nu poate fi falsificată de influența frecării.

În schimb, la penetrometrele dinamice cu con la care din considerente economice și de rapiditate s-a renunțat, în majoritatea țărilor, la protejarea coloanei de tije, nu este posibilă separarea influenței frecării de rezistența de penetrare pe vîrf.

Pentru reducerea frecării laterale s-a trecut la sporirea diametrului conului, d , față de acela al tijelor, d_1 , astfel că raportul $\frac{d}{d_1} > 1,0$.

Unii autori [125] susțin că dacă $\frac{d}{d_1} \geq 1,7$, în pămînturile nisipoase se poate neglija influența frecării.

Incercări comparative [58], executate cu penetrometrul static olandez ($d_1 = d$) respectiv cu un penetrometru static dotat la vîrf cu o doză de tip Maihak, avînd vîrfurile îngroșate numai cu 6 mm față de tijă, au arătat că această majorare extrem de redusă este suficientă pentru a anula în mod practic frecarea pe manta în nisipuri.

Incercările efectuate de Melzer în cuva cu nisip au dovedit că pînă la adîncimea de 6,0 m nu se manifestă practic influența frecării pe manta. Incercările efectuate în paralel cu penetrometre dinamice cu con și standard au dovedit că și sub cota de 6,0 m nu se sesizează prezența frecării în absența apei subterane.

Deasupra nivelului apei subterane influența frecării pe tije este slabă datorită faptului că peretele sondajului nu se prăbușește, fenomen care se explică prin încleștarea granulelor datorită deflurării laterale la pătrunderea conului în teren și prin apariția coeziunii aparente datorită forțelor capilare.

Sub nivelul apelor subterane peretele se poate prăbuși în urma vîrfului conic, astfel că odată cu creșterea adîncimii, frecarea pe tijă se poate dezvolta progresiv, cu cît nisipul este mai fin.

În figura 2.19 se prezintă graficul unei penetrări PDG din care rezultă că, în nisipul fin, sub nivelul apei, rezistența la penetrare crește continuu din cauza frecării, deși îndesarea a rămas aceeași.

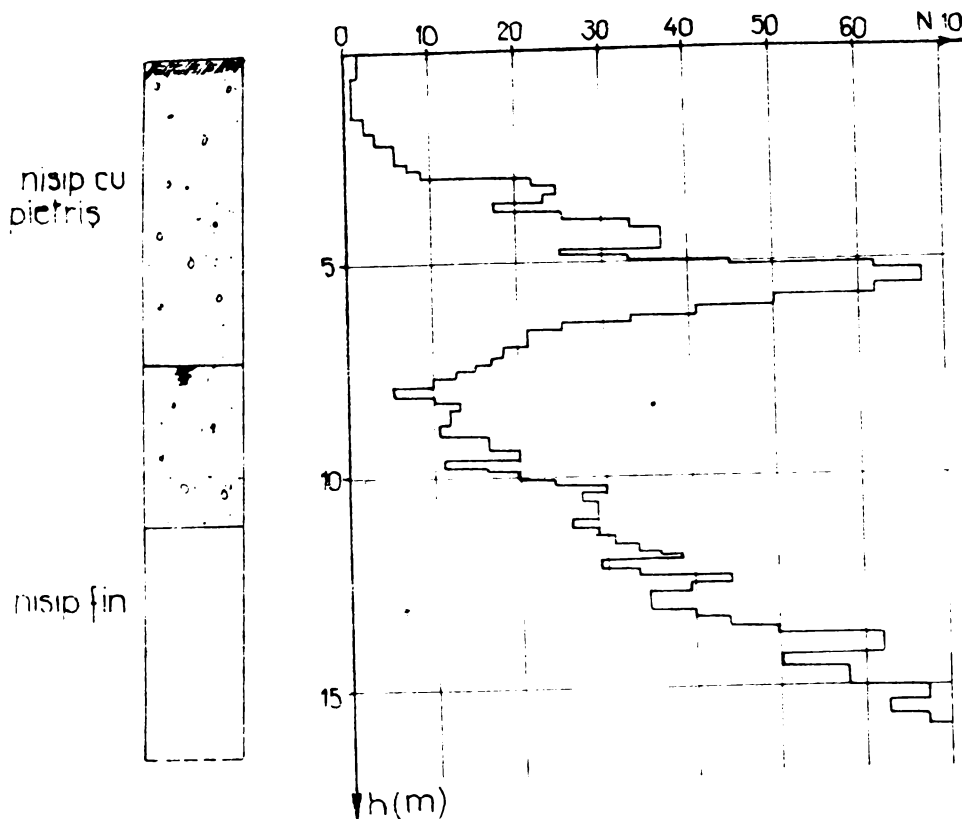


Fig.2.19. Creșterea continuă a rezistenței de penetrare în stratul de nisip fin situat sub nivelul apelor subterane

La pământurile coezive de consistență scăzută se semnalează influența frecării pe tijă prin creșterea continuă a numărului de lovituri pe lângă aceleași caracteristici ale terenului. Acest fenomen se explică prin cedarea peretelui golului creat de vârful conic și înclăștarea respectiv aderența terenului pe tija penetrometrului.

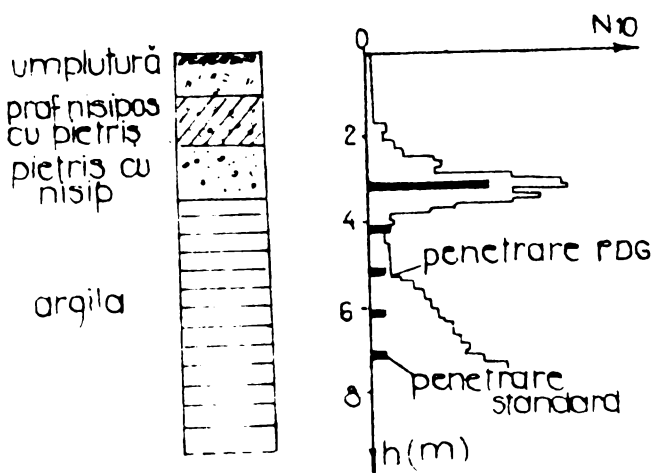


Fig.2.20. Creșterea rezistenței de penetrare în stratul de argilă - după Menzenbach [124]

În figura 2.20 este prezentată o diagramă care evidențiază în mod pregnant aportul frecării pe tijă la creșterea rezistenței de penetrare în stratul de argilă.

2.2.4. Influența apei subterane

Creșterea umidității conduce la reducerea ușoară a rezistenței la penetrare în pământurile nisipoase. Influența apei este mai accentuată în nisipurile afî-

nate odată cu creșterea umidității legăturile structurale slăbesc.

Experiențe efectuate în Cehoslovacia [25] într-un bazin umplut cu nisip având fragmentele cuprinse între 0,2 - 0,6 mm, pe lângă două grade de îndesare și diferite grade de saturație, au relevat creșterea aproximativ liniară a rezistenței la penetrare, exprimat prin numărul de lovituri, cu creșterea gradului de satura-

ție pînă la 0,82, fig.2.21, după care se semnalează scăderea brus-

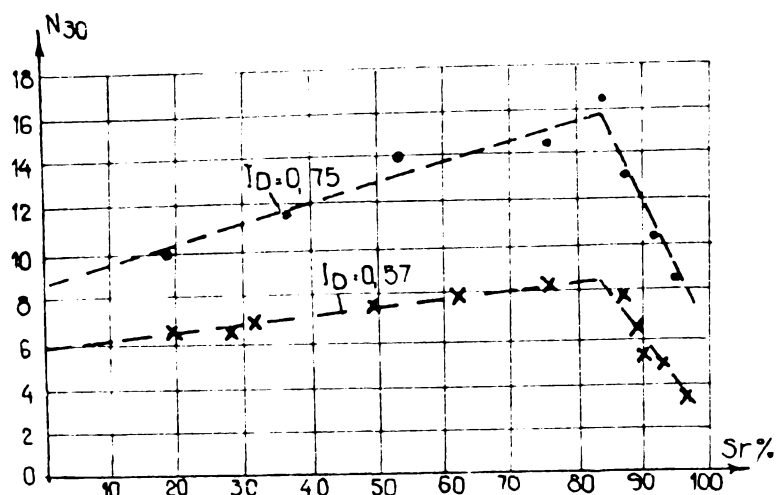


Fig.2.21. Variația rezistenței la penetrare în funcție de gradul de saturație

scă a rezistenței la penetrare. Fenomenul de creștere a rezistenței la penetrare se explică prin apariția coeziunii aparente datorită capilarității.

Odată cu coborîrea sub nivelul apei subterane se observă clar scăderea rezistenței la penetrare. În fig.2.22 sînt prezentate două dia-

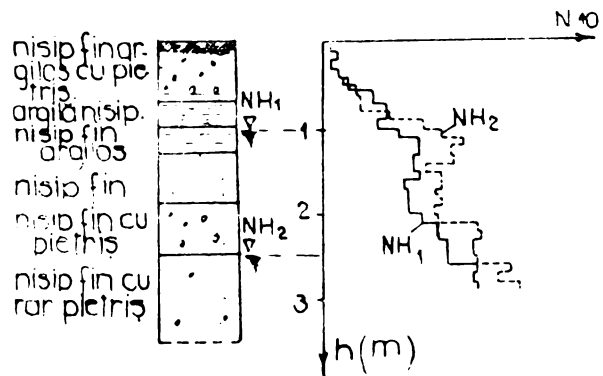


Fig.2.22. Influența apei subterane asupra rezistenței la penetrare după Paproth

grame de penetrare executate în același teren, însă la interval de timp, în care nivelul apei subterane s-a modificat.

Preluorările statistice efectuate de Melzer [58] pe baza valorilor măsurate deasupra și sub nivelul apelor subterane în cadrul experiențelor efectuate cu diverse tipuri de penetrometre, au stabilit o legătură li-

niară între rezistența la penetrare deasupra și sub nivelul apei, avînd forma generală:

$$y = a_1 x + a_2 \pm s_y \quad (2.29)$$

unde: y - rezistența la penetrare deasupra nivelului apei;

x - idem, sub nivelul apei;

a_1 și a_2 - coeficienți determinați în funcție de natura terenului și tipul penetrometrului [58];

s_y - abaterea medie pătratică.

Pe baza experiențelor s-a constatat că reducerea procentuală a rezistenței la penetrare sub apă este de 20-60% în funcție de tipul penetrometrului, gradul de îndesare și adîncime. La penetrometrul standard și dinamic greu reducerea rezistenței de penetrare poate ajunge pînă la 60%, la penetrometrul dinamic ușor pînă la 50 %, iar la penetrometrul static pînă la 40%.

Din cele de mai sus, rezultă că prin solicitare dinamică, scăderea rezistenței la penetrare este mai accentuată, fapt ce se explică prin agitarea particulelor de nisip ca și cum ar pluti în apă.

Incercări efectuate pe nisipuri cu pietriș și prafuri nisipoase [124] au scos în evidență același fenomen de scădere mai pronunțată sub apă a rezistenței de penetrare dinamică.

Odată cu creșterea gradului de îndesare respectiv a rezistenței la penetrare, scade și reducerea medie procentuală, adică efectul apei subterane se manifestă din ce în ce mai slab.

Se poate accepta că sub nivelul apei se produce și reducerea frecării pe tije ca urmare a efectului de curgere a apei, efect constatat clar în cazul penetrării statice în pământuri necoezive.

2.2.5. Influența succesiunii straturilor

În cazul succesiunii unor straturi moi cu altele tari, rezultatele penetrării sînt influențate de stratul care se află deasupra și sub cota de măsurare, fenomen care se explică prin forma suprafețelor de alunecare care se formează la pătrunderea penetrometrului în teren. Întrucît aceste suprafețe, avînd forma unor spirale logaritmice, fig.2.13, coboară sub nivelul vîrfului penetrometrului, este evident ca sesizarea apariției unui strat mai slab, respectiv mai rezistent să se facă înainte de a pătrunde vîrfurile penetrometrului în stratul respectiv. Deasemenea pătrunderea vîrfurilor penetrometrului într-un strat mai slab decît cel anterior nu va marca scăderea bruscă a rezistenței de penetrare deoarece suprafețele de alunecare se ridică mult deasupra vîrfurilor penetrometrului, ceea ce duce la majorarea rezistenței pînă cînd întreaga suprafață de alunecare se va găsi în interiorul stratului moale. Același fenomen se produce la pătrunderea penetrometrului într-un strat mai rezistent decît cel anterior.

Apariția unui strat moale sau a unui strat rezistent se resimte la o cotă mai ridicată cu 10-15 diametri [102].

2.2.6. Influența caracteristicilor utilajului

Dintre diferitele caracteristici ale utilajului s-a studiat mai îndeaproape influența mărimii secțiunii conului, a unghiului conului și a lungimii tijelor respectiv influența greutății acestora asupra rezultatelor penetrării.

Rezistența la penetrare a pămînturilor necoezive crește cu

mărimea secțiunii conului. Când penetrometrul nu este prevăzut cu o manta de protecție a tijelor trebuie să se acorde atenție deosebită raportului $\frac{d}{d_1}$ care ar putea influența asupra rezultatelor penetrării. În figura 2.23. se observă creșterea rezistenței de penetrare la conul cu secțiunea de $5,0 \text{ cm}^2$ sub cota $-1,30 \text{ m}$ datorită manifestării puternice a forței de frecare pe tijă și nu datorită influenței diametrului.

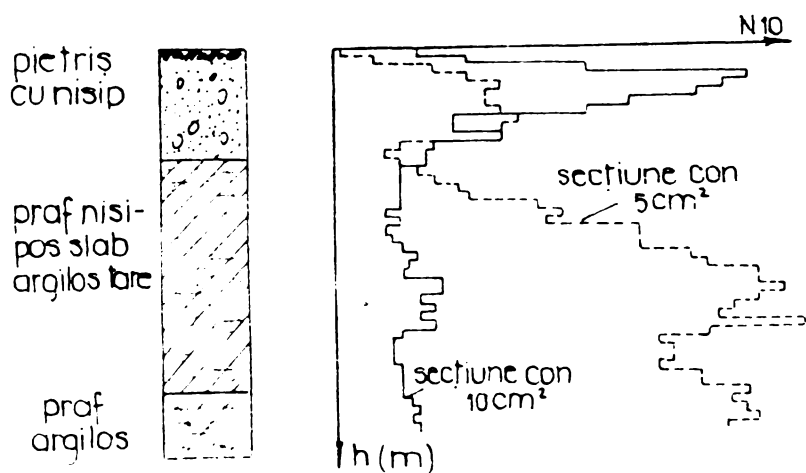


Fig.2.2.3 Influența mărimii secțiunii conului asupra rezultatelor penetrării după H.Zweck

Încercări efectuate cu penetrometre dinamice în pământuri nisipoase [117] au reliefat că unghiul vârfului penetrometrului are influență practic neglijabilă asupra rezistenței de penetrare. La aceleași rezultate s-a ajuns și în pământuri argiloase testate prin penetrare statică, când unghiul la vîrf depășește 20° [21].

Lungimea respectiv greutatea tijelor influențează asupra rezultatelor penetrării. Odată cu creșterea lungimii se modifică raportul dintre energia cinetică și masa lovită astfel că o parte din această energie se consumă pe fenomene parazitare avînd drept consecință creșterea artificială a rezistenței terenului la penetrare cu adîncimea.

Influența lungimii tijelor este redusă în cazul penetrării statice, dată fiind greutatea mică a tijelor în comparație cu forța statică de penetrare. Dimpotrivă, la penetrometrele dinamice cu con, atît calculele bazate pe formule cinemice de baterie cît și încercările comparative semnaleză influența crescîndă a lungimii tijelor.

Pînă la adîncimea de cca $6,0 \text{ m}$, pe baza încercărilor cu PDG și PDU pe nisip în cuvă, s-a obținut o creștere redusă a numărului de lovituri de $1,5 - 20 \%$ [115].

Menzenbach [59] exprimă influența lungimii tijelor pe baza unei formule de baterie și ajunge la concluzia că în cazul PDG la adîncimea de 20 m pentru aceeași rezistență dinamică de 500 daN se obține un număr dublu de lovituri față de sondajul executat la suprafață.

În stadiul actual, unii autori [115] introduc o corecție de adâncime care ține seama atât de influența frecării pe tijă cât și de variația raportului $\frac{Q_1}{Q_2}$, oferind o reducere a numărului de lovituri cu coeficienții subunitari care pot coborî pînă la 0,48 la adâncime de 14-16 m.

Un alt aspect al creșterii adâncimii respectiv a lungimii tijelor constă în facilitarea abaterii de la verticală a coloanei de sondaj, ceea ce duce la introducerea unor erori de măsurare. Rüter și alții [21] au propus montarea în vecinătatea conului a unui înclinometru și măsurarea rezistenței cu ajutorul unor timbre tensiometrice.

2.2.7. Influența vitezei de penetrare

În pămînturile coezive moi, rezistența la penetrare este invers proporțională cu viteza de lucru. Întreruperea penetrării dinamice într-o argilă moale cu cca 4 minute la fiecare prelungire a tijei, fig.2.24, a condus la creșterea rezistenței la penetrare pe o adâncime mică, imediat după reluarea sondajului; acest fapt se datorește posibilității de filtrare a apei din pori sub efectul loviturilor anterioare.

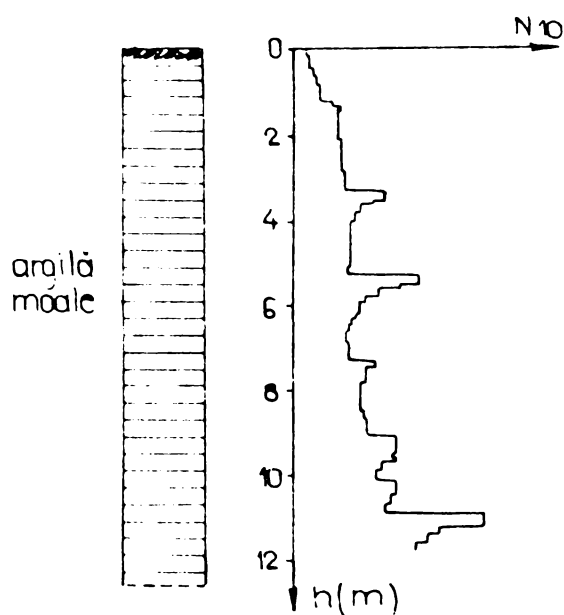


Fig.2.24. Influența întreruperilor provocate de prelungirea tijelor în argilă moale, după Kneusenberger [124]

penetrare pe con sporește cu cca 20 %. În cazul pămînturilor necoezive întreruperile, practic nu au nici o influență asupra rezultatelor penetrării.

La penetrarea dinamică cu con se indică aplicarea loviturilor cu frecvență de 15 - 30 lov/minut, frecvență pe lângă care s-a

La penetrarea statică, standardizată în India [23], se indică efectuarea sondajului cu viteza de 1 cm/s; scăderea vitezei la 0,5-0,3 cm/s nu influențează asupra rezultatelor penetrării însă creșterea vitezei pînă la 2-3 cm/s a avut următoarea influență :

- pentru pămînturi coezive avînd $R_p > 10 \text{ daN/cm}^2$ efectul vitezei de penetrare nu este semnificativ;
- pentru pămînturi coezive avînd $R_p < 4,0 \text{ daN/cm}^2$, valoarea rezistenței de penetrare crește apreciabil cu viteza;
- pentru pămînturile necoezive avînd $15 < R_p < 80 \text{ daN/cm}^2$ rezistența de penetrare

observat că efectele secundare sînt mai reduse.

2.3. Aspecte privind interpretarea rezultatelor încercărilor de penetrare

Datele obținute la realizarea sondajelor de penetrare statică sau dinamică cu con oferă posibilitatea obținerii unor informații calitative și cantitative asupra terenului studiat. Pentru ca aceste informații să fie cît mai fidele trebuie să se acorde atenție deosebită influenței factorilor enumerați în cadrul paragrafului 2.2. iar prelucrarea să se efectueze cu date corectate, sau în relațiile de calcul să se țină seama de influența acestora.

2.3.1. Interpretarea rezultatelor încercării de penetrare statică

Rezistența de penetrare pe con, R_p și frecarea laterală F_1 se obțin prin prelucrarea datelor primare înregistrate la efectuarea sondajelor și se utilizează la determinarea unor caracteristici ale terenului. Intrucît, la introducerea penetrometrului în teren, are loc ruperea acestuia în urma comprimării și refulării laterale corespunzătoare unui minim de energie, caracteristicile cele mai importante obținute sînt cele care definesc rezistența la forfecare și compresibilitatea terenului, adică caracteristicile mecanice care la rîndul lor sînt determinate de cele fizice. Bazat pe această corelare este posibilă aprecierea unor caracteristici fizice ale terenului cu datele penetrării statice.

Cu scopul de a avea o imagine clară și logică asupra problemei folosirii rezultatelor încercării de penetrare statică pentru definirea unor caracteristici ale terenului, De Beer [20] a făcut o analiză dimensională a tuturor parametrilor pe care această problemă îi include.

Pentru pămînturile necoezive, rezistența la penetrare, R_p este funcție de elementul prin care se transmite încărcarea, sarcina geologică ($p_g = \gamma h$), greutatea volumică γ , gradul de îndesare I_D , compoziția granulometrică, forma rugozității și compoziția mineralogică a granulelor, deformabilitatea și rezistența la strivire a acestora.

Viteza de penetrare și geometria elementului prin care se transmite încărcarea sînt parametri de care se dispune. Prin geometria elementului se înțelege forma și mărimea vîrfului conic, rugozitatea suprafeței conului, pătrunderea simultană sau nu cu mantaua de protecție. Dacă se notează cu R , așa zisa rază hidraulică,

$$R = \frac{A}{U} \quad (2.30)$$

unde: A - suprafața de încărcare;

U - perimetrul suprafeței de încărcare,

atunci pentru o anumită formă prin care se transmite sarcina,

De Beer [20] a scris expresia de forma:

$$\frac{R_p}{\gamma_R} = f \left(\frac{p_g}{\gamma_R}, K_o, \frac{R}{E_q}, I_D, \text{compoziția granulometrică, structura scheletului, sfericitatea și rotunjirea granulelor} \right) \quad (2.31)$$

unde :

E_q - modulul de deformație al granulelor componente al pământului considerat;

K_o - coeficientul presiunii laterale.

În expresia 2.31 unghiul frecării interioare nu apare direct, el fiind funcție de aceleași elemente.

Din analiza expresiei 2.31 rezultă că rezistența la penetrare pe con este dependentă de un număr mare de parametri independenți și de aceea nu este posibil să se stabilească o relație absolută între rezistența pe con și unul din parametri luați separat. Totuși stabilirea unor relații aproximative cu însemnătate practică este posibilă cu condiția de a delimita cu mare atenție domeniul de valabilitate al acestora.

În cele ce urmează se vor prezenta câteva aspecte cu privire la aprecierea unor caracteristici fizice și mecanice ale pământurilor și se va trata mai detaliat problema evaluării capacității portante a piloților, întrucât în capitolul 3 se vor face referiri la aceste aspecte.

2.3.1.1. Aspecte privind aprecierea unor caracteristici fizice ale pământurilor

Pentru stabilirea unor corelații dintre datele penetrării statice și unele caracteristici ale terenului s-au efectuat o serie de experiențe în condiții controlate de laborator, pe baza cărora, prin prelucrarea statistică, s-au stabilit formule empirice de calcul. Astfel, s-au determinat corelații pentru indicele porilor, e [58], [129], greutate volumică în stare uscată, γ_d [129], gradul de îndesare, I_D [58], [100] și pentru indicele de consistență I_C [129]. Aceste corelații au valabilitate limitată la categoria de teren pentru care s-au stabilit.

2.3.1.2. Aspecte privind aprecierea unor caracteristici mecanice ale pământurilor

Din punct de vedere al tipului de încercare al terenului în care pătrunde continuu sonda, testarea prin penetrare constituie o încercare nedrenată de tip rapid. Acest aspect are valabilitate cu atât mai mare cu cât mediul penetrat este mai puțin permeabil. Cu alte cuvinte, eforturile interioare datorită forței de penetrare nu sînt preluate instantaneu și integral de către scheletul mineral; o parte din aceste eforturi sînt transmise fazei lichide și preluate în timp de către faza solidă.

După De Beer [32], curba intrinsecă care caracterizează ruperea la penetrare este reprezentată prin două drepte, fig.2.25.

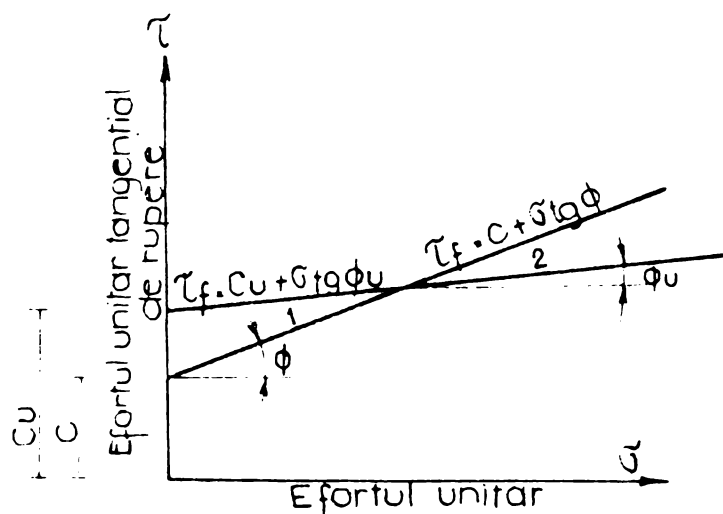


Fig.2.25. Dreapta intrinsecă pentru încercarea la penetrare de tip rapid (2) comparativ cu dreapta intrinsecă a terenului în cazul determinărilor clasice (1)

Dreapta (1) caracterizează efortul unitar tangențial de rupere

$$\tau_f = c + \sigma \operatorname{tg} \phi \quad (2.32)$$

unde c și ϕ sînt coeziunea specifică și unghiul frecării interioare a terenului corespunzătoare efortului unitar total preluat numai de faza solidă.

Dreapta 2 caracterizează efortul tangențial de rupere

$$\tau_f = c_u + \sigma \operatorname{tg} \phi_u \quad (2.33)$$

unde c_u și ϕ_u sînt coefiunea specifică și unghiul frecării interioare aparente la eforturile distribuite între faza solidă și cea lichidă la solicitare rapidă.

În timp, odată cu preluarea integrală a eforturilor unitare de către faza solidă, dreapta 2 va coincide cu dreapta 1 iar valorile c_u și ϕ_u vor tinde către valorile c și ϕ .

Terzaghi [110] explică parametri curbei intrinseci, (c_u și ϕ_u) obținută printr-o încercare de tip rapid, prin așa zisul caracter instantaneu - compresibil al mediului supus încercării. Pentru unghiul de frecare aparent Terzaghi dă următoarea valoare:

$$\operatorname{tg} \phi_u = \frac{2}{3} \operatorname{tg} \phi \quad (2.34)$$

Coeficientul de reducere rezultă din experiențele lui Terzaghi și are semnificație pur empirică.

Profesorul Buisman [94] a asimilat penetrometrul cu o fundație de suprafață și a pornit de la relația presiunii critice a lui Prandtl pentru pământurile necoezive:

$$p_{cr} = \gamma h \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \cdot \pi \operatorname{tg}\phi \quad (2.35)$$

care s-a putut generaliza pentru pământurile coezive prin aplicarea teoremei stărilor corespondente a lui Caquot, conform căreia presiunea critică și presiunea din sarcina geologică se majorează cu $\frac{c}{\operatorname{tg}\phi}$, deci

$$p_{or} = \gamma h \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \cdot \pi \operatorname{tg}\phi + \frac{c}{\operatorname{tg}\phi} \left[\operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \cdot \pi \operatorname{tg}\phi - 1 \right] \quad (2.36)$$

Pe cale experimentală Buisman a constatat că

$$R_p = 1,3 p_{or} \quad (2.37)$$

unde 1.3 reprezintă coeficientul care ține seama de forma conică a vârfului sondei, iar p_{or} se calculează cu relația (2.36).

Pentru determinarea unghiului frecării interioare, în funcție de R_p , la pământurile necoezive, De Beer, L'Herminier [94], Meyerhof [63], Folque [28], Berezanțev [115] și alții au stabilit relații de calcul simple sau abace, pe baza relațiilor lui Prandtl Caquot, Terzaghi sau pe cale experimentală.

La pământurile pur coezive, la care se poate considera $\phi=0$, Terzaghi recomandă pentru calculul coeziunii, relația (2.18 b) iar Meyerhof relația (2.18 c). Penetrarea statică fiind o încercare rapidă de forfecare nedrenată din valoarea lui R_p se obține, de fapt, coeziunea aparentă c_u , pentru calculul căreia majoritatea cercetătorilor [5] [55] [64] [107] [120] recomandă folosirea unei relații de forma:

$$c_u = \frac{R_p}{A} \quad (2.38)$$

unde A este un coeficient determinat experimental care are valoare cuprinsă între 10 și 37.

Alți cercetători [2] [27] [66] țin seama și de influența sarcinii geologice și recomandă relația:

$$c_u = \frac{R_p - Pgz}{A} \quad (2.39)$$

În cazul pământurilor coezive cu frecare interioară, L'Herminier [94] a utilizat relațiile stabilite pentru pământurile necoezive cu aplicarea teoremei stărilor corespondente.

Pentru calculul coeziunii și a frecării interioare de Beer [32] a pornit de la forma cea mai generală a rezistenței pe con,

care este o funcție complexă de unghiul frecării interioare și coeziune,

$$R_p = f(\sigma, \phi, c_u, \phi_u, p_{gz}) \quad (2.40)$$

în care se impune ϕ și se exprimă c_u în funcție de celelalte variabile. Se determină R_p la două niveluri distincte, la care se cunoaște sarcina geologică și în acest fel se obțin două ecuații cu două necunoscute care permit rezolvarea problemei.

Corelația dintre rezistența la penetrare și caracteristicile de compresibilitate a fost studiată de Buisman [31] pentru pământurile necoezive și de Bachelier, Parez, Kerisel, Sanglerat și alții pentru pământurile coezive, stabilind o relație de formă generală pentru modulul de deformație edometric M în funcție de R_p ;

$$M = \alpha R_p \quad (2.41)$$

unde α este un coeficient determinat experimental în funcție de natura terenului [45] [55] [66] [90] [91] [107] [113] [120].

Pe baza unor studii experimentale corelate s-au determinat prin prelucrări statistice formule empirice pentru calculul modulului de deformație edometric M [58] [65] [67] [107] [120] și al modulului de deformație E , [106] [114].

Cunoscînd modulul de deformație, E sau modulul edometric, M determinat în funcție de R_p , se pot calcula tasările probabile [127] cu o siguranță suficient de mare pentru a fi utilizate cu încredere.

Capacitatea portantă a terenului se poate aprecia cu ajutorul relațiilor clasice Terzaghi sau De Beer [32] [94] în care ϕ , ϕ_u , c , c_u se determină pe baza rezultatelor penetrării utilizînd coeficienți de siguranță 2...3 sau pe baza unor corelații stabilite experimental [94] [95] [114].

2.3.1.3. Evaluarea capacității portante a piloților

Considerînd penetrometrul un model de pilot, unii care neagă orice semnificație practică a rezultatelor încercărilor de penetrare pentru determinarea proprietăților mecanice ale pământurilor, utilizează aceste încercări pentru determinarea fișei și a capacității portante a piloților [127].

Încercarea de penetrare statică oferă cele mai mari posibilități pentru determinarea capacității portante a piloților din cauza similitudinii penetrometru-pilot și a posibilității de determinare separată a rezistenței terenului pe con și a frecării laterale pe mantaua penetrometrului.

Pentru stabilirea capacității portante există mai multe metode, care au la bază diverse corelații între rezistențele de penetrare (R_p și F_1) și cele care se manifestă pe pilot [94].

Metoda belgiană-olandeză dă încărcarea limită pe vârful pilotului și este aplicată în special la piloții purtători pe vîrf [94]:

$$R_v \text{ lim} = p_v A \quad (2.42)$$

unde: p_v - rezistența terenului pe vârful pilotului, daN/cm^2 ;
 A - secțiunea pilotului la vîrf, cm^2 .

Capacitatea portantă a pilotului se determină aplicînd un coeficient de siguranță egal cu 2,

$$R = \frac{R_v \text{ lim}}{2} = \frac{p_v \cdot A}{2} \quad (2.42 \text{ a})$$

Meyerhof și De Beer bazați pe încercări comparative, consideră că rezistența pe vârful pilotului poate fi considerată egală cu rezistența de penetrare pe vîrf,

$$p_v = R_p$$

Pentru determinarea capacității portante, Meyerhof [63] pleacă de la relația de bază pentru încărcarea limită pe pilot:

$$R_{\text{lim}} = p_v A + p_1 A_1 \quad (2.43)$$

unde: A_1 - aria laterală a pilotului, cm^2 ;
 p_1 - rezistența de frecare pe suprafața laterală a pilotului, daN/cm^2 .

Rezistența de frecare pe suprafața laterală a pilotului se poate exprima în funcție de rezistența de penetrare pe vîrf, astfel:

$$p_1 = \frac{R_p}{200} \quad \text{- pentru pămînturi nisipoase;}$$

$$p_1 = \frac{R_p}{100} \quad \text{- pentru pămînturi argiloase.}$$

Capacitatea portantă rezultă din relația (2.43) prin aplicarea unui coeficient de siguranță egal cu 3.

De Beer utilizează pentru calculul capacității portante a pilotului introdus într-un strat gros de argilă, cea mai mică valoare dată de una din relațiile:

$$R_1 = \frac{R_p \cdot A}{1,1} \quad (2.44)$$

$$R_2 = \frac{R_p \cdot A + \frac{F_1 U}{U_p}}{3} \quad (2.45)$$

unde: F_1 - frecarea laterală pe mantaua penetrometrului;
 U - perimetrul pilotului;

U_p - perimetrul mantalei penetrometrului.

Relațiile pentru R_1 și R_2 sînt apropiate aceleia utilizată de numeroși geotehnicieni din SUA pentru piloții introduși în argilă de consistență redusă cu precizarea că ei utilizează coeficienți de siguranță diferențiați pentru capacitatea portantă pe vîrf și cea pe manta:

$$R = \frac{R_p \cdot A}{2} + \frac{F_1 \cdot U_p}{3} \quad (2.46)$$

Trofimenkov [113] pleacă de la relația generală a capacității portante dată de SNIP II 85-67, care pe baza rezultatelor penetrării statice se scrie sub forma:

$$R = 0,7 \left(0,5 R_p^m A + \frac{U}{U_p} F_1 \right) \quad (2.47)$$

unde: A - secțiunea vîrfului pilotului, cm^2 ;

R_p^m - rezistența medie obținută din rezistențele de penetrare R_p determinate pe înălțimea "4d" deasupra nivelului vîrfului pilotului și pe adîncime "d" sub nivelul vîrfului pilotului "d" fiind latura sau diametrul pilotului;

U, U_p și F_1 au semnificația din relația (2.45).

Pe baza unor normative pentru proiectarea fundațiilor pe piloți apărute în URSS în 1973 [113], rezistența terenului pe vîrf pilotului se consideră jumătate din rezistența de penetrare medie pe con,

$$p_r = \frac{R_p^m}{2}$$

Relația (2.47) dă rezultate foarte bune pentru aprecierea capacității portante a unor piloți executați de mai mulți ani [113]. Dacă încercarea de probă pe pilot se face în paralel cu încercările de penetrare statică, relația (2.47) dă valoare pentru capacitatea portantă diferită de cea obținută din încercarea de probă, diferența fiind de multe ori în limite neacceptabile; în acest caz se utilizează coeficienții de corecție β_1 și β_2 [113] în funcție de rezistența medie pe vîrf pilotului, R_p^m și rezistența medie de frecare pe mantaua penetrometrului calculată cu relația:

$$f_1 = \frac{F_1}{U_p \cdot l}$$

unde: l - reprezintă lungimea pilotului.

Cînd pămîntul este omogen, frecarea medie pe mantaua penetrometrului se consideră constantă și încărcarea limită pe pilot se calculează cu relația:

$$R_{lim} = \beta_1 R_p^m A + \beta_2 f_1 \cdot A_1 \quad (2.48)$$

unde A_1 - reprezintă aria laterală a pilotului.

În cazul cînd pămîntul este format din mai multe straturi, formula de calcul este:

$$R_{lim} = \beta_1 R_p^m A + \frac{\sum \beta_i f_{1i} \cdot l_i}{1} A_1 \quad (2.48 a)$$

Capacitatea portantă se determină cu relația:

$$R = 0,7 R_{lim} \quad (2.49)$$

În cazul cînd nu se poate separa rezistența de penetrare pe con și frecarea pe manta se recomandă relația:

$$R_{lim} = (2 - 0,1 f) \frac{U}{U_p} F_p \quad (2.50)$$

unde: F_p - forța totală de penetrare;

f - rezistența de frecare medie a terenului determinată cu formula:

$$f = \frac{F_p}{U_p \cdot l}$$

La Simpozionul de la Stockholm [127] o parte din țările participante au propus relații de calcul pentru capacitatea portantă a piloților, prezentate în tabelul 2.4.

Tabelul 2.4.

TARA	Relația	Coefficienți de siguranță	Observații
Grecia [107]	$R = \frac{1}{\eta_1} (R_{p1}^m \cdot A + \frac{R_{p2}^m}{\eta_2} A_1)$	$\eta_1 = 3$ $\eta_2 = 200$ $\eta_2 = 300$ $\eta_2 = 100$	nisipuri nisip prăfos nisip cu pietriș
India [23]	$R = \frac{R_{p1}^m A}{\eta_1} + \frac{R_{p2}^m A_1}{50 \eta_2}$	$\eta_1 = 2,5$ $\eta_2 = 2$	
Norvegia [104]	$R_{lim} = \frac{R_{p3}^m A}{\eta_1} + \frac{R_{p2}^m A_1}{\eta_2}$	$\eta_1 = 2$ $\eta_2 = 200$ $\eta_2 = 100$	variabil cînd $R_p \leq 100 \text{ daN/cm}^2$ nisipuri cu în-desare medie nisipuri foarte în-desate
Marea Britanie [91]	$R_{lim} = R_p A + \frac{R_{p2}^m \cdot A_1}{200}$		după Meyerhof

Notă: notațiile din tabel au următoarea semnificație:

R_{p1}^m - valoarea medie în concordanță cu Vander Veen (1957);

- $R_{p_2}^m$ - valoarea medie pe lungimea "l" a pilotului;
 $R_{p_3}^m$ - valoarea medie considerînd 5 d deasupra și 3 d sub vârful pilotului, d fiind latura sau diametrul acestuia.

Așa cum rezultă din tabelul 2.4, la calculul capacității portante, rezistența de penetrare pe vîrf R_p reprezintă o valoare medie care se calculează în funcție de natura terenului și grosimea stratului rezistent [17] [94].

Dacă stratul rezistent în care se înfig piloții este de grosime mare, valoarea medie a rezistenței la penetrare R_p^m se determină astfel:

- pe baza relației:

$$R_p^m = \frac{\sum_{i=1}^n R_{p_i}}{n} \quad (2.51)$$

adică media rezistențelor de penetrare pe con pe o adîncime a.d sub nivelul vârfului pilotului și pe o înălțime b.d deasupra acestui nivel. Valorile coeficienților a și b sînt în funcție de starea de îndesare a pămîntului, iar d este diametrul sau latura pilotului.

- pe baza relației:

$$R_p^m = \frac{1}{2} (R_{p_a} + R_{p_b}) \quad (2.52)$$

unde: R_{p_a} - rezistența medie de penetrare sub vârful pilotului pe o adîncime de 3,5 d;

R_{p_b} - rezistența medie la penetrare deasupra vârfului pilotului pe o înălțime 8 d.

Ca valoare de calcul se ia cea mai mică dintre valorile rezultate din formulele (2.51) și (2.52).

În cazul cînd vârful pilotului este oprit într-un strat rezistent de grosime relativ redusă urmat de un strat slab, valoarea medie a rezistenței la penetrare R_p^m se determină cu formula (2.52) luînd pentru R_{p_a} valoarea dată de expresia:

$$R_{p_a} = \frac{R_{p_1} + R_{p_2} + \dots + n R_{p_n}}{2n} \quad (2.53)$$

în care: R_{p_1} ; R_{p_2} ... sînt rezistențele la penetrare înregistrate pe intervale regulate (de ex. 10 sau 20 cm) pe o adîncime 3 d sub nivelul vârfului pilotului, R_{p_n} fiind valoarea înregistrată cel mai sus. Introducerea valorii înregistrate la nivelul cel mai de jos într-un număr egal cu cel al valorilor înregistrate pe adînci-

mea $3d$ permite să se țină seama de necesitatea reducerii pericolului cedării pilotului prin poansonarea stratului rezistent de mică grosime.

O metodă simplă pentru determinarea capacității portante a piloților înfipti în straturi de pământuri necoezive a fost dată de E.Paproth [70] care a pornit de la legătura care există între deformație, modulul și rezistanța de penetrare pe vîrf și a obținut relația:

$$R = 11 d R_p s_{gd} \quad (2.54)$$

unde s_{gd} reprezintă tasarea admisă avînd valoarea impusă sau determinată dintr-o diagramă de încărcare a unui pilot de probă.

2.3.2. Interpretarea rezultatelor încercării de penetrare dinamică

La efectuarea sondajelor de penetrare dinamică cu con se înregistrează numărul de lovituri " N_z " pentru înaintarea conului penetrometrului cu adîncimea " z " constantă.

Așa cum s-a arătat în capitolul 1, cercetarea terenului prin sondaje de penetrare dinamică oferă rezultate care în general se utilizează pentru prelucrări calitative [131].

În ceea ce privește prelucrarea cantitativă a datelor, au fost stabilite o serie de corelații pentru determinarea gradului de îndesare, a consistenței și a unor caracteristici mecanice pentru diverse categorii de terenuri.

Din cauza solicitării dinamice, prelucrările trebuie făcute cu mult discernămint, în special în cazul cînd există posibilitate de manifestare a presiunii interstițiale, motiv pentru care metoda nu este recomandată în cazul pămînturilor coezive cu permeabilitate redusă [25].

Înainte de a trece la determinarea unor caracteristici ale pămînturilor este absolut necesar ca numărul de lovituri, N_z să fie reprezentativ pentru stratul respectiv [36]. În acest scop se stabilește:

- natura terenului;
- adîncimea critică rezultată din diagrama de penetrare;
- numărul de lovituri, care se alege ca o valoare medie pe straturi elementare, numai sub adîncimea critică. Cu această ocazie se vor elimina vîrfurile din diagrama de penetrare, provocate de fragmentele mari sau incluziuni.

Aşa cum s-a arătat în cadrul punctului 2.3.1.2., rezistența la penetrare dinamică la fel ca cea statică, depinde de foarte mulți parametri care fac practic imposibilă stabilirea unor relații absolute între rezistența de penetrare și unul din acești parametri. Pe baza unor experiențe conduse în condiții riguros controlate s-au putut stabili anumite corelații cu însemnătate practică.

2.3.2.1. Aprecierea unor caracteristici fizice ale pământurilor

A. Gradul de îndesare. Pentru stabilirea gradului de îndesare s-au efectuat o serie de experiențe pe medii nisipoase riguros controlate din punct de vedere al granulozității, gradului de îndesare, capacității de îndesare etc.

Pe baza unor prelucrări statistice, Melzer [58] a stabilit pentru calculul gradului de îndesare o relație de forma generală:

$$I_D = a_1 \log N_{20} - a_2 \gamma h + a_3 \pm s_y \quad (2.55)$$

unde : N_{20} - numărul de lovituri pentru înaintarea conului pe adâncime de 20 cm;

γh - sarcina geologică la nivelul vârfului penetrometrului;

a_1, a_2, a_3 - coeficienți care depind de natura terenului și tipul penetrometrului;

s_y - abaterea medie.

În tabelul 2.5 se prezintă valorile coeficienților pentru determinarea gradului de îndesare și domeniul de valabilitate a corelației.

Tabelul 2.5.

Tipul penetrometrului	Natura terenului	Coeficienți				Domeniul de valabilitate		
		a_1	a_2	a_3	s_y	starea de îndesare	γh daN/cm ²	adâncimea m
PDG	nisip mediu-fin	0,283	0,375	0,445	0,068	mediu îndesat	0,0-0,8	0-5
PDG	nisip mare	0,378	0,226	0,385	0,059	idem	0,5-1,0	2,5-6
PDG	nisip cu pietriș	0,716	0,224	0,193	0,068	idem	1,0-1,5	6-8
PDU	nisip mediu-fin	0,252	0,309	0,297	0,064	idem	0,0-0,8	0-5
PDU	nisip mare	0,364	0,231	0,273	0,062	idem	0,5-1,0	2,5-6

Menzenbach a stabilit o relație aproximativă pentru determinarea gradului de îndesare în cazul folosirii penetrometrului dinamic greu [94]:

$$I_D = 1,15 \times 0,2181 n \frac{N_{20}}{h_{or} + 0,53(\gamma h - 0,16)} \quad (2.56)$$

unde: $n = \frac{h_{or}}{d}$,

h_{or} - adâncimea critică;

d - diametrul conului penetrometrului.

N_{20} și γh au semnificația din relația 2.55.

B. Indicele porilor se apreciază pe baza corelațiilor obținute pentru nisipuri [58], care au următoarea formă generală:

$$e = -a_1 \log N_{20} + a_2 \gamma h + a_3 \pm s_y \quad (2.57)$$

Termenii din relația (2.57) au aceeași semnificația cu cei din relația (2.55). Pentru penetrometrul dinamic ușor și greu cu care s-au efectuat încercările, formula (2.57) se particularizează:

- Pentru PDG:

$$e = -0,092 \log N_{20} + 0,166 \gamma h + 0,625 \pm 0,033 \quad (2.57 a)$$

- Pentru PDU:

$$e = -0,080 \log N_{20} + 0,076 \gamma h + 0,680 \pm 0,032 \quad (2.57 b)$$

În urma unor încercări efectuate pe nisip cu un penetrometru dinamic greu, Vorobkov [127] a stabilit dependența dintre porozitatea "n" și numărul de lovituri

$$n = 46 - 7,5 \log N_{10} \quad (2.58)$$

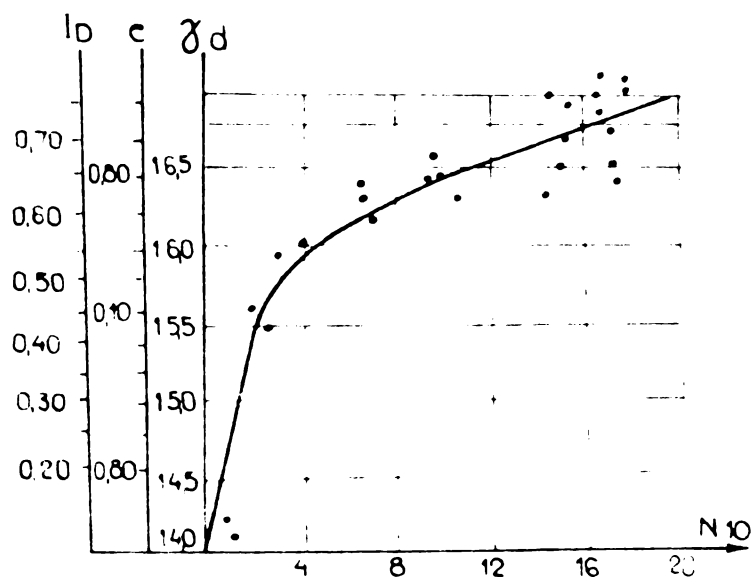


Fig.2.26. Legătura dintre N_{10} și I_D , e , γh

În figura 2.26 se dau corelațiile obținute de Platkin [127] în condiții de laborator între numărul de lovituri N_{10} și gradul de îndesare I_D , indicele porilor, e , și greutatea volumică uscată γ_d pentru o umplură de nisip fin cu umiditate redusă.

Corelațiile stabilite de diverși cercetători sînt extrem de variate ele fiind legate de natura terenului și aparatul utilizat.

2.3.2.2. Aprecierea unor caracteristici mecanice ale pământurilor

Incercări de penetrare efectuate în URSS [113] au dat posibilitatea stabilirii unor corelații între rezistența dinamică p_d (w') și unghiul frecării interioare la pământuri necoezive, rezultatele fiind prezentate în tabelul 2.6.

Tabelul 2.6.

p_d daN/cm ²	Unghiul frecării interioare ϕ°		
	Nisip mediu și grosier	Nisip fin	Nisip prăfos
20	30	28	26
35	33	30	28
70	36	33	30
110	38	35	32
140	40	37	34
175	41	38	35

Presiunea sau rezistența dinamică din tabelul 2.6 se calculează cu relația:

$$p_d = \frac{k l j n}{z} \quad (2.59)$$

unde:

- k - coeficient care ține seama de pierderea de energie pentru o căzătură a berbecului în funcție de adâncime, avînd valoarea 0,65...0,49 cînd adîncimea variază între 0 și 20 m;
- l - lucrul mecanic specific pe unitatea de suprafață a conului;
- j - coeficient care ține seama de frecare dintre teren și penetrometru, avînd valori în intervalul 1 - 0,6;
- n - numărul de lovituri;
- z - pătrunderea pentru un număr dat de lovituri.

Pentru aprecierea caracteristicilor de compresibilitate cercetările efectuate pînă în prezent s-au canalizat în direcția stabilirii unor corelații statistice determinate pe baza unor încercări de laborator sau teren. O largă răspîndire au primit corelațiile pentru aprecierea modulului de deformație edometric, M , care deși prezintă o împrăștiere destul de mare au de partea lor avantajul rapidității și a prețului de cost scăzut.

In cazul pământurilor nisipoase Ohde [67] și Moussa [65] au stabilit relația:

$$M = \frac{d\sigma}{d_s} = v \left(\frac{\sigma}{\sigma_1} \right)^w \quad (2.60)$$

unde: σ - efort normal, daN/cm²;

σ_1 - efort unitar, 1,0 daN/cm²;

v, w - coeficienți dependenți de natura terenului, care rezultă din diagrama compresiune-tasare relativă reprezentată în scară dublu logaritmică, fig.2.27.

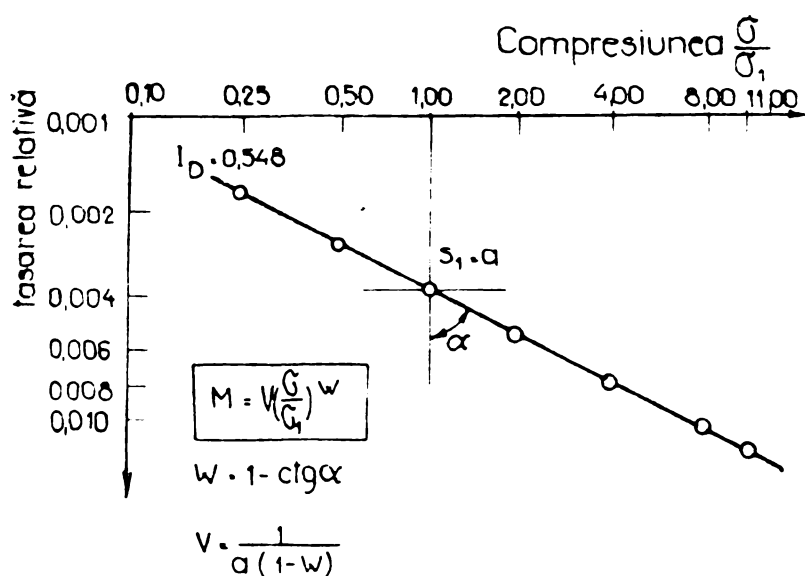


Fig.2.27. Diagrama compresiune-deformație pentru un pământ necoeziv

te v , calculate cu relațiile lui Moussa [65] pentru diverse adâncimi.

In figura 2.28 sînt reprezentate curbele obținute pe baza încercărilor efectuate în nisip cu PDG; pentru simplificare pe axa ordonatelor s -a reprezentat valoarea M corespunzătoare lui $\sigma = 1,0$ daN/cm², adică $M = v$.

Coeficientul de rigiditate, v s-a calculat cu ajutorul rezultatelor penetrării dinamice, cu relația stabilită de Melzer [58]:

$$v = a_1 \log N_{20} - a_2 \gamma h + a_3 \pm s_y \quad (2.61)$$

unde: a_1, a_2, a_3 - coeficienți care depind de natura terenului și de tipul penetrometrului.

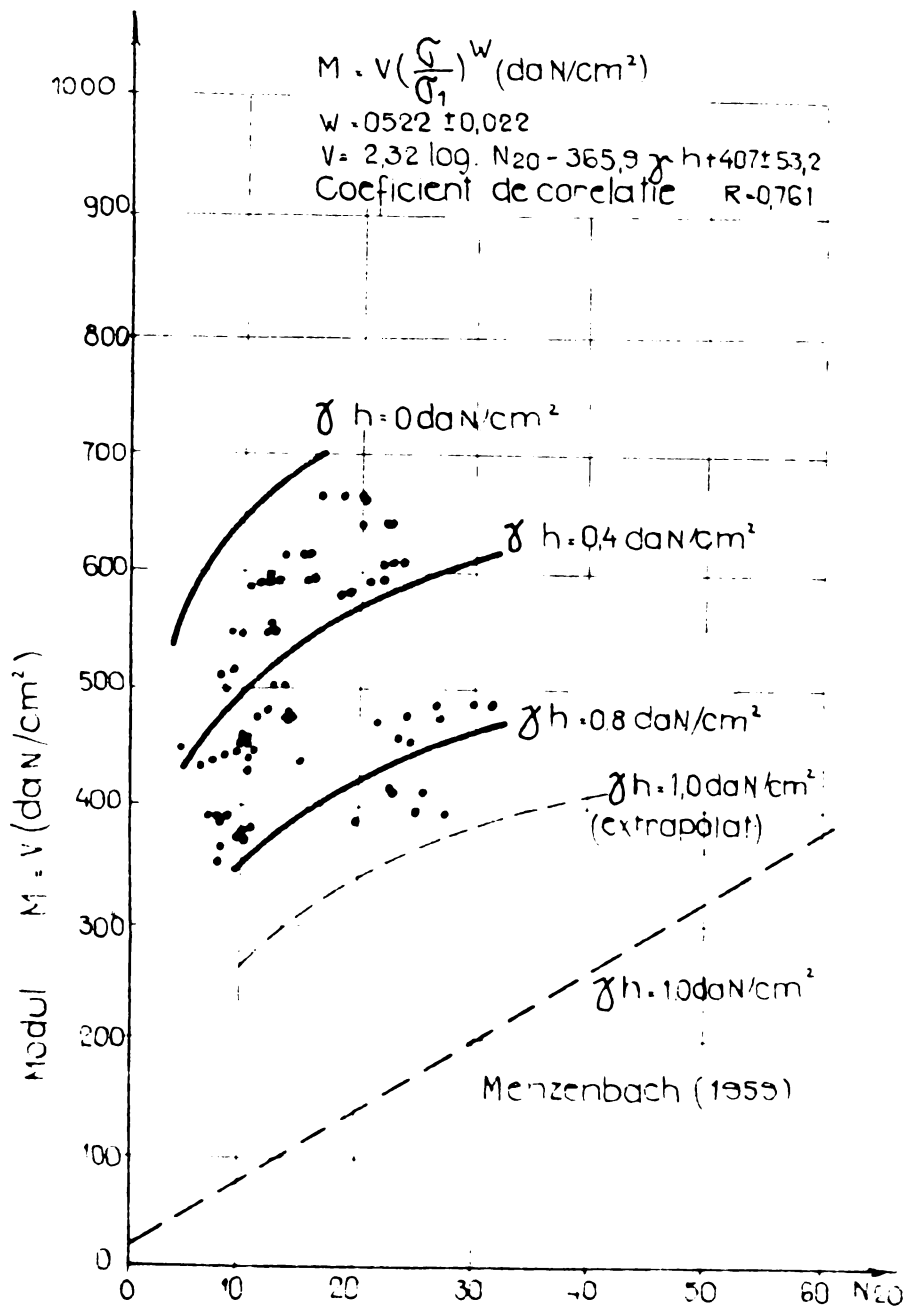
s_y - abatere medie.

Valorile modulului M , date de Menzenbach [94] fig.2.28 sînt mult mai mici ca urmare a tulburării probelor de nisip cu ocazia recoltării și introducerii probei în edometru.

In tabelul 2.7 sînt prezentați coeficienții a_1, a_2, a_3 și s_y și domeniul de valabilitate a relației (2.61).

Tabelul 2.7.

Tipul penetrometrului	Natura terenului	Coeficienți			Abateri medii s_y	Domeniul de valabilitate			
		a_1	a_2	a_3		v daN/cm ²	$e_{max} - e_{min}$	γ^h daN/cm ²	adîncimea m
PDG	nisip mediu-fin	232,0	365,9	407,0	53,2	200 - 700	0,262 - 0,366	0,0 - 0,8	0 - 5
PDG	nisip mare	740,5	575,5	165,2	114,1	400 - 1000	0,420 - 0,476	0,5 - 1,0	2,5 - 6
PDU	nisip mediu fin	229,8	322,0	251,2	49,2	300 - 700	0,262 - 0,336	0,0 - 0,8	0 - 5
PDU	nisip mare	687,6	574,5	300,0	121,2	400 - 1000	0,420 - 0,476	0,5 - 1,0	2,5 - 6



Cu penetrometrul dinamic ușor utilizat în Bulgaria [107] și a cărui caracteristici sînt date în tabelul 1.4, s-au stabilit următoarele corelații pentru modulul de deformare caometric M și pentru modulul de deformare E , în funcție de natura terenului:

- nisip cu pietriș:
 $M=8,0N_{10}^{-9}$; $E=2N_{10}^{-2}$
- nisip
 $M=6,5N_{10}^{-3}$; $E=16N_{10}^{-12}$
- nisip argilos
 $M=6,7N_{10}^{-24}$; $E=17N_{10}^{-80}$
- argilă nisipoasă
 $M=4,3N_{10}^{-27}$; $E=11N_{10}^{-88}$
- argilă
 $M=4,0N_{10}^{-11}$; $E=9,5N_{10}^{-50}$

Fig.2.28. Dependența dintre modulul M și numărul de lovituri N_{20} (PDG) pentru nisip

Rezultate mulțumitoare s-au obținut prin corelarea modului de deformare E, obținut cu placa și rezultatele penetrării pe adâncimea activă a plăcii de încărcare.

Experiențele efectuate de Sașkov [125] în terenuri nisipoase cu placa de 5000 cm² cuplate cu sondeje de penetrare dinamică cu penetrometrul dinamic greu tip UBP(Q₁=60 kg; H=80 cm) au stabilit o dependență liniară între modulul de deformare E și rezistența dinamică la penetrare w'.

$$E \approx \alpha w' \quad (2.62)$$

Valoarea coeficientului α depinde de natura terenului și de tipul penetrometrului.

Dudler lucrând în condiții asemănătoare cu Sașkov a obținut următoarea corelație [125]:

$$E = (55 - 5p) N_{10} \quad (2.63)$$

unde: E - modulul de deformare obținut cu placa de încărcare în intervalul $p = 1,0 \div 5,0$ daN/cm²;
p - presiunea pe placă, daN/cm².

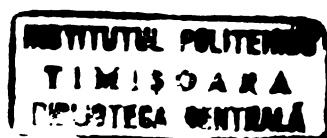
Pentru nisipuri neuniforme cu pietriș, în intervalul 5-10 lov/10 cm, ce corespunde domeniului slab îndesat, Dudler a stabilit relația:

$$E = (55 - 5p) N_{10}^{-100} \quad (2.64)$$

La Simpozionul de la Stockholm, Trofimenkov [113] a prezentat corelații pentru stabilirea modului de deformare în funcție de rezistența dinamică, calculată cu formula (2.59); valorile modului sînt prezentate în tabelul 2.8.

Tabelul 2.8

P _d daN/cm ²	Modulul de deformare E (daN/cm ²)		
	Nisip grosier și mijlociu	Nisip fin	Nisip prăfos
20	200 - 160	130	80
35	260 - 210	190	130
70	390 - 340	290	220
110	490 - 440	350	280
140	550 - 500	400	320
175	600 - 550	450	350



2.3.2.3. Aprecierea capacității portante a terenului de fundare

În cazurile curențe, la fundațiile cu suprafața mare în raport cu cota de fundare, în terenuri omogene, mărimea presiunii admisibile se calculează cu relația:

$$p_{ad} = \frac{w'}{20} \quad (2.65)$$

unde w' este rezistența dinamică calculată cu formula olandeză, relația (2.20 a).

Prin compararea expresiilor date de Caquot și Kerisel [94] pentru rezistențele sub vârful penetrometrului și sub o fundație, rezultă coeficienți de siguranță mari (peste 4) în cazul aplicării relației (2.65), dar la care nu se renunță în cazul când cercetarea terenului se face numai prin penetrare.

Când se dispune de date mai ample asupra terenului, obținute cu alte metode de cercetare, este justificat să se reducă valoarea coeficientului de siguranță, astfel în cazul fundațiilor de mică adâncime în terenuri omogene, presiunea admisibilă se poate calcula cu relația:

$$p_{ad} = \frac{w'}{15} \quad (2.65 \text{ a})$$

2.3.2.4. Evaluarea capacității portante a piloților

Una din cele mai importante aplicații ale încercărilor de penetrare dinamică este stabilirea fișei piloților purtători pe vîrf introduși în teren prin batere [46]. Între capacitatea portantă a piloților și rezistența de penetrare exprimat prin numărul de lovituri N_z nu s-a stabilit pînă în prezent o relație directă.

În urma unor experiențe efectuate în pămînturi nisipoase [104] s-a ajuns la concluzia că estimarea capacității portante a piloților flotanți este posibilă folosind rezultatele penetrării dinamice cu con în baza legăturii stabilite între rezistența dinamică medie pe lungimea pilotului și echivalentul frecării specifice pe mantaua acestuia. Rezistența dinamică de penetrare se calculează cu relația:

$$W = \frac{Q_1 H}{e} \quad (2.66)$$

unde: Q_1 - masa berbecului;

H - înălțimea de cădere;

e - pătrunderea conului sub o lovitură.

Echivalentul frecării specifice este:

$$f_m = \frac{R_{lim}}{A_1} \quad (2.67)$$

unde: R_{lim} - capacitatea portantă limită a piloțului;
 A_1 - aria laterală a pilotului.

În figura 2.29 se prezintă diagrama de variație a echivalentului frecării specifice în funcție de rezistența dinamică pentru un pilot din beton armat.

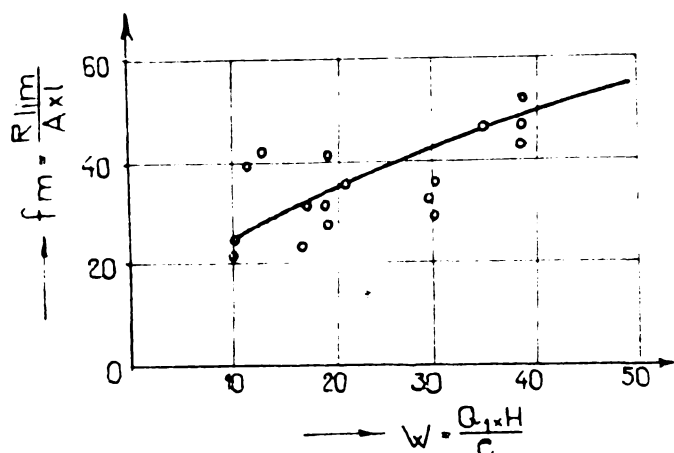


Fig. 2.29. Legătura dintre rezistența dinamică medie și echivalentul frecării specifice la rezistența dinamică la cea statică.

Pentru aprecierea capacității portante a piloților, sondajele de penetrare dinamică se pot utiliza în corelare cu încercări de probă pentru reducerea volumului acestora [46].

Un procedeu des întâlnit pentru aprecierea capacității portante a piloților este cel bazat pe relații stabilite prin penetrarea statică, prin utilizarea unor corelații de trecere de

2.4. Aspecte privind corelația dintre penetrarea statică și dinamică cu con

Sondaje de penetrare efectuate în paralel cu mai multe tipuri de penetrometre în diverse categorii de terenuri, au permis stabilirea unor corelații între rezistențele de penetrare obținute cu diferite penetrometre.

Încercări efectuate de cercetători [58] în condiții controlate, cu penetrometre dinamice cu con, standard și statice a căror date s-au prelucrat statistic, au oferit corelații dintre care în tabelul 2.9 sînt redată numai cele legate de penetrometrele ce fac obiectul prezentei lucrări.

Relațiile de legătură din tabelul 2.9 stabilite de Melzer [58] pe teren au coeficienți de corelație mai scăzuți (0,72 - 0,83) față de relațiile stabilite pe nisip de cuvă (0,90 - 0,93) din cauza neomogenității materialului de pe teren față de cel din cuvă.

Încercări efectuate în Bulgaria [107] cu penetrometrul dinamic ușor în paralel cu penetrometrul static au permis stabilirea corelațiilor prezentate în tabelul 2.10.

Tabelul 2.9.

Tipul penetrometrului	Natura terenului	Corelația	Autorul
PDU ↑ ↓ PDG	Nisip mediu-fin	$N_{20} \text{ PDU} \approx 3,7 N_{20} \text{ PDG}$	Melzer(1967) în cuvă
	Nisip mare	$N_{20} \text{ PDU} \approx 2,0 N_{20} \text{ PDG}$	Melzer(1967) pe teren
	Indif.de nat.teren	$N_{20} \text{ PDU} \approx 3,3 N_{20} \text{ PDG}$	după formulă de batere
PSO ↑ ↓ PDG	Nisip mediu-fin	$R_p \approx 8 N_{20}$	Melzer(1967) în cuvă
	Nisip mare	$R_p \approx 9 N_{20}$	Melzer(1967) pe teren
PSO ↑ ↓ PDU	Nisip mediu-fin	$R_p \approx 2,2 N_{20}$	Melzer(1967) în cuvă
	Nisip mediu-fin	$R_p \approx 2,2 N_{20}$	Van Wambecke(1962)
	Nisip mare	$R_p \approx 3,5 N_{20}$	Melzer(1967) pe teren

Notă: In tabel s-au făcut următoarele notații:

PDG - penetrometru dinamic cu con de tip greu;

PDU - penetrometru dinamic cu con de tip ușor;

PSO - penetrometru static hidraulic de tip olandez.

Tabelul 2.10

Natura terenului	Corelația
Nisip cu pietriș	$R_p = 5 N_{10} + 10$
Nisip	$R_p = 4 N_{10} + 7$
Nisip argilos	$R_p = 4,2 N_{10} - 10$
Argilă nisipoasă	$R_p = 2,7 N_{10} - 12$
Argilă	$R_p = 2,4 N_{10} - 2$

In lucrarea [44] sînt prezentate corelații obținute în urma unui număr mare de sondeaje de penetrare statică și dinamică pe diverse amplasamente în terenuri nisipoase.

S-au utilizat penetrometre dinamice cu caracteristici indicate în DIN 4094/1 [123] și penetrometru static olandez, obținînd corelațiile:

$$N_{10} \text{ PDG} = - 1,86 + 0,133 R_p \pm 2,6 \quad (2.68)$$

$$N_{10} \text{ PDU} = 1,3 N_{10} \text{ PDG} \quad (2.69) \text{ - peste nivelul apelor subterane}$$

$$N_{10} \text{ PDU} = 2,0 N_{10} \text{ PDG} \quad (2.69a) \text{ - sub nivelul apelor subterane}$$

Cunoașterea relațiilor de legătură dintre rezistențele de penetrare obținute cu diverse tipuri de penetrometre are utilitate

practică în sensul că, așa cum rezultă și din prezentul capitol, majoritatea relațiilor privind determinarea unor caracteristici ale terenului sau a capacității portante a piloților sînt stabilite pentru penetrarea statică la care fenomenele care iau naștere în teren sînt mai bine stăpînite decît la penetrarea dinamică.

2.5. Cîteva concluzii privind cercetarea terenului prin sondeaje de penetrare statică și dinamică cu con

Cercetarea terenurilor prin sondeaje de penetrare statică a fost împrăștiată de mai mulți cercetători avînd domeniu mai larg de aplicabilitate iar fenomenele care iau naștere în teren cu ocazia efectuării sondajului, fiind mai accesibile din punct de vedere teoretic.

Penetrarea dinamică cu con deși mai simplă și mai ieftină a fost mai puțin cercetată și utilizată, în general folosirea ei rezumîndu-se la interpretări calitative și mai rar la cele cantitative.

Utilizarea în paralel a penetrometrelor statice și dinamice în problemele de cercetare permite elucidarea unor aspecte legate de penetrarea dinamică pe baza unor teorii puse la punct pentru penetrarea statică.

Așa cum s-a arătat în cuprinsul prezentului capitol există o serie de teorii bazate pe ipoteze simplificatoare care caută să găsească acces teoretic la problema foarte complexă a interpretării datelor sondajelor de penetrare.

Pentru simplificarea problemei și pentru utilizarea unor rezistențe de penetrare reprezentative pentru terenul respectiv, este foarte importantă luarea în considerare a factorilor care influențează asupra rezultatelor penetrării.

Așa cum s-a arătat în paragraful 2.2 există unele aspecte controversate în problema factorilor de influență care reclamă continuarea cercetărilor în acest domeniu.

Multitudinea factorilor care concură și influențează rezistența de penetrare statică sau dinamică fac practic imposibilă determinarea unor relații certe cu aplicabilitate foarte largă, în majoritatea cazurilor, ele fiind valabile într-un domeniu limitat.

Pe plan mondial se fac cercetări continue pentru punerea la punct a metodei penetrării în general și în special pentru lărgirea sferei cercetării terenurilor prin penetrare dinamică.

În capitolele următoare se vor prezenta aspecte care au constituit elemente de studiu și cercetare legate de investigarea "in situ"

a terenurilor prin sondeaje de penetrare dinamică cu con, menite să contribuie la generalizarea metodei în cadrul lucrărilor de cercetare și la mărirea și consolidarea încrederii pe care să o acorde acestei metode simple și ieftine cei ce se ocupă de cercetarea terenului.

Cercetările au fost efectuate la scară de laborator în condiții controlate și pe diferite amplasamente în diverse categorii de terenuri, urmărindu-se următoarele aspecte:

- punerea la punct a metodologiei de efectuare a sondajului de penetrare dinamică cu con și stabilirea domeniului de utilizare a metodei și a diverselor tipuri de aparate;

- aducerea unor îmbunătățiri aparaturii în vederea obținerii unor parametri tehnici și economici superiori;

- studiul influenței unor factori asupra rezistenței de penetrare în vederea mării posibilității de utilizare în cadrul interpretărilor calitative și în special a celor cantitative a unor date cât mai apropiate de realitate care să nu fie alterate de fenomene parazitare;

- stabilirea domeniului în care interpretarea calitativă a datelor oferă informații importante asupra terenului de fundare;

- stabilirea unor corelații, prin prelucrări statistice, care să permită interpretarea cantitativă a datelor penetrării dinamice cu con, în anumite categorii de pământuri;

- stabilirea unor corelații între rezistența de penetrare pe con R_p , obținută prin sondajul de penetrare statică și numărul de lovituri N_{10} obținut la realizarea sondajului de penetrare dinamică cu con pentru anumite categorii de pământuri;

- stabilirea metodologiei de cercetare a terenurilor prin sondeaje de penetrare dinamică cu con în cadrul cercetărilor pentru elaborarea studiilor geotehnice, pentru testarea calității lucrărilor de consolidare a terenurilor slabe de fundare și pentru aprecierea capacității portante a piloților.

Pornind de la elementele oferite de literatură, au fost studiate unele aspecte controversate precum și elemente legate de condițiile concrete dintr-o anumită zonă, știut fiind faptul că din cauza numărului mare de parametri de care depinde rezistența la penetrare, domeniul de valabilitate a unor corelații stabilite în mod statistic este restrâns, dar totuși foarte util.

Utilizarea în paralel a sondajelor de penetrare statică și dinamică a permis desprinderea unor concluzii importante legate de factorii de influență, de apreciere a capacității portante a piloților și oferă posibilitatea stabilirii corelației între rezistența R_p și numărul de lovituri N_{10} .

CAPITOLUL 3

STUDII EXPERIMENTALE PRIVIND TESTAREA TERENULUI DE FUNDARE PRIN METODA PENETRĂRII DINAMICE CU CON

Cercetările experimentale efectuate de autor în laborator și pe teren au avut la bază concluziile desprinse în cadrul capitolelor 1 și 2, urmărindu-se în mod deosebit aspectele punctate în paragraful 2.5.

Metoda de cercetare a terenurilor prin penetrare nefiind elucidată în mod teoretic sub toate aspectele, studiile experimentale rămân cele care stau la baza cercetărilor efectuate în acest domeniu.

Experimentele efectuate în condiții controlate de laborator conjugate cu cele executate pe diverse amplasamente în paralel cu alte metode, au permis desprinderea unor aspecte interesante și importante capabile să aducă unele completări bagajului de cunoștințe existent.

În cadrul prezentului capitol, în prima parte, se va descrie modul în care s-au efectuat încercările de laborator și teren, aparatura folosită, urmînd în continuare să se prezinte elementele specifice ale experimentului în funcție de aspectul urmărit, precum și concluziile desprinse cu utilitatea lor practică.

3.1. Aspecte generale privind încercările de laborator și teren

3.1.1. Aparatura utilizată în laborator și pe teren

Pentru efectuarea încercărilor de laborator în cadrul catedrei s-au proiectat și executat trei tipuri de penetrometre dinamice de laborator avînd diferite caracteristici și cu posibilități de utilizare în mai multe variante. S-a acționat asupra lucrului mecanic prin schimbarea cursei sau masei berbecului, iar vârful conic s-a executat detașabil, astfel ca la același penetrometru să se poată monta diverse conuri cu secțiuni și unghi la vîrf diferite. Tijele penetrometrelor s-au executat din tronsoane asamblate prin înfiletare. Penetrometrele de laborator s-au executat în trei variante notate cu PDL, iar caracteristicile acestora sînt trecute în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1

Tipul penetrometrului	Notație prescurtată	Vîrfurile penetrometrului			Tija d_1 mm	Berbecul	
		Diametru d mm	Secțiunea A_2 cm ²	Unghi α°		Masă berbec Q_1 kg	Înălțime de cădere H cm
Penetrometru dinamic de laborator I	PDL ₁	13 ÷ 19	1,32 ÷ 2,84	60	6	0,709	10
Penetrometru dinamic de laborator II	PDL ₂	11 ÷ 16	0,97 ÷ 2,00	60	8	0,290 ÷ 1,420	10
Penetrometru dinamic de laborator III	PDL ₃	13,8-22,6	1,50-4,00	60 (90)	10	2,050	variabil

Penetrometrele model de laborator s-au proiectat și executat după principiul penetrometrului dinamic ușor, PDU prezentat în figura 1.24. Părțile componente ale acestuia au fost de crise la punctul 1.4.1. iar caracteristicile prezentate în tabelul 1.5.

PDL₃ are conurile executate după modelul vîrfului conic dat de DIN 4094/1 [123], prezentat în figura 1.25, detaliul A. Dimensiunile vîrfurilor conice și înălțimea de cădere a berbecului pentru a obține același lucru mecanic specific, $l = 50 \text{ daNcm/cm}^2 (l = \frac{L}{A} = \frac{Q_1 H}{A})$, corespunzător lui PDU, sînt prezentate în tabelul 3.2.

Tabelul 3.2.

Notație prescurtată pentru con	Diametrul conului d_i mm	Suprafața conului A_i cm ²	Unghiul la vîrf α_i	Înălțimea de cădere a berbecului H_i cm
d_1	13,8	1,5	60	36,5
d_2	16,0	2,0	60	48,8
d_3	17,9	2,5	60	61,0
d_4	19,6	3,0	60	73,2
d_6	16,0	2,0	90	48,8

Încercările de teren au fost efectuate cu penetrometrul dinamic ușor, PDU (fig.1.24) și cu cel mijlociu și greu PDM și PDG (fig.1.25) a căror caracteristici sînt prezentate în tabelul 1.5. Majoritatea încercărilor s-au efectuat cu penetrometre cu acționare manuală, cele cu acționare mecanică fiind proiectate, executate și experimentate în ultimul timp.

Încercările de penetrare statică s-au efectuat în laborator cu penetrometrul Stein, fig.1.11 și pe teren cu penetrometrul static tip INCERC montat pe autelaboratorul catedrei, fig.1.17 și 1.18 penetrometre descrise în cadrul punctului 1.7.1.1.

Tehnologia de efectuare a sondajelor de penetrare a fost descrisă în cadrul punctelor 1.7.1.2 și 1.7.2.2 cu anumite particularități în cazul experimentărilor de laborator unde trebuia să se țină seama de scara redusă a aparatului și de grosimea mică a stratului sondat.

3.1.2. Experimentări în condiții de laborator

În laborator încercările s-au efectuat în condiții controlate în vase de dimensiuni relativ mici.

Prima serie de încercări s-a executat cu penetrometrele PDL₁ și PDL₂ în două vase de beton armat cu diametrul de 50 cm și înălțimea de 1,0 m respectiv 1,80 m. Pentru experimentări s-au utilizat pământuri necezeive, curbele granulometrice fiind prezentate în fig.3.1.

A doua serie de încercări s-a efectuat într-un vas metalic cu dispozitiv de golire și cu dimensiunile prezentate în fig.3.2.

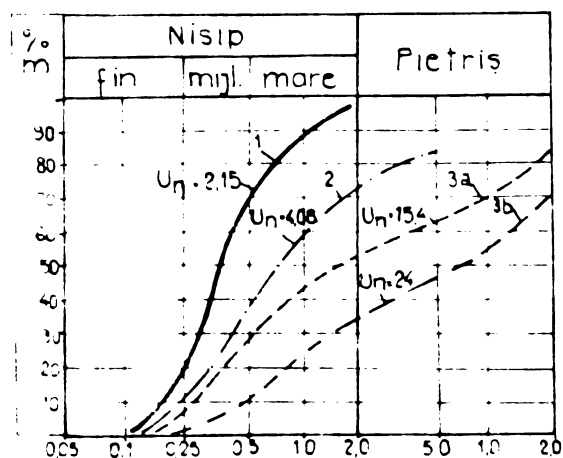


Fig.3.1. Curbe granulometrice experimentări PDL₁ și PDL₂

Pământurile utilizate au granulometria prezentată în fig.3.3.

În funcție de factorul influență, care a urmat să fie pus în evidență, materialul a fost aranjat în diferite moduri. În general s-a realizat

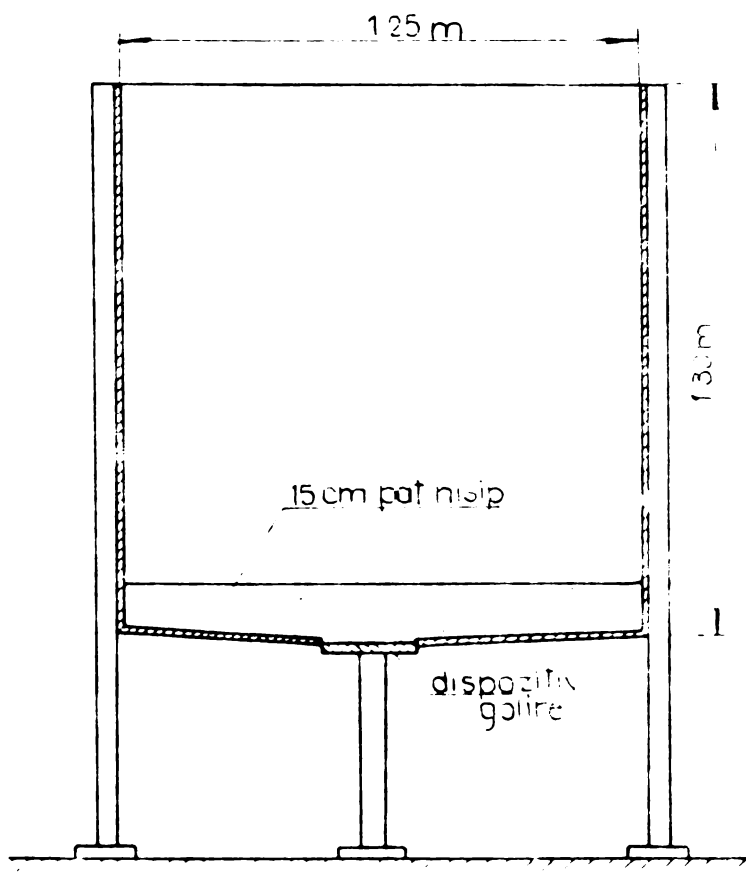


Fig.3.2. Vas metalic cu dispozitiv de golire

același grad de îndesare pe toată înălțimea vasului sau două straturi cu grade de îndesare diferite.

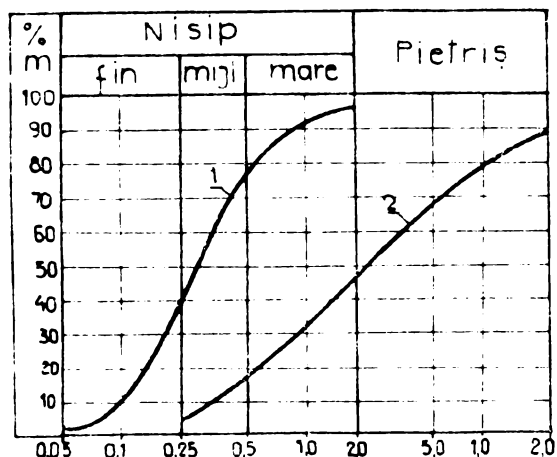


Fig. 3.3. Curbe granulometrice - experimentări PDL₃

PDU avînd, $d = 3,56$ cm. Rolul acestui strat este de a elimina efectul de margine materializat prin existența unui element rigid la partea inferioară a vasului. După realizarea stratului de bază, materialul s-a așezat în straturi de grosime egală, compactate cu același lucru mecanic, adică s-a cîntărit o cantitate de 100 Kg nisip care s-a împrăștiat în mod uniform și s-a compactat cu același număr de lovituri executate cu un mai metalic. Pentru fiecare grad de îndesare s-a dat o anumită schemă de compactare. După umplerea vasului, cunoscînd masa totală a materialului așezat în straturi, precum și volumul ocupat de acesta, s-a determinat gradul de îndesare realizat. Dezavantajul metodei constă în faptul că nu s-a putut impune de la început un anumit grad de îndesare care să fie realizat decît cu aproximație; gradul de îndesare real a rezultat numai după umplerea vasului. În cazul în care trebuia impus cu exactitate gradul de îndesare s-au efectuat mai multe încercări pentru realizarea schemei de compactare. În general încercările s-au executat cu nisipuri uscate.

Atunci cînd s-a urmărit punerea în evidență a influenței umidității, nisipul a fost umezit și omogenizat pentru a obține un grad de umiditate uniform. La fiecare două straturi așezate s-au recoltat trei probe pentru verificarea menținerii umidității pe parcursul așezării nisipului în vas. Diferențele obținute au fost foarte mici întrucît așezarea nisipului în vas s-a efectuat într-o singură zi, iar în hala în care s-au executat încercările temperatura a fost destul de scăzută.

Pentru realizarea aceluiași grad de îndesare, umplerea vaselor s-a efectuat în felul următor: la partea inferioară a vasului s-a realizat un pat bine compactat din materialul utilizat în cadrul experimentului, de grosime 15 cm, ceea ce depășește adîncimea de 3,5d pînă unde se consideră că se extinde suprafața de alunecare sub virful penetrometrului (paragr. 2.1. și 2.3.1.3) chiar și în cazul cînd pentru experimentări s-a utilizat

și 2.3.1.3) chiar și în cazul cînd pentru experimentări s-a utilizat

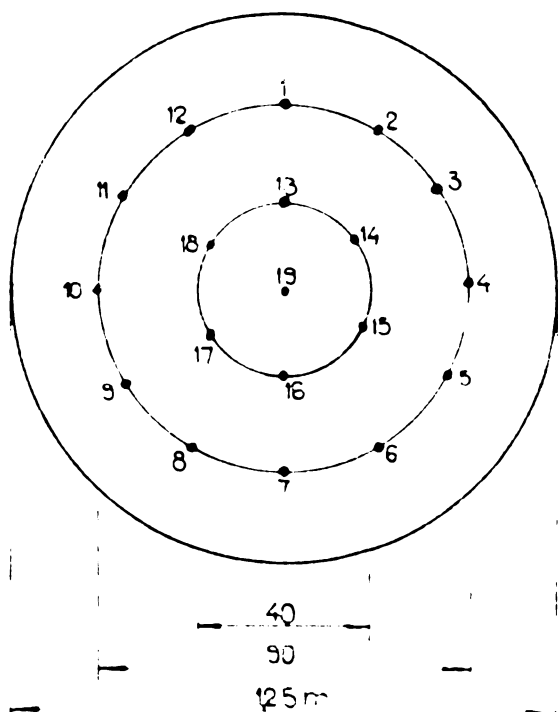
Pentru verificarea omogenității gradului de îndesare s-au efectuat penetrări statice cu penetrometrul Stein după fiecare al treilea strat de material așezat în vas, în trei puncte dispuse în vîrfurile unui triunghi echilateral.

În cazul seriei a 2-a de încercări efectuate în vasul metalic, materialul s-a așezat în mod uniform realizînd un grad de îndesare sau în 2 straturi cu grade de îndesare diferite. Metodologia de umplere a vasului a fost identică, doar că de la început s-a stabilit grosimea și s-a dat schema de compactare diferită pentru cele două straturi. S-a înregistrat masa materialului așezat separat pe înălțimea celor două straturi pentru a putea calcula cele două grade de îndesare. Experimentele s-au efectuat cu nisip avînd granulometria 1, (fig.3.3), ales în așa fel încît să prezinte capacitate de îndesare mare ($C_1=0,50$). Caracteristicile acestui nisip determinate în laborator sînt:

- densitatea scheletului mineral, $\rho_s = 2,64 \text{ gr/cm}^3$;
- densitatea în stare uscată, $\rho_d = 1,36 \div 1,51 \text{ gr/cm}^3$;
- indicele porilor în starea cea mai îndesată $e_{\min} = 0,650$;
- indicele porilor în starea cea mai afînată, $e_{\max} = 0,974$;
- unghiul frecării interioare, $\phi = 31^\circ 30'$.

Densitatea în stare uscată variază în funcție de gradul de îndesare realizat.

Pentru un anumit mod de așezare a materialului în vasul de



încercări s-au efectuat mai multe penetrări dispuse în așa fel încît să nu se influențeze reciproc. În fig. 3.4. se prezintă schema de amplasare a penetrărilor, distanța dintre puncte fiind egală cu $10 d_5$ (d_5 fiind conul cu diametru maxim). Deasemenea punctele sînt la distanța $10 d_5$ și față de perețele vasului. Pentru a avea o siguranță în plus, încercările de penetrare s-au efectuat în primul rînd în punctele impare, avînd în acest fel distanța $20 d_5$ între puncte, după care s-au efectuat penetrările în punctele pare; obținînd aceleași rezultate s-a tras

Fig.3.4. Schema de distribuție a penetrărilor în vasul metalic

concluzia că distanța de 10 diametri de con între punctele în care s-au efectuat penetrările a fost suficientă. Ca o măsură suplimentară, avînd în vedere că s-au executat cîte trei penetrări cu fiecare con, a fost plasarea penetrărilor cu conurile d_4 și d_5 , adică cu diametri mari, în vîrfurile unui triunghi echilateral. În punctul 19 s-a efectuat o penetrare cu PDU, (fig.1.24), după consumarea celorlalte încercări, considerînd că tulburarea nisipului la distanța de 20 cm față de locul de încercare cu penetrometrul model, care are dimensiuni mult mai mici față de PDU, este neglijabilă.

3.1.3. Experimentări în condiții de teren

Experimentările s-au executat pe diferite amplasamente și în diverse categorii de terenuri cu penetrometrul dinamic ușor, PDU, mijlociu, PDM și greu PDG.

Sondajele de penetrare au fost cuplate cu foraje de referință din care s-au recoltat probe netulburate, dacă a fost posibil și probe tulburate necesare determinării unor caracteristici fizico-mecanice în laborator. În foarte multe cazuri, sondajele de penetrare dinamică s-au cuplat și cu sondaje de penetrare statică executate cu penetrometrul static hidrolic.

Cunoașterea caracteristicilor fizico-mecanice ale pămîntului a permis interpretarea corectă a rezultatelor penetrării, evidențierea unor factori de influență și stabilirea unor corelații, prin prelucrări statistice, între rezistența de penetrare pe con exprimat prin numărul de lovituri pentru pătrunderea conului de penetrare cu 10 cm, N_{10} și unele caracteristici geotehnice ale terenului.

Cuplarea sondajelor de penetrare dinamică cu sondaje de penetrare statică a facilitat evidențierea unor factori de influență și a permis stabilirea unor corelații între rezistența de penetrare dinamică exprimată prin N_{10} și rezistența pe con, R_p .

Experimentările s-au efectuat în cadrul lucrărilor de cercetare a terenului pentru elaborarea unor studii geotehnice, pe platforme experimentale, pe amplasamente unde s-au executat lucrări de îmbunătățire a terenurilor slabe de fundare sau pentru evaluarea capacității portante a piloților.

Intrucît IPROTIM se ocupă de problema penetrărilor dinamice cu con și utilizează frecvent metoda în cadrul cercetărilor de teren bazat pe o veche colaborare în acest domeniu, s-a apelat la o serie de date de teren și laborator care ni s-au pus la dispoziție prin contractul 17.239/b/1974 [37]. Ele au servit la semnalarea unor aspecte legate de studiul factorilor de influență și au completat datele necesare prelucrărilor statistice.

În cadrul paragrafelor următoare se vor preciza pe scurt, elementele caracteristice fiecărui experiment, în funcție de parametrul care trebuie scos în evidență și de aspectul urmărit.

3.2. Studii experimentale asupra unor factori de influență

În cadrul paragrafului 2.2. s-au prezentat factorii care influențează asupra rezistenței de penetrare, și de care trebuie să se țină seama la interpretarea datelor primare înregistrate pe teren. Așa cum s-a arătat în cap.2, multe aspecte ale problemei au fost studiate doar calitativ sau numai pe unele categorii de pământuri, astfel scopul cercetărilor a fost de a obține elemente suplimentare cât mai apropiate de realitate și de a releva concluzii cu arie mai largă de aplicabilitate. De asemenea au fost studiate unele aspecte controversate în literatură cu privire la influența adâncimii asupra rezistenței la penetrare.

Studiul factorilor de influență constituie o preocupare mai veche și o serie de aspecte au fost prezentate în cadrul unor lucrări [73] [74] [78], la elaborarea cărora a contribuit și autorul.

3.2.1. Influența compoziției granulometrice

Pentru punerea în evidență a influenței compoziției granulometrice s-au efectuat o serie de experiențe într-un vas de beton cu diametrul 60 cm și înălțimea 1,0 m care s-a umplut cu pământ necoeziv cu diferite granulometri, fig.3.1. însă cu același grad de îndesare, $I_D = 0,53$, pentru a elimina influența acestui parametru. Penetrările s-au executat cu PDU, rezultatele fiind prezentate în fig.3.5.

Conform diagramelor din figură, rezultă că rezistența la penetrare a nisipurilor cu granulometrie uniformă (curbele 1 și 2, [^] fig.3.1. respectiv fig.3.5) este mai mică decât aceea a nisipului cu pietriș neuniform (domeniul de granulozitate 3a-3b).

În pământurile neuniforme, cu număr mare de puncte de contact între fragmentele componente, rezistența la penetrare este mai mare decât la pământurile uniforme, ceea ce se explică prin necesitatea unei energii mai mari pentru distrugerea legăturilor dintre fragmente. Cu cât caracteristicile rezistenței la forfecare sînt mai ridicate cu atît rezistența la penetrare va fi mai mare conul pătrunzînd și înaintînd în teren în urma cedării acestuia de-a lungul suprafeței de alunecare.

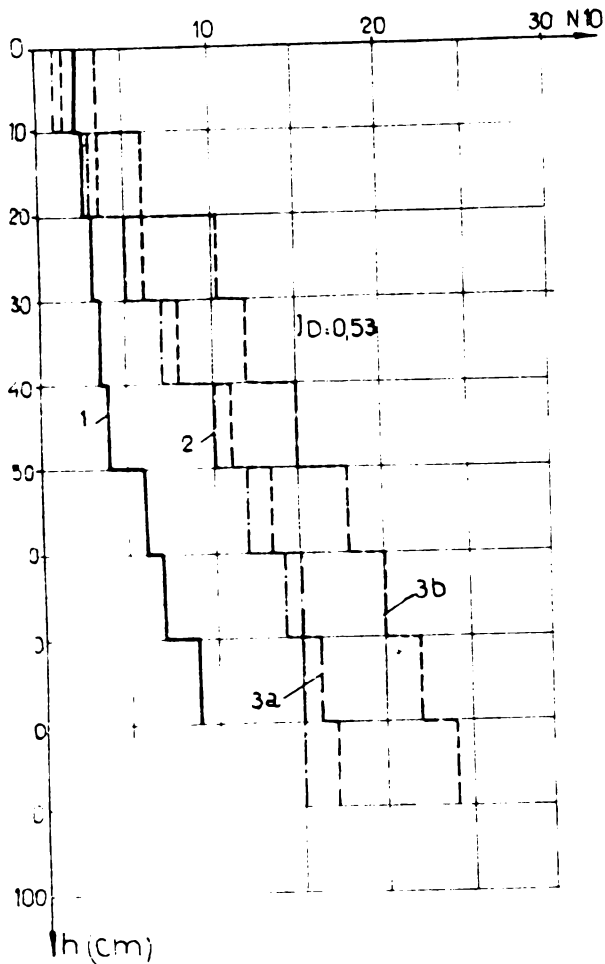


Fig. 3.5. Evidențierea influenței granulometriei asupra rezistenței la penetrare

colă	stratific.	teren
±0,00		nisip $I_D: 0,40$
0,80		pietriș cu nisip $I_D: 0,36$

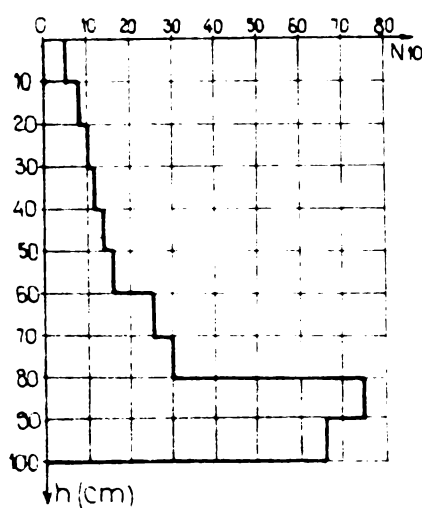


Fig. 3.6. Creșterea artificială a rezistenței la penetrare datorită prezenței fragmentelor mari

depășesc diametrul conului, rezultatele penetrării sînt limitate.

Experiențele efectuate pe amplasamente cuplate cu foraje de control au evidențiat același fenomen în cazul prezenței fragmentelor mari. În figura 3.7. se prezintă diagrama unui sondaj de penetrare executat pe amplasamentul unui bloc de locuințe din municipiul

Pentru evidențierea influenței fragmentelor mari s-au executat penetrări în vasul metalic prezentat în fig. 3.2, în care s-a așezat la bază pe o înălțime de 20 cm pietriș cu nisip, cu granulometria 2 și gradul de îndesare, $I_D = 0,36$, iar deasupra acestuia s-a așezat pe înălțime de 80 cm nisip cu granulometria 1, fig. 3.3. Penetrările s-au executat cu PDL_3 în toate variantele, adică cu toate conurile de penetrare. Penetrările efectuate cu conurile d_1 și d_3 (tab. 3.2) nu au dat rezultate la pătrunderea în stratul al doilea, iar cele executate cu conurile d_4 și d_5 nu sînt concludente din cauza prezenței fragmentelor mari față de diametrul conului. În fig. 3.6 se prezintă diagrama de penetrare medie din care rezultă că la pătrunderea în stratul de pietriș cu nisip s-au

obținut sporuri artificiale ale rezistenței la penetrare datorită fragmentelor mari care foarte greu pot fi dislocate; în repetate cazuri penetrometrul model nu a putut pătrunde în acest strat.

Așa cum s-a arătat în cadrul punctului

2.2.1. s-a confirmat că în cazul cînd fragmentele se apropie sau

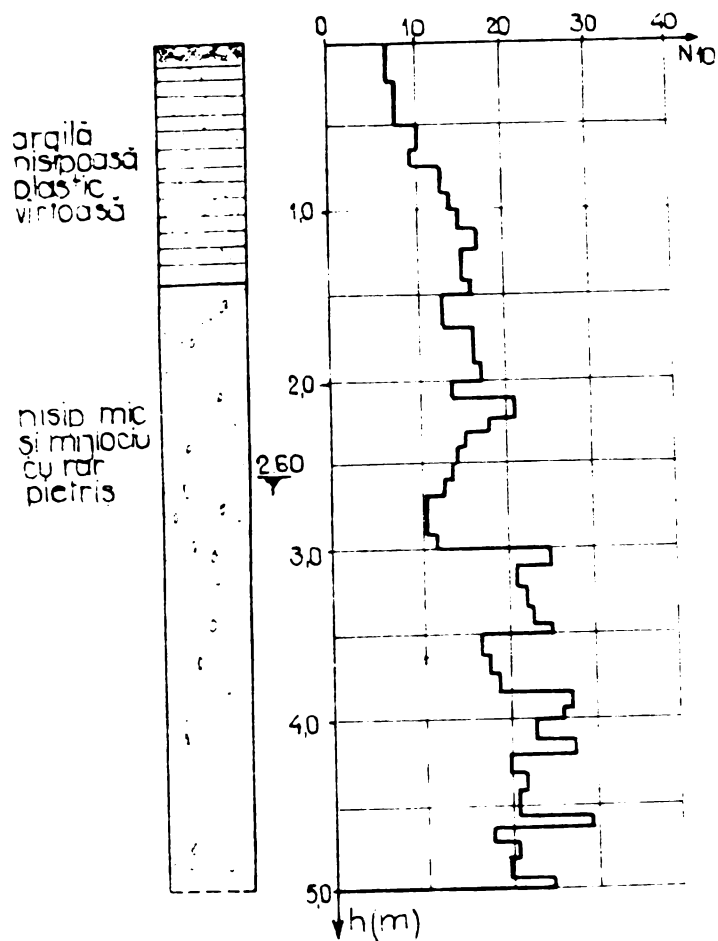


Fig.3.7. Evidențierea prezenței fragmentelor mari

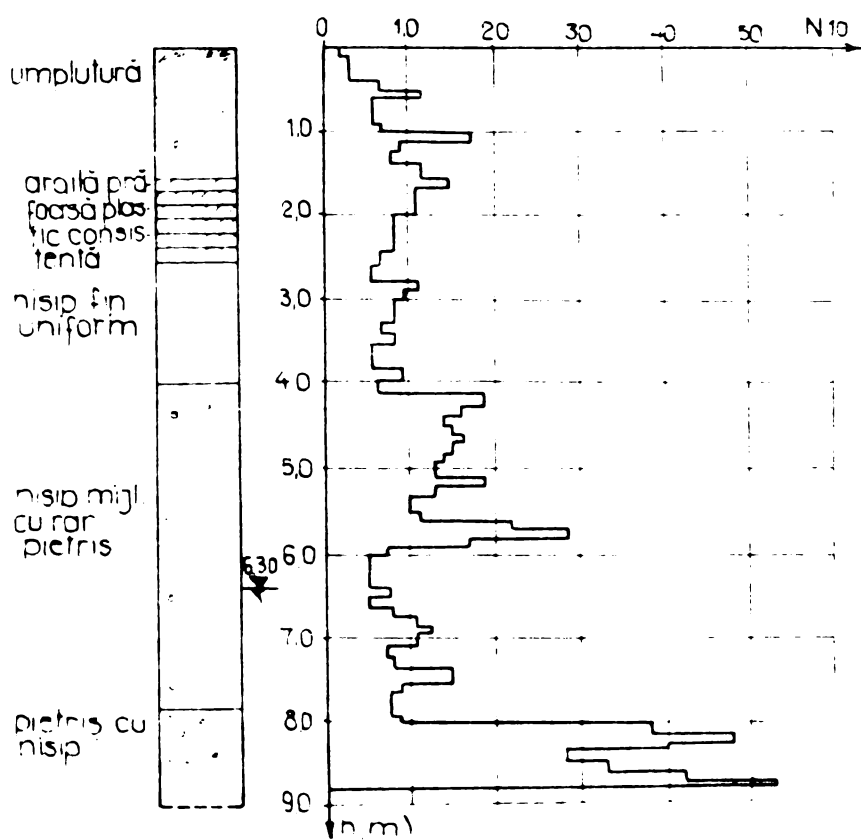


Fig.3.8. Evidențierea fragmentelor mari-diagramă IPROTDM

Timișoara, la care se semnaleză zone cu sporuri ale rezistenței datorită prezenței pietrișului în stratul de nisip mic și mijlociu. Pentru interpretarea corectă a rezultatelor sondajului de penetrare aceste sporuri sau vârfuri de presiune se neglijează ele neavând semnificația reală.

În fig.3.8. se prezintă diagrama unui sondaj de penetrare executat de IPROTDM în municipiul Arad în cadrul unui studiu geotehnic. Diagrama prezintă o serie de vârfuri datorită prezenței fragmentelor mari în stratul de umplură, în cel de nisip mijlociu și în fine, în stratul de bază format din pietriș cu nisip unde de fapt rezistența foarte

mare dovedește înregistrarea unor date neconcludente.

Sondajele de penetrare în ambele cazuri s-au executat cu penetrometrul dinamic ușor, PDU.

Concluzia cea mai importantă care se desprinde în urma experiențelor efectuate este că fără cunoașterea compoziției granulometrice nu se pot determina caracteristici ale acestuia pe baza rezistenței la penetrare. Toate corelațiile stabilite prin prelucrări statistice au valabilitate

restrînsă ele fiind aplicabile la pămînturi cu aceeași compoziție granulometrică sau foarte apropiată.

3.2.2. Influența îndesării

Prima serie de încercări de laborator s-a efectuat într-un vas de beton cu diametrul de 60 cm și înălțimea 1,80 m care s-a umplut cu nisip (granulometria 1, fig.3.1) cu grade de îndesare variabile, $I_D = 0,40 \div 0,90$, pentru fiecare stare de îndesare efectuându-se șapte penetrări. S-a utilizat penetrometrul PDL₁ cu parametrii indicați în tabelul 3.1.

Înălțimea vasului fiind mare, penetrometrul s-a realizat cu tije prelungibile, motiv pentru care raportul dintre greutatea berbecului și greutatea tijelor, inclusiv nicovala este variabil,

$$k_1 = \frac{Q_1}{Q_2} = 1,2 \div 2,8$$

În figura 3.9 sînt prezentate diagramele de penetrare ca medie a celor șapte penetrări efectuate pentru patru grade de îndesare.

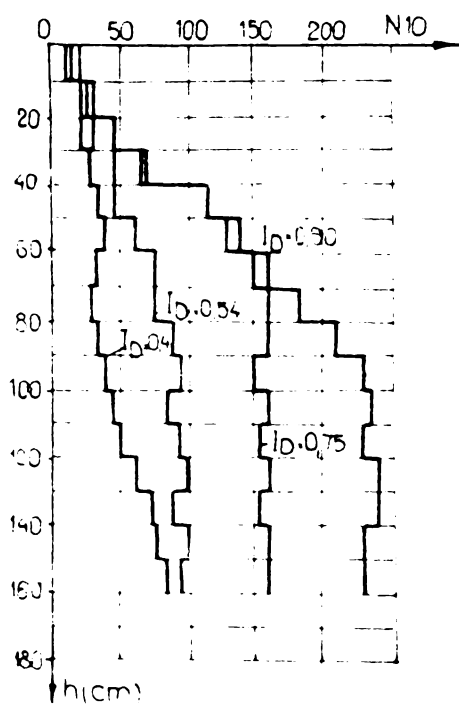


Fig.3.9.Variația rezistenței la penetrare cu gradul de îndesare

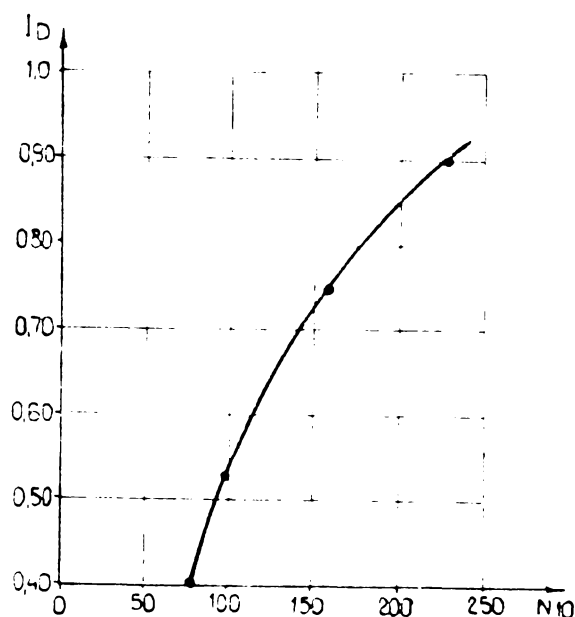


Fig.3.10.Dependența dintre rezistența la penetrare și gradul de îndesare.

Din analiza diagramelor rezultă majorarea pronunțată a rezistenței la penetrare odată cu creșterea gradului de îndesare. În figura 3.10 se prezintă diagrama de variație a rezistenței la penetrare înregistrată după depășirea adâncimii critice pentru cele patru cazuri studiate.

Din diagramă rezultă că în zona nisipurilor îndesate creșterea rezistenței la penetrare este mai pronunțată decât în domeniul îndesării medii.

O altă serie de încercări de laborator s-a efectuat cu PDL_3 în toate variantele în vasul metalic umplut cu nisip cu granulometria 1, fig.3.3, avînd diverse grade de îndesare. Diagramele obținute au alură asemănătoare cu cele prezentate în figura 3.9.

Din experiențele efectuate în laborator și pe teren rezultă că odată cu creșterea gradului de îndesare crește și rezistența la penetrare, fenomen normal ținînd seama că la înfigerea conului se produce ruperea terenului în prezența compresiunii și refulării laterale ce corespunde unui minim de energie. Cu cît terenul este mai îndesat caracteristicile de compresibilitate și forfecare sînt mai mari și cresc mult la o variație relativ mică a îndesării.

Pentru elucidarea influenței gradului de îndesare s-a efectuat un număr foarte mare de încercări care au stat la baza prelucrărilor statistice ce urmează să fie prezentate în capitolul 4 la punctul 4.1.2.

3.2.3. Influența adîncimii

Încercările atît de laborator cît și de teren arată că rezistența la penetrare în nisipuri crește cu adîncimea în apropierea suprafeței terenului datorită refulării materialului nu numai lateral ci și în sus. După adîncimea critică definită în cadrul punctului 2.2.2., refularea în sus este anulată de sarcina geologică care treptat micșorează și refularea laterală, astfel că rezistența la penetrare rămîne aproape constantă.

Din analiza experiențelor efectuate cu ocazia studierii diverșilor factori de influență s-a constatat că adîncimea critică depinde de diametrul conului de penetrare, crescînd odată cu majorarea acestuia și spre deosebire de calculele teoretice variază invers proporțional cu gradul de îndesare. În cazul nisipurilor foarte afînate adîncimea critică se extinde mult.

În figura 3.11, încercările de laborator ilustrează influența diametrului conului asupra adîncimii critice în cazul cînd încercările s-au efectuat cu penetrometrul PDL_1 ; se observă creșterea adîncimii în raport cu diametrul conului

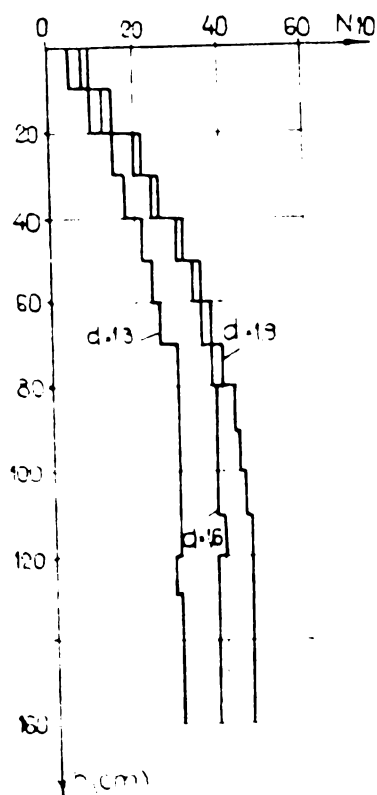


Fig.3.11. Influența de penetrare. diametrului conului asupra adîncimii critice

Pentru studiul adîncimii critice, s-au utilizat și rezultatele obținute cu ocazia experien-

țelor efectuate cu PDL₃ pentru elucidarea influenței gradului de îndesare și a succesiunii straturilor.

Pentru nisipurile situate în domeniul îndesării medii s-a stabilit o corelație, prin prelucrare statistică, între adâncimea critică și diametrul conului de penetrare, ce urmează să fie prezentată la punctul 4.1.3.

În privința influenței sarcinii geologice, după depășirea adâncimii critice nu s-au putut desprinde concluzii certe ținând seama de înălțimea relativ redusă a vaselor de încercare, întrucât ea se manifestă de la adâncimi mari. În cazul nisipurilor îndesate [125] această influență este importantă, astfel că neglijarea ei duce la supraevaluarea gradului de îndesare.

Diagramele sondajelor de penetrare efectuate pe diverse amplasamente au dovedit că nu în toate cazurile se evidențiază adâncimea critică datorită unei cruste tari care se formează de obicei la nivelul terenului și care împiedică posibilitatea de refulare în sus a pământului în timpul penetrării.

Dacă se înlătură această crustă tare și se începe sondajul de penetrare de la nivelul terenului decapăt se înregistrează apariția adâncimii critice. În figura 3.12 este prezentată o diagramă la care sondajul de penetrare a fost efectuat după decaparea selului vegetal.

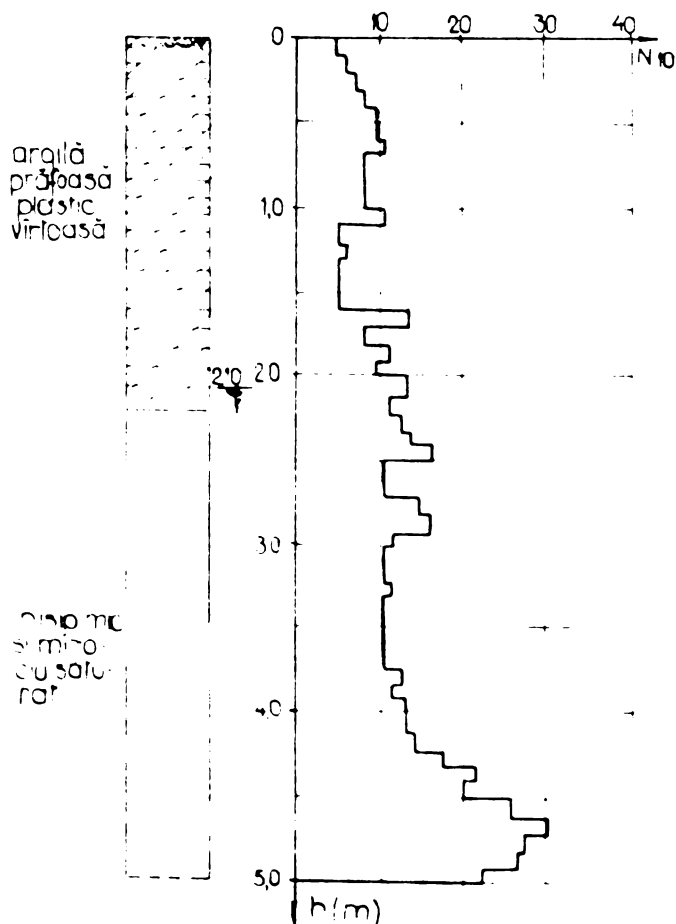


Fig. 3.12. Evidențierea adâncimii critice

De la nivelul terenului pînă la adâncimea de oca 50 cm se observă creșterea treptată a rezistenței la penetrare fenomen caracteristic zonei adâncimii critice.

În concluzie, este de menționat că variația rezistenței la penetrare pe adâncimea critică nu este determinată de schimbări ale caracteristicilor terenului ci este datorată fenomenelor ce iau naștere în teren cu ocazia înfigerii sondei de penetrare. În acest sens, în cazul cînd rezistența de penetrare se utilizează pentru aprecierea unor caracteristici fizico-mecanice ale terenului trebuie

luate în considerare valorile înregistrate sub nivelul adâncimii critice.

În baza experimentelor efectuate în laborator și pe teren s-a constatat dependența adâncimii critice de diametrul conului în general, adâncimea critică în cazul nisipurilor fiind cuprinsă între 15...25 d, atingând valori și mai mari la nisipurile afinate. Prin prelucrări statistice s-a stabilit adâncimea critică pentru nisipurile de îndesare medie (punctul 4.1.3) întrucât ele sînt mai de întîlnite pe diverse amplasamente.

La adâncime mare suprasarcina provocată de terenul aflat deasupra cotei vârfului penetrometrului îngreunează refularea laterală care duce la mărirea rezistenței de penetrare. În general corelațiile stabilite între anumite caracteristici ale terenului și rezistența la penetrare sînt valabile numai între anumite limite de adâncime sau în cuprinsul corelațiilor trebuie să se țină seama și de influența sarcinii geologice [58].

Pentru corelațiile stabilite în cadrul cap.4 s-a menționat intervalul de adâncimi în care sînt valabile pentru a nu introduce erori din cauza influenței sarcinii geologice.

3.2.4. Influența frecării

La cele mai multe pămînturi coezive și organice nu prea rigide (consistente, moi) se observă creșterea continuă a rezistenței la penetrare din cauza frecării pe coloana de tije, deși proprietățile stratului nu s-au modificat. În mod similar se resimte influența frecării la nisipurile fine afinate sau chiar cu îndesare medie.

Pentru punerea în evidență a influenței frecării s-au efectuat încercări pe teren cu penetrometrul dinamic ușor

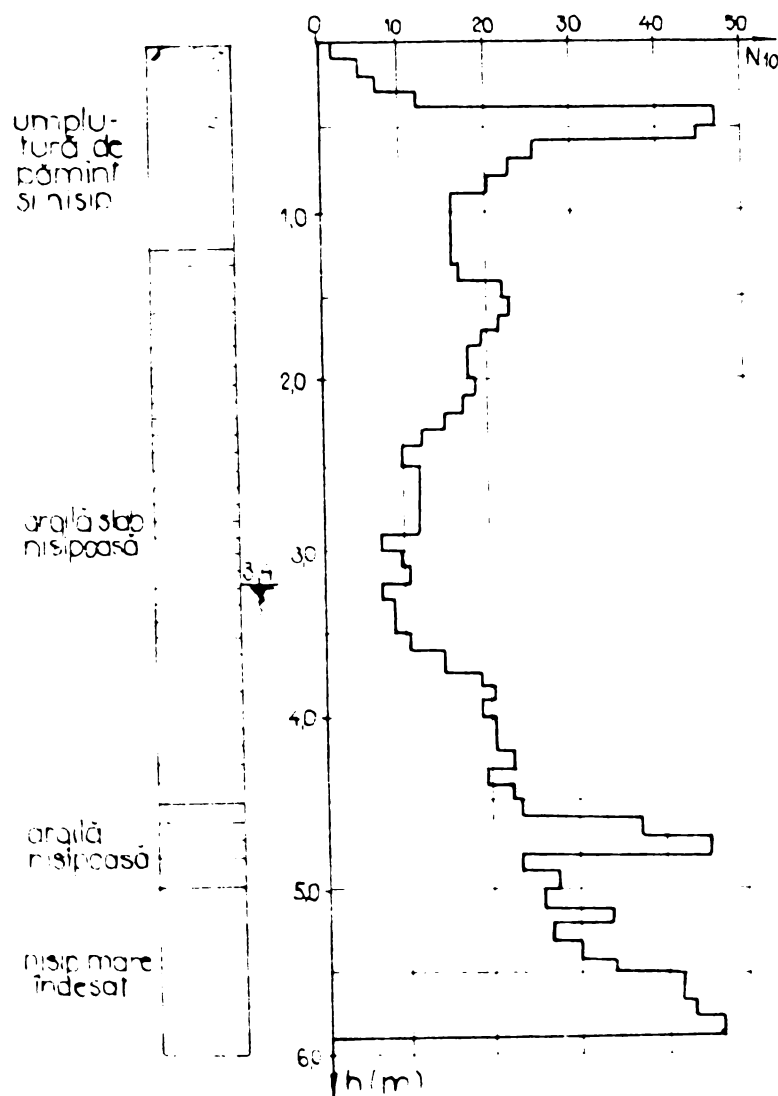
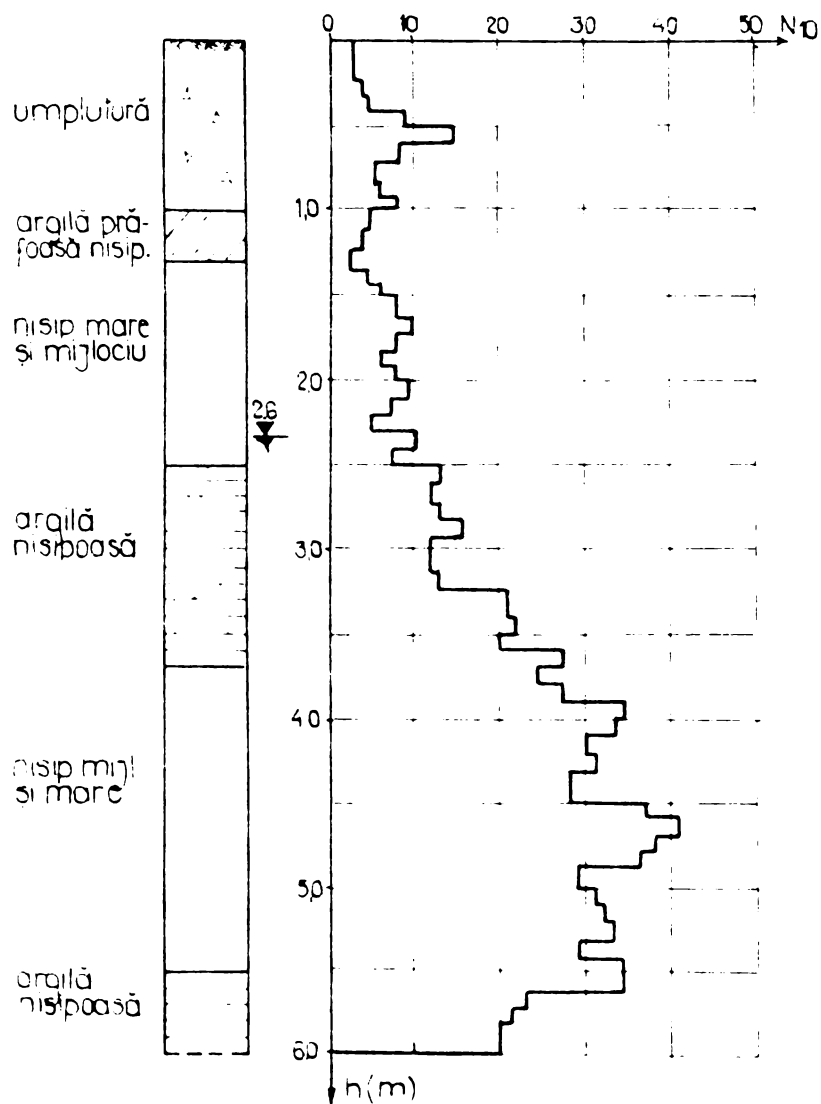


Fig. 3.13. Evidențierea influenței frecării în stratul de argilă slab nisipoasă

PDU. Sondajele de penetrare s-au cuplat cu foraje de control din care s-au recoltat probe pentru stabilirea caracteristicilor terenului sau cu sondaje de penetrare statică efectuate cu penetrometrul static hidraulic la care tija fiind protejată de manta, forța de frecare nu a influențat asupra rezistenței de penetrare pe vîrf.

În figura 3.13 este prezentată o diagramă de penetrare a unui sondaj executat pe un amplasament din Timișoara la care se observă creșterea continuă a rezistenței de penetrare, exprimată prin N_{10} , sub cota $-3,50$ m deși din determinările de laborator efectuate pe probele recoltate a rezultat că argila slab nisipoasă nu și-a modificat caracteristicile.



Același fenomen este pus în evidență în stratul de argilă nisipoasă din fig. 3.14.

Sondaje de penetrare dinamice și statice efectuate pe traseul unui tronson experimental al canalului Dunărea - Marea Neagră, în localitatea Mircea Vodă (contract cu ICPTT) au permis evidențierea forței de frecare în straturile de prafuri argiloase nisipoase de consistență redusă. În fig. 3.15 sînt prezentate diagramele de penetrare din compararea cărora rezultă că începînd de la cota de $-3,30$ m, rezistența la penetrare dinamică a rămas constantă sau a crescut deși rezistența de penetrare statică, R_p a scăzut sau a înregistrat eventual creșteri ușoare.

Fig. 3.14. Evidențierea influenței frecării în stratul de argilă nisipoasă

Corelația stabilită prin prelucrări statistice între N_{10} și R_p , pentru acest tip de teren (vezi capitolul 4) este valabilă în acest caz pînă la cota de cca $-3,0$ m.

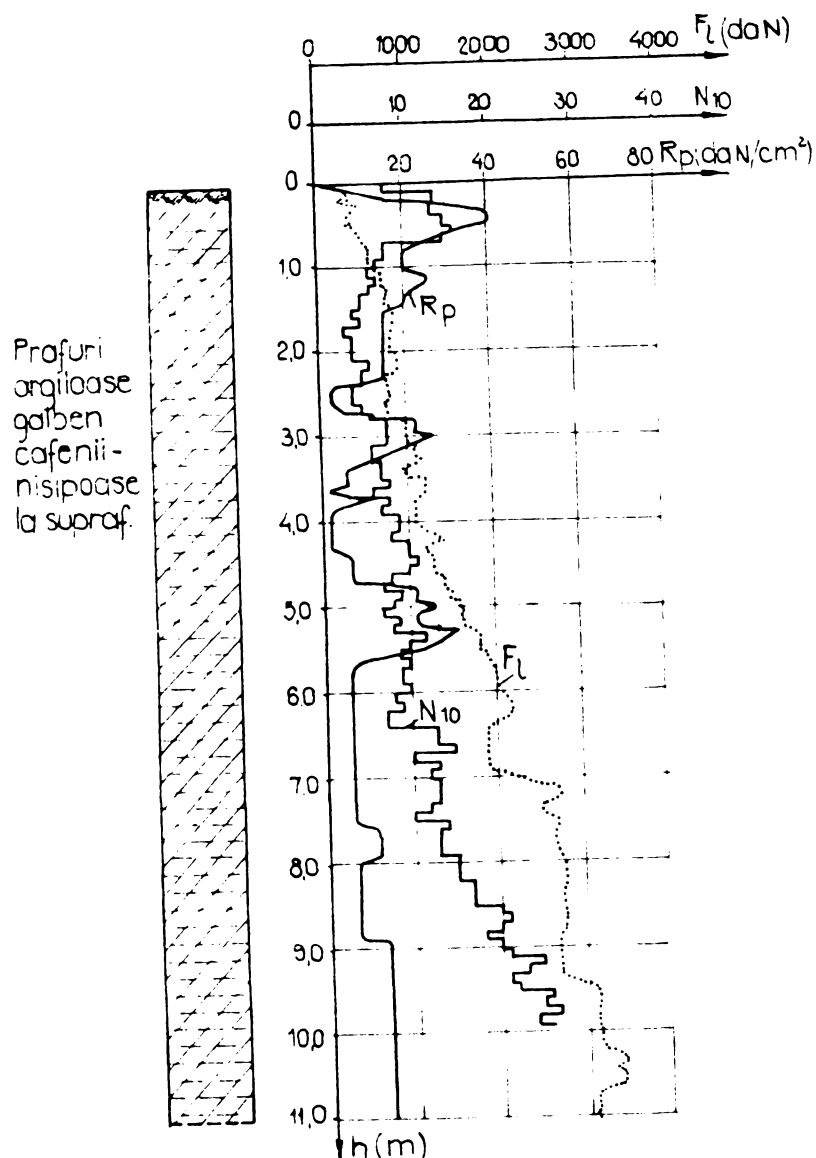


Fig.3.15. Evidențierea frecării sub cota -3,30 m. Tronson experimental canal Dunărea - Marea Neagră

grama de penetrare dinamică martor în terenul natural notată cu P_d^m , din analiza cărora rezultă clar influența frecării pe tija lui PDU după depășirea cotei de -3,50 m.

Pentru evidențierea mai clară a frecării, în special când datele sondajului de penetrare s-au utilizat pentru stabilirea corelației dintre N_{10} și R_p , s-au construit diagramele de penetrare dinamică diferențiale și integrale. Punctul de inflexiune în diagrama integrală și saltul în diagrama diferențială (fig.3.17) pe parcursul stratului de nisip fin și mijlociu, care nu și-a modificat caracteristicile, confirmă apariția frecării de la - 3,50 m.

Din analiza diagramei frecării laterale, F_l se observă creșterea continuă a forței de frecare și valoarea ridicată a acesteia pe lângă o rezistență pe vîrf scăzută.

Sondajele de penetrare dinamice și statice efectuate în paralel pe platforma experimentală de pe amplasamentul Combinatului Petrochimic Năvodari [96] au demonstrat că de la adîncimea de -3,50 pînă la -6,0 m, în funcție de gradul de îndesare, în nisipurile mici și mijlocii se resimte influența frecării pe coloana de tijă a penetrometrului dinamic. În figura 3.16. sînt prezentate două diagrame de penetrare statică efectuate înainte și după consolidarea terenului cu coloane de balast, notate cu R_p^m respectiv R_p^c și dia-

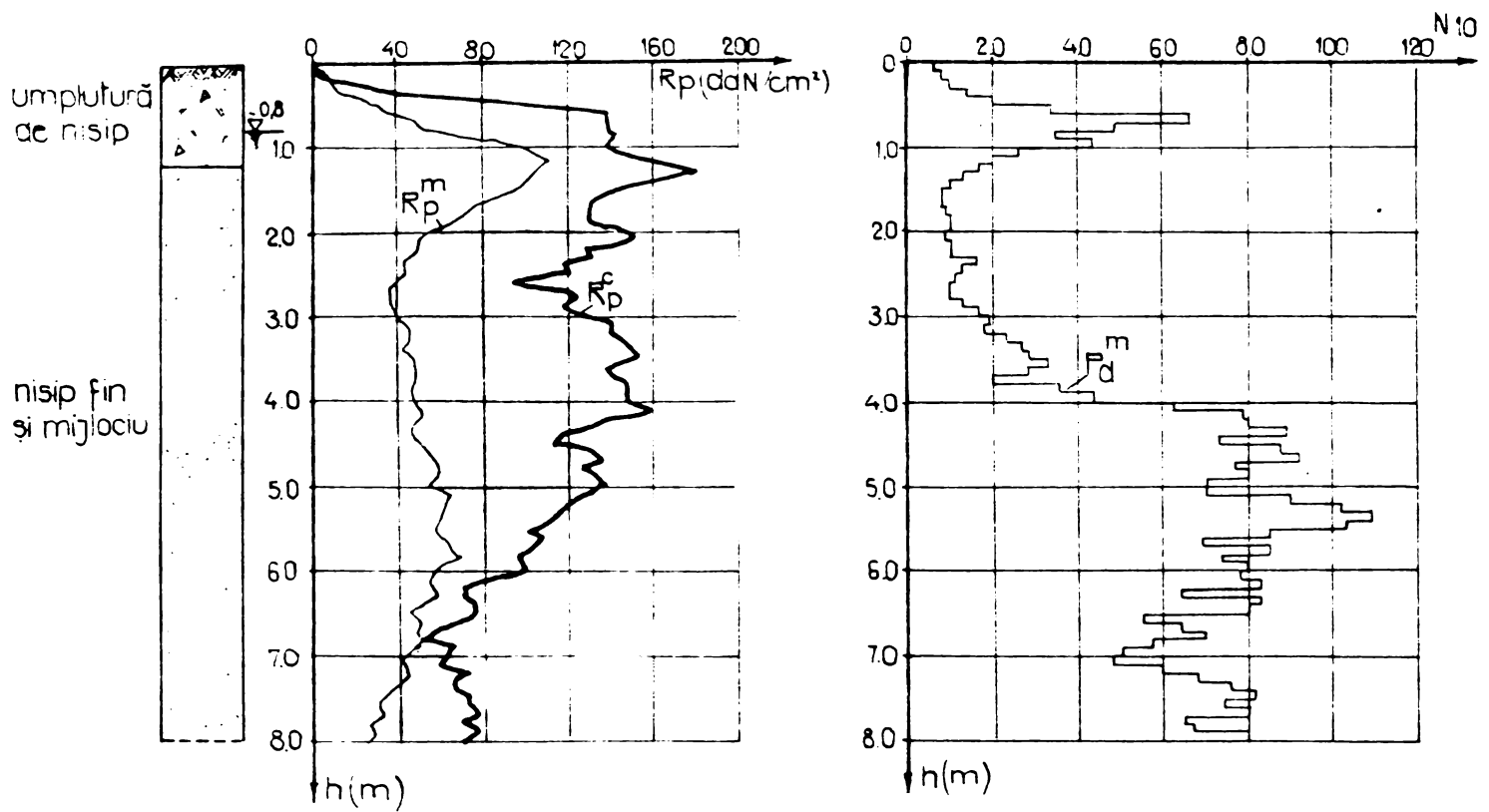


Fig.3.16. Evidențierea frecării în stratul de nisip mic și mijlociu. Platforma experimentală Năvodari

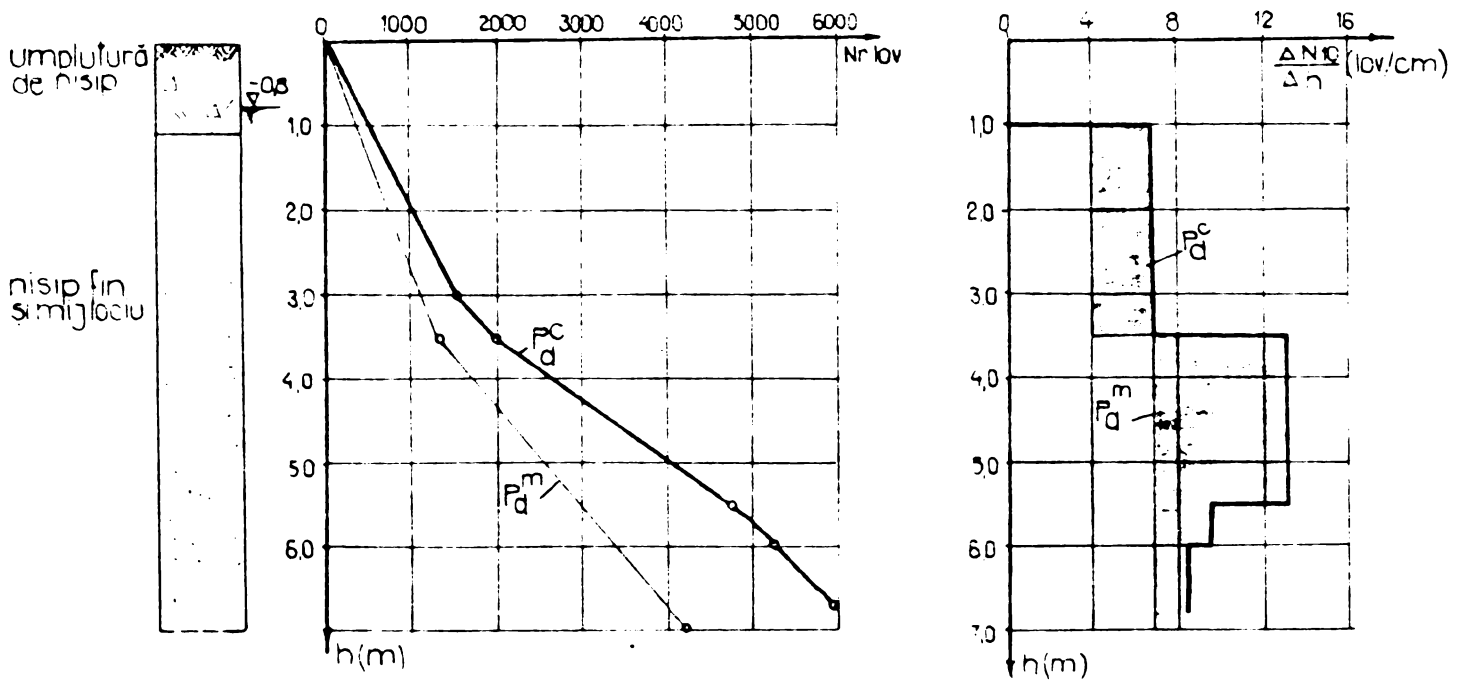


Fig.3.17. Diagrama de penetrare integrală și diferențială Platforma experimentală Năvodari

În urma experimentărilor efectuate, precum și cu ocazia studierii diagramelor sondajelor de penetrare efectuate în diverse scopuri s-a relevat faptul, că în cazul pământurilor coezive de consistență scăzută, frecarea pe coloana de tijă constituie factorul care influențează în mod pregnant asupra rezultatelor penetrării. Cu ocazia efectuării sondajelor de penetrare, la extragerea coloanei de

tije, s-a observat, că de fapt, pe lângă frecarea propriu-zisă mai apare forța de aderență datorită lipirii pământului de tijă; în general această forță duce la creșterea accentuată fictivă a rezistenței la penetrare.

În cazul pământurilor necoezive cu particule fine, așa cum s-a arătat mai sus, în urma unui număr foarte mare de sondaje de penetrare pe platforma experimentală Năvodari, a fost posibilă aprecierea adâncimii de la care a intervenit influența frecării; astfel în cazul nisipului afînat în jurul cotei de -3,50 m ajungînd la -6,0 m la nisipul cu îndesare medie.

Stabilirea cu exactitate a adâncimii de la care se manifestă frecarea este practic imposibilă, de aceea la interpretarea rezultatelor trebuie să se facă analiza atentă a variației rezistenței de penetrare și să se coreleze cu toate datele care se mai cunosc legat de terenul de pe amplasament. Penetrarea făcînd parte din categoria metodelor corelative de cercetare "in situ", întotdeauna vor mai exista și alte date care să furnizeze informații pentru ca să se poată evita utilizarea unor date eronate.

3.2.5. Influența umidității și a nivelului apei subterane

Experiențele de laborator au fost efectuate în vasul și cu penetrometrul menționați la punctul 3.2.1. cu nisip avînd granulometria 1 și 3a-3b (fig. 3.1) așezat cu grad de îndesare constant, $I_D = 0,55$, în trei situații, după cum urmează:

- material uscat pe toată înălțimea vasului;
- material umed pe toată înălțimea vasului;
- material umed la partea superioară a vasului și saturat la partea inferioară.

Din diagramele prezentate în figura 3.18 se constată că pentru nisipurile încercate, avînd îndesare medie, creșterea umidității conduce la o reducere ușoară a rezistenței la penetrare.

Influența gradului de umiditate, s-a observat a fi mai pronunțată la nisipurile afînate. Odată cu coborîrea sub nivelul apei se înregistrează o scădere bruscă a numărului de lovituri pe adîncime redusă, scădere mai accentuată fiind semnalată tot la nisipurile afînate.

Din încercările efectuate pe teren s-a constatat în mod evident aceeași reducere a rezistenței la penetrare datorită prezenței apei.

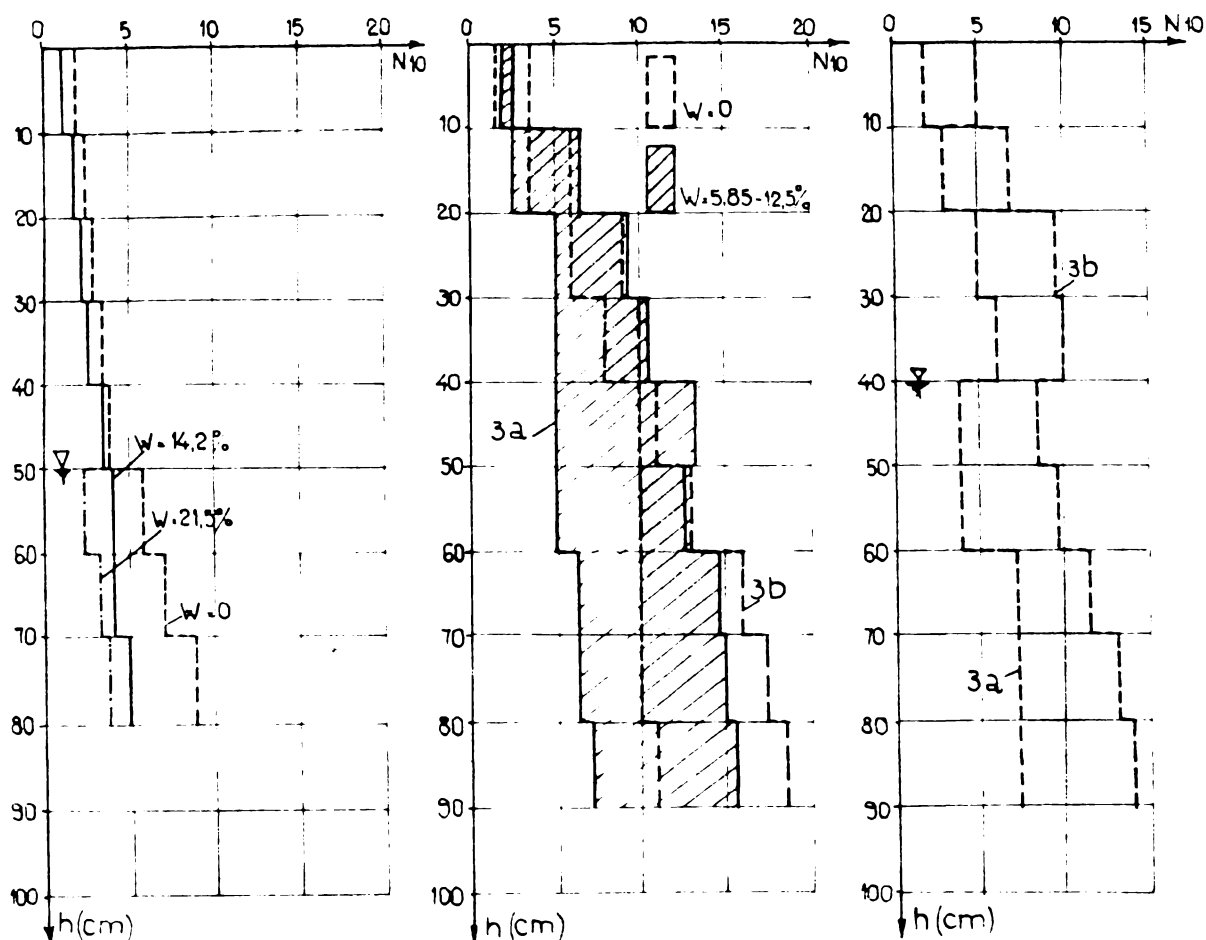


Fig.3.18. Influența nivelului apei și a variației umidității

In figura 3.7. se constată reducerea rezistenței la penetra-re chiar deasupra nivelului apei subterane datorită ridicării apei prin capilaritate și sub nivelul acesteia datorită prezenței pânzei de apă în stratul de nisip mic și mijlociu cu rar pietriș.

Cît privește pămînturile coezive care sînt de obicei saturate sau aproape saturate și peste nivelului apei subterane, influența a-cesteia se observă numai în cazul cînd prezența apei duce la schim-barea substanțială a consistenței.

Experiențele efectuate au evidențiat latura calitativă a problemei fără însă a crea posibilitatea de a desprinde aspecte can-titative noi față de cele menționate la punctul 2.2.4.

3.2.6. Influența succesiunii straturilor

Pentru evidențierea acestui factor de influență s-au efectuat încercări în vasul metalic cu penetrometrul PDL₃ pe nisip avînd granulometria 1, fig.3.3 așezat în două straturi cu grade de îndesa-re diferite; primul strat cu grad de îndesare mai ridicat decît stra-tul al doilea. In fig.3.19 este prezentat cazul cînd între gradele de îndesare a celor două straturi diferența este mare ($I_D 1=0,20$;

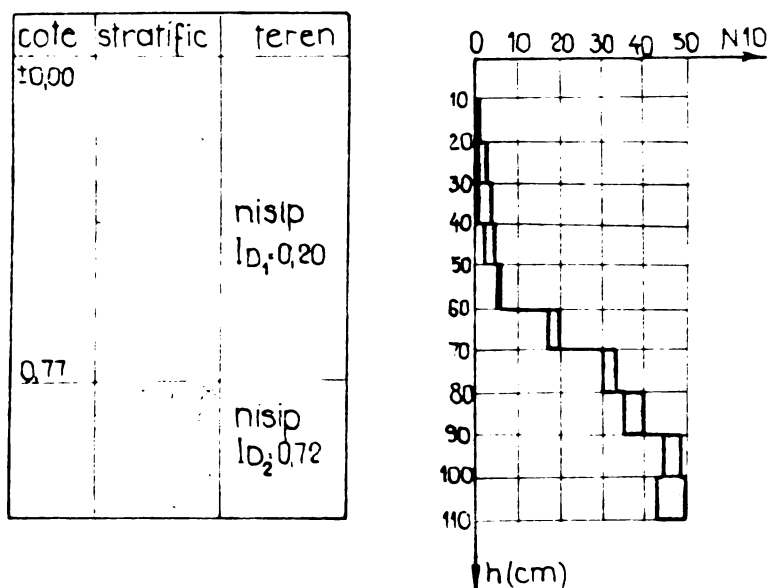


Fig.3.19. Evidențierea influenței stratului de bază

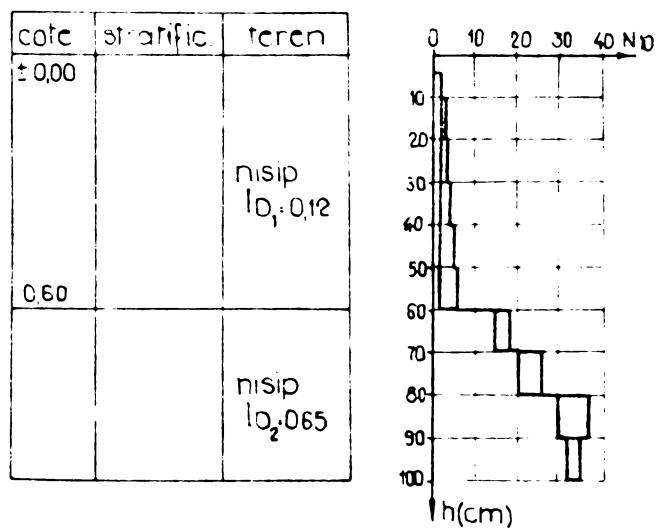


Fig.3.20. Influența succesiunii straturilor

acest caz unfluena stratului de bază este destul de accentuată fapt constatat din alura diagramei.

Din analiza diagramelor rezultă că în stratul de bază aflat în toate cazurile în stare îndesată, influența stratului superficial s-a manifestat pe o adâncime de 10-15 diametri, de unde se poate trage concluzia că în cazul nisipurilor situate în domeniul îndesării medii și îndesat, influența schimbării stratului se resimte pe oca 10 -15 diametri de con, deasupra și sub limita de separație.

$I_{D_2} = 0,72$). Se remarcă o sporire a rezistenței de penetrare în primul strat de la o înălțime de aprox.10-15 diametri de con peste stratul de bază ceea ce corespunde celor arătate la punctul 2.2.5.

Situație asemănătoare se prezintă în fig.3.20 unde influența stratului de bază este foarte scăzută deși diferența dintre gradele de îndesare a fost foarte mare. Faptul se explică prin

gradul de îndesare foarte scăzut al stratului superficial, $I_{D_1} = 0,12$, care permite refulare ușoară a materialului din stratul al doilea în direcție laterală și în sus.

În figurile 3.19 și 3.20 zona înnegrită reprezintă domeniul în care s-au situat valorile penetrărilor efectuate.

În fig.3.21 este prezentat cazul când gradele de îndesare au fost mai apropiate; și în

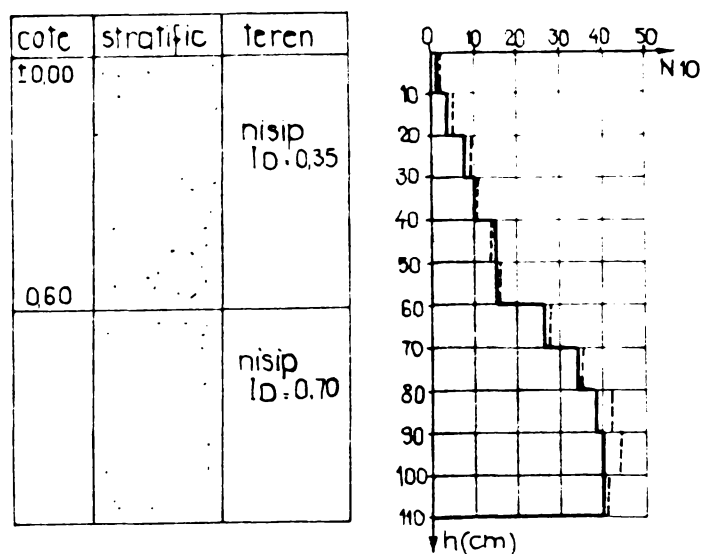


Fig.3.21. Evidențierea succesiunii straturilor

Sondajele de penetrare efectuate în paralel cu foraje de control au scos în evidență foarte bine influența succesiunii straturilor prin variația rezistenței la penetrare în vecinătatea limitei de separație dintre straturi. În figurile 3.22 și 3.23 sînt prezentate două diagrame de penetrare cuplate cu profilul litologic, care evidențiază foarte clar influența succesiunii straturilor.

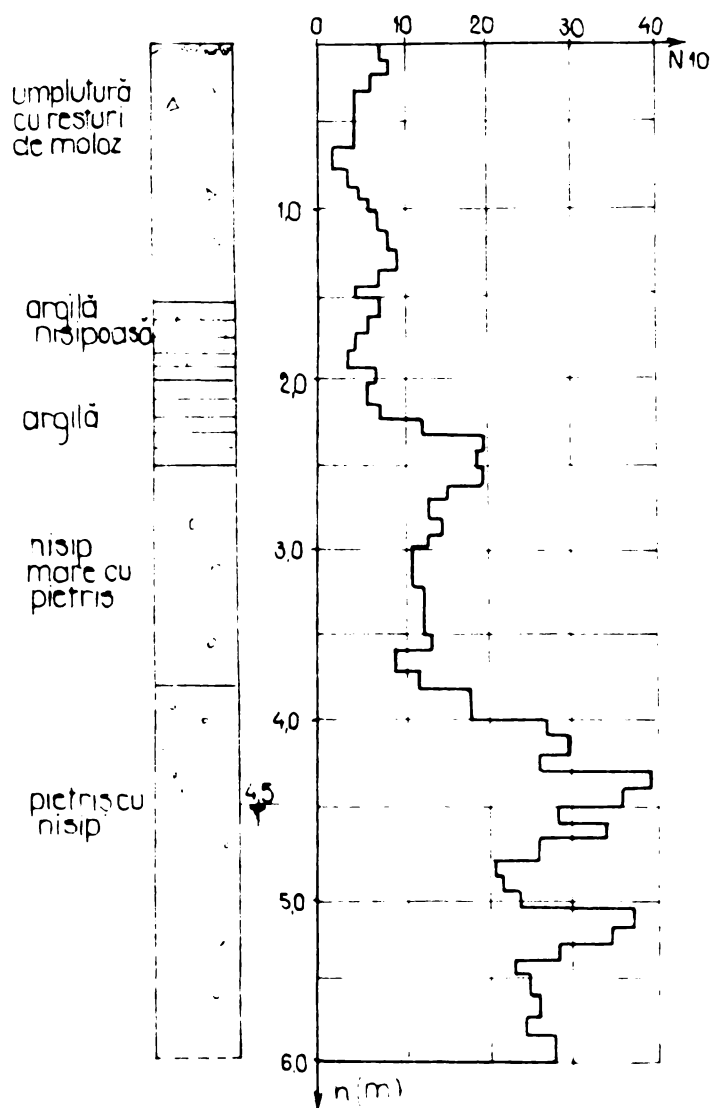


Fig.3.22. Diagramă de penetrare Localitatea Deta

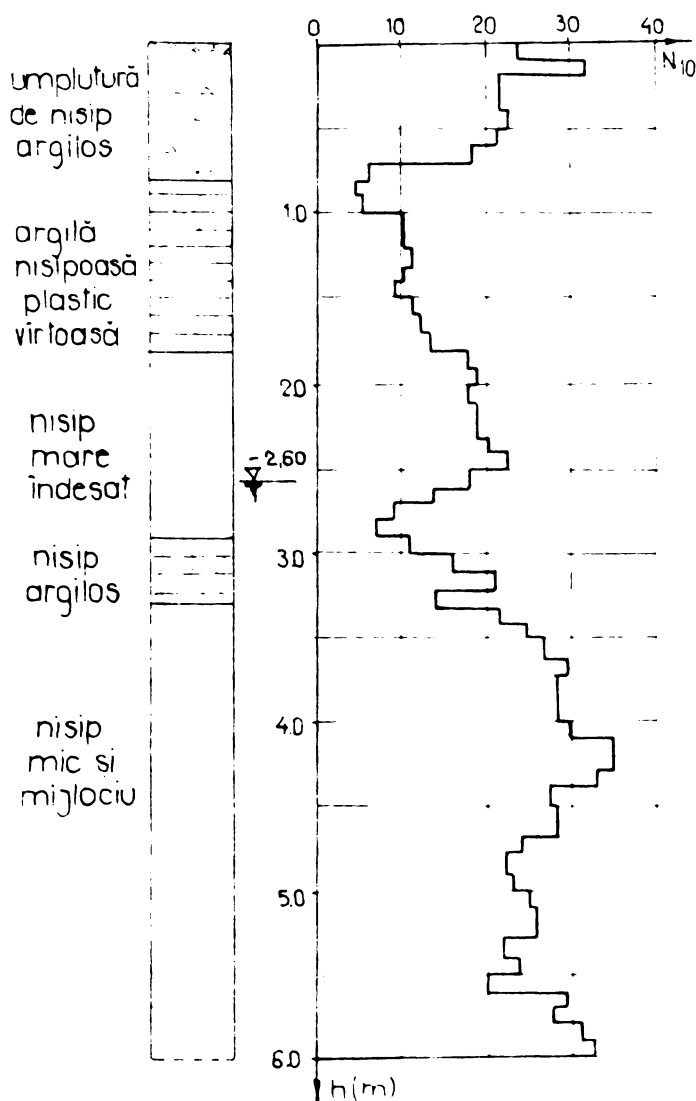


Fig.3.23. Diagramă de penetrare Localitatea Gătaia

În figura 3.22, straturile avînd grosime redusă, diagrama de penetrare prezintă variații pronunțate din cauza influenței reciproce dintre straturi.

Diagrama din figura 3.23 evidențiază foarte bine trecerea din stratul de argilă nisipoasă plastic vîrtoasă în stratul de nisip mare îndesat care prezintă rezistență la penetrare mai ridicată, din care cauză, se semnalează creșterea rezistenței deasupra limitei de separație dintre straturi cu cca 50 cm, ceea ce reprezintă 14 diametri de con PDU. Același fenomen se observă la trecerea din stratul de nisip mare îndesat în stratul de nisip argilos prin scăderea rezistenței la penetrare pe aproximativ aceeași înălțime.

De variația rezistenței de penetrare, datorită influenței succesiunii straturilor trebuie să se țină seama în mod deosebit atunci cînd aceste rezistențe sînt utilizate pentru aprecierea caracteristicilor fizico-mecanice ale pămînturilor pentru a nu denatura situația reală.

3.2.7. Influența caracteristicilor utilajului

Pentru elucidarea influenței utilajului s-a efectuat experiențe de laborator prin care s-a studiat:

- influența mărimii diametrului conului asupra rezistenței la penetrare;
- influența raportului dintre diametrul conului de penetrare și diametrul tijei, $K_2 = \frac{d}{d_1}$;
- influența raportului dintre masa berbecului și masa coloanei de tije, $K_1 = \frac{Q_1}{Q_2}$.

Pentru studiul influenței mărimii diametrului și a raportului K_2 s-au utilizat cinci conuri diferite a căror suprafață este specificată în fig.3.24 b.

Influența raportului K_1 s-a studiat cu ajutorul penetrometrului model realizat din tronsoane de tijă de lungime 30 cm, cu berbec de masă variabilă pentru păstrarea unui raport K_1 constant.

Încercările s-au efectuat în vasul de beton cu diametrul 0,6 m și înălțimea 1,80 m umplut cu nisip (granulometria 1, fig.3.1) avînd grad de îndesare constant, $I_D = 0,55$. Penetrările s-au efectuat cu penetrometrul de laborator PDL₂, folosind cinci diametri de con pentru care rezultă, $K_2 = \frac{d}{d_1} = 1,3 \div 2,0$.

În figura 3.24 a sînt prezentate diagramele de penetrare pentru trei rapoarte K_2 .

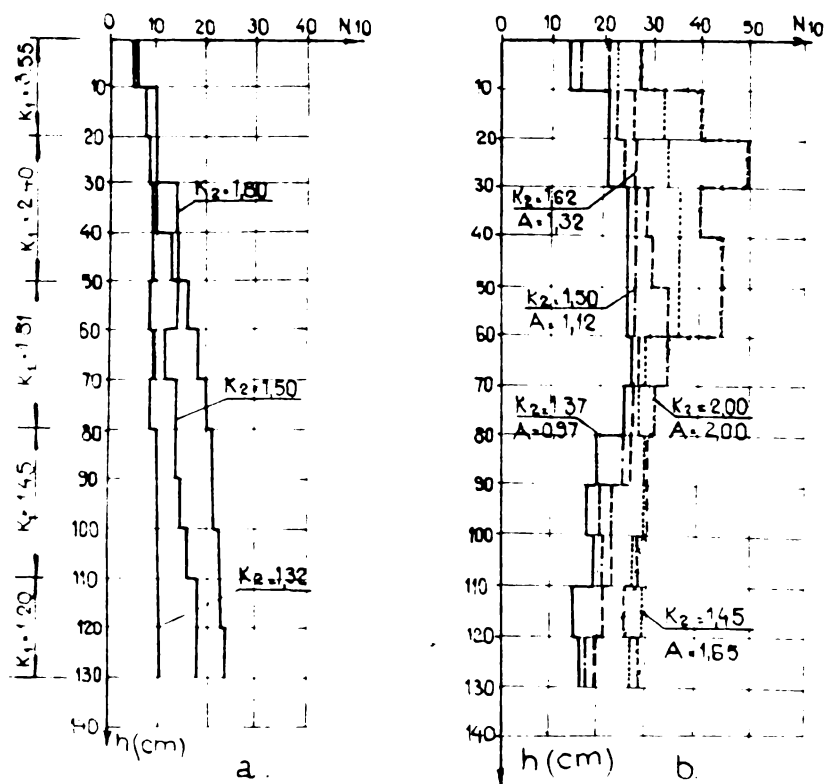


Fig.3.24. Variația rezistenței de penetrare cu raportul

$$K_2 = \frac{d}{d_1}$$

lor de frecare; în felul acesta se confirmă rezultatele experimentale [125] care arată că, în cazul nisipurilor, influența frecării este neglijabilă pentru $K_2 \geq 1,7$.

Diagramele din fig.3.24 b efectuate în condițiile descrise mai sus pentru cinci rapoarte K_2 , păstrînd însă în timpul penetrării raportul $K_1 = 1,2$ (constant) ilustrează creșterea rezistenței de penetrare cu raportul K_2 , diferențele fiind mai mari la partea superioară și reducîndu-se cu adîncimea pe măsură ce cresc pierderile din fenomene secundare. Scăderea rezistenței la penetrare cu adîncimea, exprimată prin N_{10} , este efectul creșterii lucrului mecanic specific pe suprafața conului de penetrare datorită majorării masei berbecului pentru păstrarea raportului K_1 constant.

Variația rezistenței de penetrare este legată și de raportul K_1 pentru studiul căruia s-a utilizat berbec cu masa variabilă care a făcut posibilă păstrarea constantă a lui K_1 pe parcursul unei determinări. Penetrometrul fiind cu tije prelungibile, la fiecare tronson de tijă corespunde un berbec, conform datelor din tabelul 3.3. în funcție de raportul K_1 cu care s-a lucrat.

Din analiza diagramelor rezultă creșterea rezistenței la penetrare cu mărirea secțiunii conului pe lîngă un lucru mecanic constant, creștere care se diferențiază mai clar în adîncime, unde refularea terenului este posibilă numai lateral. Rezultă de asemenea că adîncimea critică variază direct cu mărimea conului. Pentru raportul $K_2 = 1,8$, se constată în același timp, că după depășirea adîncimii critice, rezistența la penetrare rămîne relativ constantă din cauza influenței reduse a forțelor

Tabelul 3.3.

Numărul tronsoanelor de tije prelungibile	Masa tija+ con+nicovală gr	Masa berbecului [gr] pentru raportul		
		$K_1 = 1,2$	$K_1 = 1,6$	$K_1 = 2,0$
1	243	292	389	487
2	360	433	576	720
3	477	572	762	954
4	594	713	950	1180
5	710	862	1138	1422

In figura 3.25 sînt prezentate cele trei diagrame de penetrare corespunzătoare rapoartelor K_1 și diagrama de variație a rezistenței dinamice specifice w' , calculată cu formula olandeză 2.20 a, pentru raportul $K_1=2,0$; pentru celelalte rapoarte diagramele au aceeași alură.

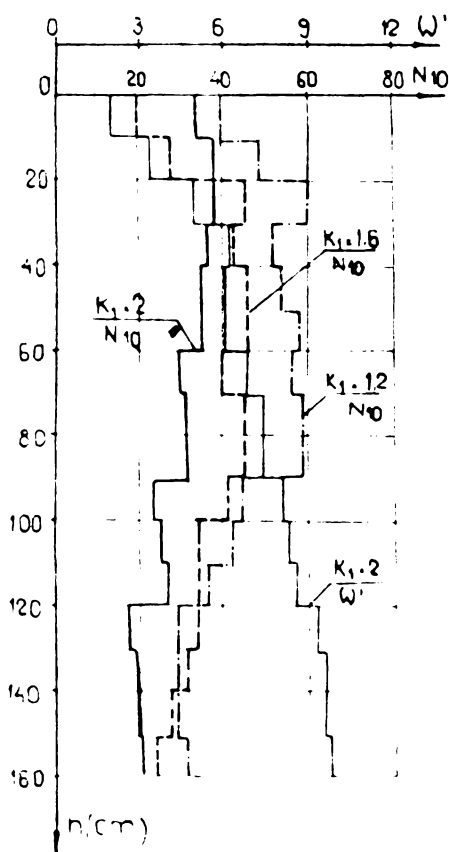


Fig.3.25. Variația rezistenței la penetrare cu raportul $K_1 \frac{Q_1}{Q_2}$.

Din analiza diagramelor N_{10} nu se poate desprinde fenomenul real, din cauza variației lucrului mecanic specific pe suprafața conului, prin mărirea masei berbecului la prelungirea coloanei de tije pentru păstrarea raportului K_1 , constant. Diagrama w' evidențiază creșterea continuă a rezistenței de penetrare chiar după depășirea adîncimii critice, deși gradul de îndesare a rămas neschimbat, prin consumarea unei părți din energia de înfigere de către fenomene secundare.

Înălțimea relativ redusă a vasului în care s-au efectuat încercările de laborator nu a permis desprinderea unor aspecte cantitative, ci doar a unor concluzii calitative care semnaleză importanța deosebită a caracteristicilor aparatului asupra rezultatelor sondajului de penetrare. Din acest motiv la interpretarea rezultatelor trebuie

să se țină seama de specificul aparatului utilizat, iar valabilitatea corelațiilor stabilite pentru interpretări calitative și cantitative este legată de caracteristicile penetrometrului.

3.3. Studii experimentale privind posibilitatea de reducere a volumului lucrărilor clasice de investigație a terenurilor de fundare

Penetrarea dinamică cu con face parte din categoria metodelor de cercetare corelative a terenurilor "in situ" oferind posibilitatea de reducere și completare a lucrărilor clasice de investigație; prin aplicarea metodei se scurtează timpul afectat lucrărilor de cercetare ale terenului, se obțin elemente informative suplimentare asupra unor pământuri din care nu este posibilă recoltarea probelor netulburate și se reduce costul lucrărilor.

Studiile experimentale s-au efectuat pe diverse amplasamente din municipiul Timișoara sau alte localități, cu ocazia lucrărilor de cercetare ale terenurilor de fundare pentru elaborarea studiilor geotehnice, a lucrărilor de cercetare pentru stabilirea cauzei alunecărilor de teren pe traseul unor drumuri, precum și în cadrul unor teme de cercetare.

Sondajele de penetrare s-au efectuat în majoritatea cazurilor cu penetrometrul dinamic ușor, PDU și mai rar cu PDM și PDG.

Pe amplasamentul cercetat s-au executat foraje de referință sau control din care s-au prelevat probe de teren pentru determinări de laborator, iar în multe cazuri s-au efectuat și sondaje de penetrare statică.

Scopul cercetărilor cu precizarea aspectelor urmărite s-a prezentat în paragraful 2.5, care în mod sintetic se referă la:

- studiul domeniului de aplicare a metodei penetrării dinamice cu con la cercetarea terenurilor;

- stabilirea volumului lucrărilor clasice de investigație care pot fi reduse și înlocuite cu sondaje de penetrare dinamică cu con;

- posibilitatea de interpretare calitativă și cantitativă a datelor sondajului de penetrare dinamică.

3.3.1. Metodologia de execuție a lucrărilor experimentale

Volumul lucrărilor de investigație a terenului de fundare și dispunerea în plan a acestora pe amplasamentul cercetat s-a stabilit în conformitate cu STAS 1242/1/73. În funcție de uniformitatea terenului în plan orizontal numărul forajelor stabilite s-a executat integral sau parțial, caz în care s-au înlocuit cu sondaje de penetrare.

În foarte multe cazuri, pe amplasamentul cercetat s-au efectuat sondaje de penetrare statică cu care s-au cuplat sondajele de penetrare dinamică în scopul corelării rezistenței dinamice cu rezistența statică pe con. Pentru a avea o imagine clară asupra stratificației terenului și a nivelului apei subterane diagramele de penetrare sînt însoțite de profilul litologic al terenului stabilit pe baza forajului executat în vecinătatea sondajului de penetrare.

În scopul obținerii unor date cît mai fidele, nealterate de influența reciprocă dintre diverse lucrări, pe amplasament s-au efectuat în primul rînd sondajele de penetrare dinamică și statică și după aceea s-au executat forajele la distanță minimă de 1,0 m. În cadrul primelor studii experimentale, lîngă fiecare sondaj de penetrare s-a executat cîte un foraj, iar pe măsura dobîndirii experienței în domeniul cercetării prin penetrare, numărul forajelor s-a redus ajungîndu-se să se execute un foraj numit de referință cuplat cu diagrama de penetrare etalon obținută pe baza sondajului de penetrare de lîngă acest foraj. Diagramele corespunzătoare celorlalte sondaje de penetrare s-au comparat cu diagrama etalon și în cazul cînd s-au semnalat diferențe mari care puteau fi urmare a unor schimbări în stratificație, s-a executat un foraj de control care a devenit foraj de referință pentru zona respectivă, dacă ea a avut extindere mai mare; de fapt numărul forajelor de referință de pe un amplasament este legat de neuniformitatea terenului.

Din foraje s-au prelevat probe pentru determinarea caracteristicilor fizico-mecanice ale terenului în vederea asigurării posibilității de corelare a rezistenței la penetrare cu acestia. Determinările de laborator s-au executat în conformitate cu standardele și normativele în vigoare și s-au referit în primul rînd la:

- stabilirea compoziției granulometrice a pămîntului cunoscînd importanța hotărîtoare pe care o are asupra rezistenței la penetrare;

- determinarea umidității;

- stabilirea gradului de îndesare la pămînturile necoezive, respectiv a consistenței în cazul pămînturilor coezive;

- stabilirea caracteristicilor de compresibilitate;

- stabilirea caracteristicilor rezistenței la forfecare.

Așa cum s-a arătat în cadrul paragrafului 3.2. caracteristicile sus menționate sînt cele care influențează în mod deosebit asupra rezistenței la penetrare.

Caracteristicile terenului determinate în laborator au permis desprinderea unor concluzii importante cu privire la unele aspecte calitative ale metodei de cercetare prin penetrare dinamică și pe baza lor a fost posibilă, prin preluorări statistice, stabilirea unor corelații dintre unele caracteristici ale terenului și rezistența la penetrare.

Sondajele de penetrare statică executate în paralel cu cele dinamice au fost deosebit de utile în cazul pământurilor din care nu a fost posibilă recoltarea probelor netulburate întrucât, așa cum s-a arătat în cuprinsul capitolului 2, există mai multe corelații pentru determinarea unor caracteristici ale terenului pe baza sondajelor de penetrare statică, decât prin penetrarea dinamică.

În cele ce urmează se vor prezenta câteva exemple de lucrări efectuate pe amplasamente cu diverse categorii de terenuri.

3.3.2. Exemple de studii experimentale efectuate pe diferite amplasamente

Exemplele prezentate au menirea să ilustreze unele aspecte cu caracter general prezentate la începutul paragrafului 3.3. Ele se vor grupa în funcție de aspectul urmărit în cadrul cercetării.

3.3.2.1. Cercetări pentru întocmirea studiilor geotehnice privind stabilirea condițiilor de fundare ale construcțiilor

Pentru stabilirea elementelor necesare proiectării, în studiul geotehnic trebuie să se precizeze, pe baza elementelor furnizate de cercetarea terenului, date asupra cotei de fundare, capacității portante, tasărilor probabile, cât și sistemul de fundare adecvat funcție de terenul de pe amplasament și destinația construcției [40].

Pentru obținerea acestor date pe amplasamentele studiate s-au executat foraje cu prelevări de probe și sondaje de penetrare care au permis reducerea volumului lucrărilor clasice de investigație și obținerea unor date suplimentare ce nu au putut fi furnizate de acestea.

Capacitatea portantă a terenului de fundare se apreciază pe baza caracteristicilor fizice ca, indicele porilor "e", gradul de îndesare "I_D", indicele de consistență "I_c" și a caracteristicilor mecanice ca unghiul frecării interioare "φ" și coeziunea "c".

Pentru evaluarea tasărilor probabile caracteristica cea mai importantă este modulul de deformare edometric "M".

In figura 3.26 se prezintă, în paralel unele caracteristici ale terenului obținute în laborator, puse în evidență prin indicele "l" și la fața locului, pe baza sondajului de penetrare statică, puse în evidență prin indicele "p", în pachete de pământuri coezive, pe un amplasament situat în comuna Dumbrăvița.

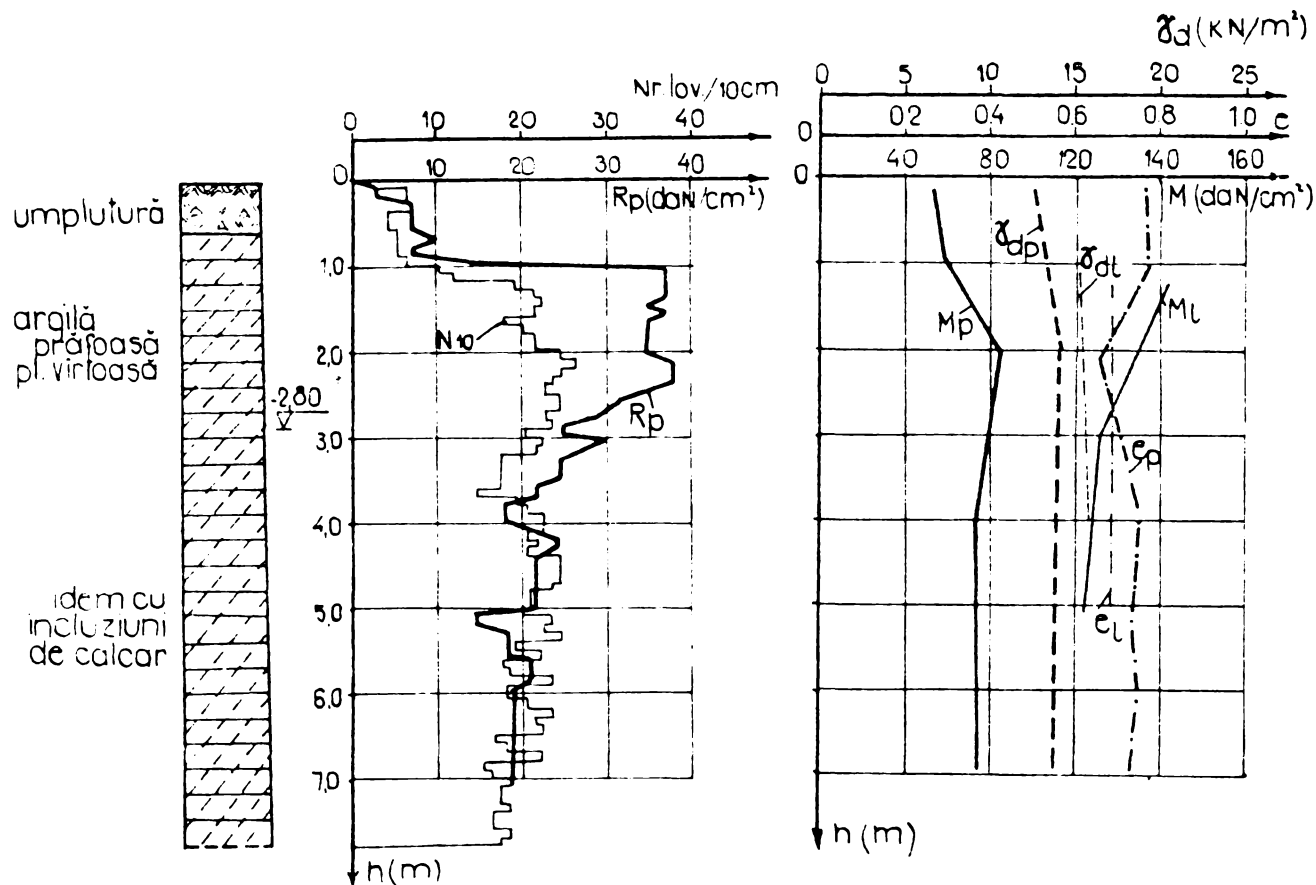


Fig.3.26. Date de teren și laborator, amplasament Dumbrăvița

Pe amplasament s-au efectuat foraje, sondaje de penetrare statică și dinamică. Din suprapunerea diagramelor de penetrare rezultă o corelare foarte bună între rezistența pe con R_p și numărul de lovituri N_{10} . Creșterea rezistenței de penetrare dinamică exprimată prin N_{10} față de rezistența pe con R_p , înregistrată sub cota -3,0 m se explică prin apariția forțelor de frecare pe tija penetrometrului la traversarea terenurilor coezive de consistență redusă (punctul 3.2.4.).

La determinarea caracteristicilor fizico-mecanice pe baza datelor furnizate de sondajele de penetrare s-a ținut seama de factorii care influențează asupra rezultatelor penetrării (paragr. 2.2) [73] [74] utilizînd valori corectate.

Din analiza caracteristicilor obținute pe baza datelor penetrării statice se observă o corelare foarte bună între greutatea volumică în stare uscată " γ_{d_p} ", indicele porilor " e_p " și modulul de deformație edometric, " M_p ".

Urmărind variația caracteristicilor în adâncime se constată că dela cota -3,0 m. ele rămân aproximativ constante.

Intre caracteristicile de laborator, e_1 , γ_{d1} și M_1 și cele determinate prin penetrare, e_p , γ_{dp} și M_p se constată diferențe aproximativ constante. La caracteristicile fizice e și γ_d diferențele sînt de aproximativ 5-15 % iar la valoarea modulului sînt în jur de 50-60 %, mai mici fiind valorile oferite de penetrarea statică, ceea ce conferă o siguranță mai mare la aprecierea testărilor probabile.

În figura 3.27 sînt prezentate diagramele sondajelor de penetrare statică și dinamică efectuate pe un amplasament din municipiul Timișoara. Forajele executate pe amplasament au evidențiat existența unor pachete de pămînturi nisipoase situate sub un strat de grosime variabilă, de argilă nisipoasă.

Din analiza diagramei de penetrare se constată și în acest caz o corelare bună între rezistența pe con R_p și numărul de lovituri N_{10} .

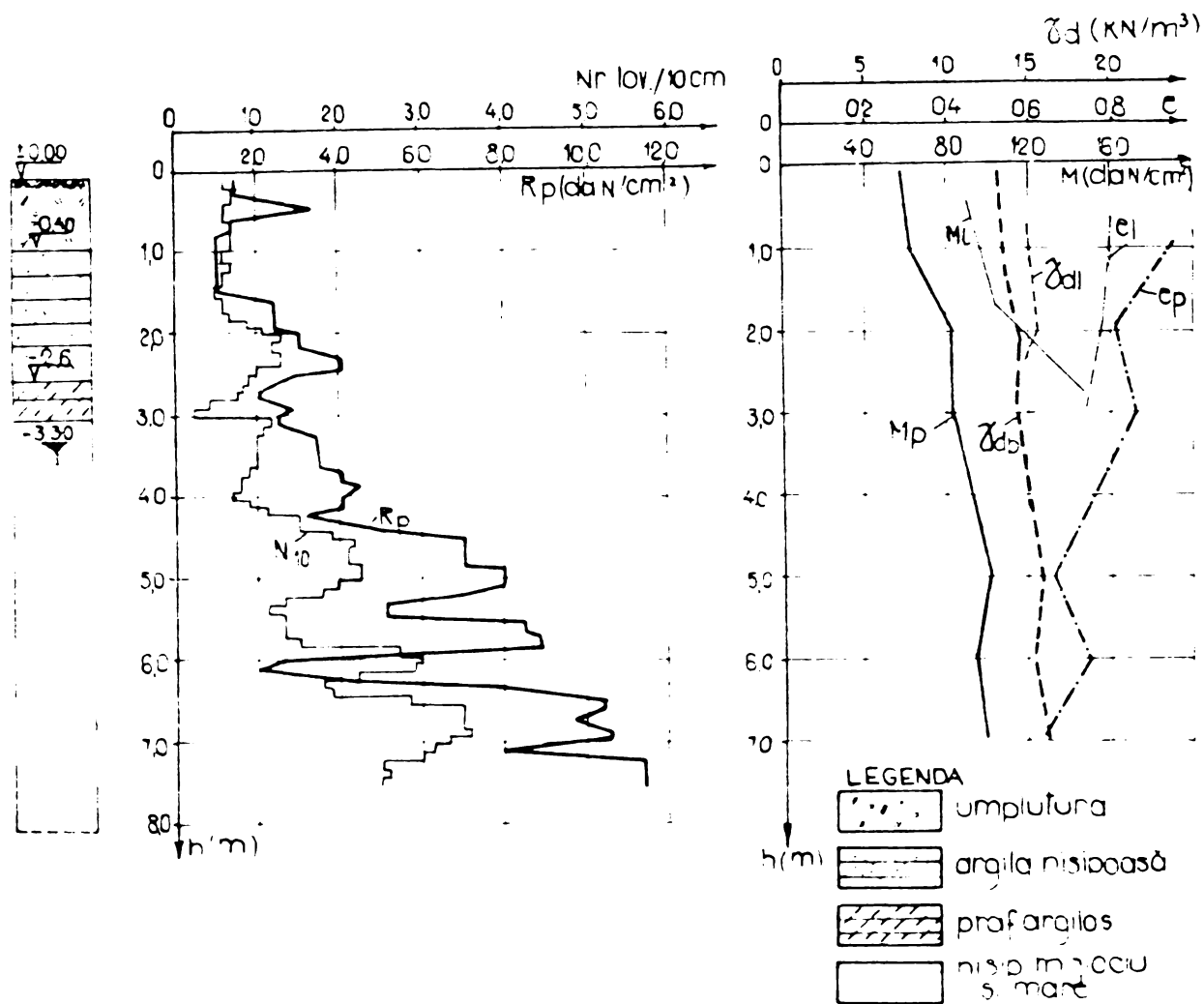


Fig.3.27. Date de teren și laborator, amplasament municipiu Timișoara

Probe netulburate s-au putut preleva numai din stratul de argilă nisipoasă, probe pe care s-au executat determinări de laborator ale căror rezultate sînt prezentate în figura 3.27. prin diagramele γ_{d1} , e_1 și M_1 . Pentru pachetul de pămînturi nisipoase din care nu s-au putut recolta probe netulburate, caracteristicile fizice și mecanice, γ_d , e , I_d , M și ϕ , s-au determinat numai pe baza datelor furnizate de sondajele de penetrare prin utilizarea indicațiilor din Instrucțiuni [129] și a relațiilor indirecte în literatură (punctul 2.3.2). Caracteristicile γ_{dp} , e_p și M_p se corelează foarte bine și variază foarte puțin în adîncime, funcție de variația gradului de îndesare între afînat și îndesare medie. Unghiul frecării interioare, ϕ variază între 30° - 33° , corespunzînd aceleași variații a gradului de îndesare.

3.3.2.2. Cercetări pentru întocmirea studiilor geotehnice privind alunecările de teren

Pentru stabilirea cauzelor care au provocat alunecarea terenului într-o anumită zonă cît și pentru alegerea soluției de consolidare trebuie să se execute o cercetare amănunțită a terenului în suprafață și adîncime, depășind cota la care se semnalează suprafața de alunecare. În majoritatea cazurilor aria afectată fiind întinsă, volumul lucrărilor de investigație este mai mare. În această situație înlocuirea parțială a forajelor cu sondaje de penetrare dinamică sau statică și dinamică, corelate în funcție de natura terenului ar permite reducerea substanțială a cheltuielilor și scurtarea duratei de execuție a lucrărilor de investigație.

În fig.3.28 sînt prezentate datele obținute în urma cercetărilor efectuate pe DN 57 - km 64+600.

Forajele efectuate au pus în evidență pachete de pămînturi argiloase în care nu este indicată utilizarea cercetărilor numai prin penetrare dinamică, datorită efectului frecării pe tijă. Din acest motiv s-au executat sondaje de penetrare statică, însă într-un număr mai redus deoarece s-au corelat cu sondaje de penetrare dinamică care sînt mai ieftine. Din analiza diagramelor de penetrare se constată o corelare suficient de bună pînă la adîncimea de cca 3,0 m de unde se înregistrează o influență pronunțată a efectului frecării pe tije penetrometrului dinamic, datorită traversării pămînturilor coezive de consistență redusă. Atît din analizele de laborator cît și din datele de teren, se constată valori scăzute ale modulului de deformație edometric și valori relativ ridicate ale cifrei porilor, e , în concordanță cu valorile scăzute ale rezistenței pe con R_p ($R_p < 40 \text{ daN/cm}^2$).

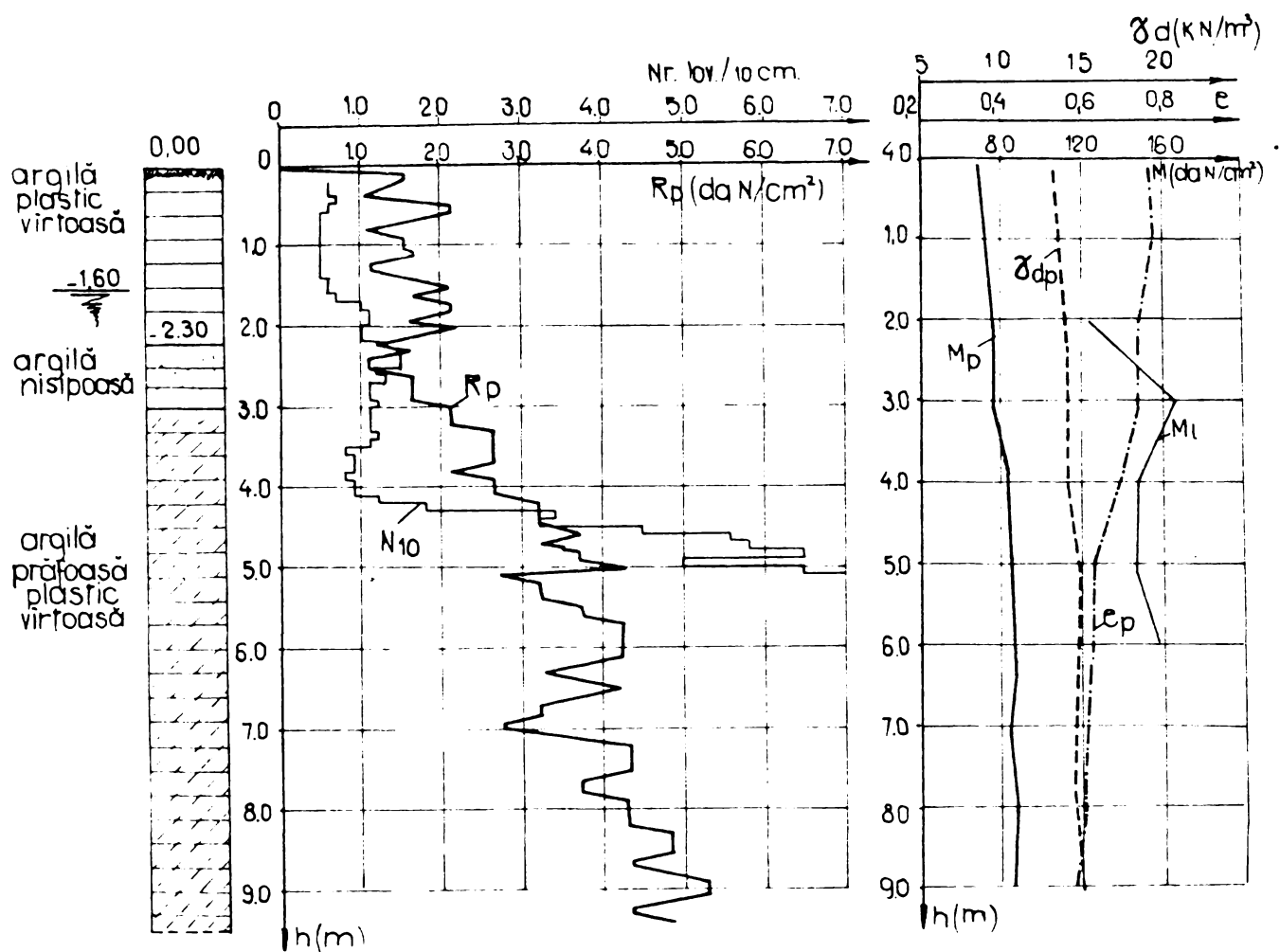


Fig.3.28. Date de teren și laborator, alunecare de teren DN 57 Km 64+600

Pentru obținerea datelor necesare elaborării proiectului de consolidare pe amplasament se necesita executarea a 15 foraje clasice, din care s-au executat 8, celelalte fiind înlocuite cu sondaje de penetrare ceea ce a permis reducerea cheltuielilor necesare cercetării și scurtarea termenului de efectuare a acestora.

3.3.2.3. Cercetări pentru stabilirea unor corelații între rezistența la penetrare și unele caracteristici ale terenului

Executarea în paralel a unor foraje, din care s-au prelevat probe pentru determinarea în laborator a unor caracteristici ale terenului, cu sondaje de penetrare dinamică a permis obținerea unor date numeroase pe baza cărora s-au stabilit corelații prin prelucrări statistice. Pentru mărirea volumului de date s-au utilizat și sondaje de penetrare cuplate cu încercări de laborator realizate de IPROTIM conform celor arătate la punctul 3.1.3.

Pentru prelucrarea ușoară a datelor s-au executat fișe conform cu cele prezentate în figurile 3.29 și 3.30 în care se trece

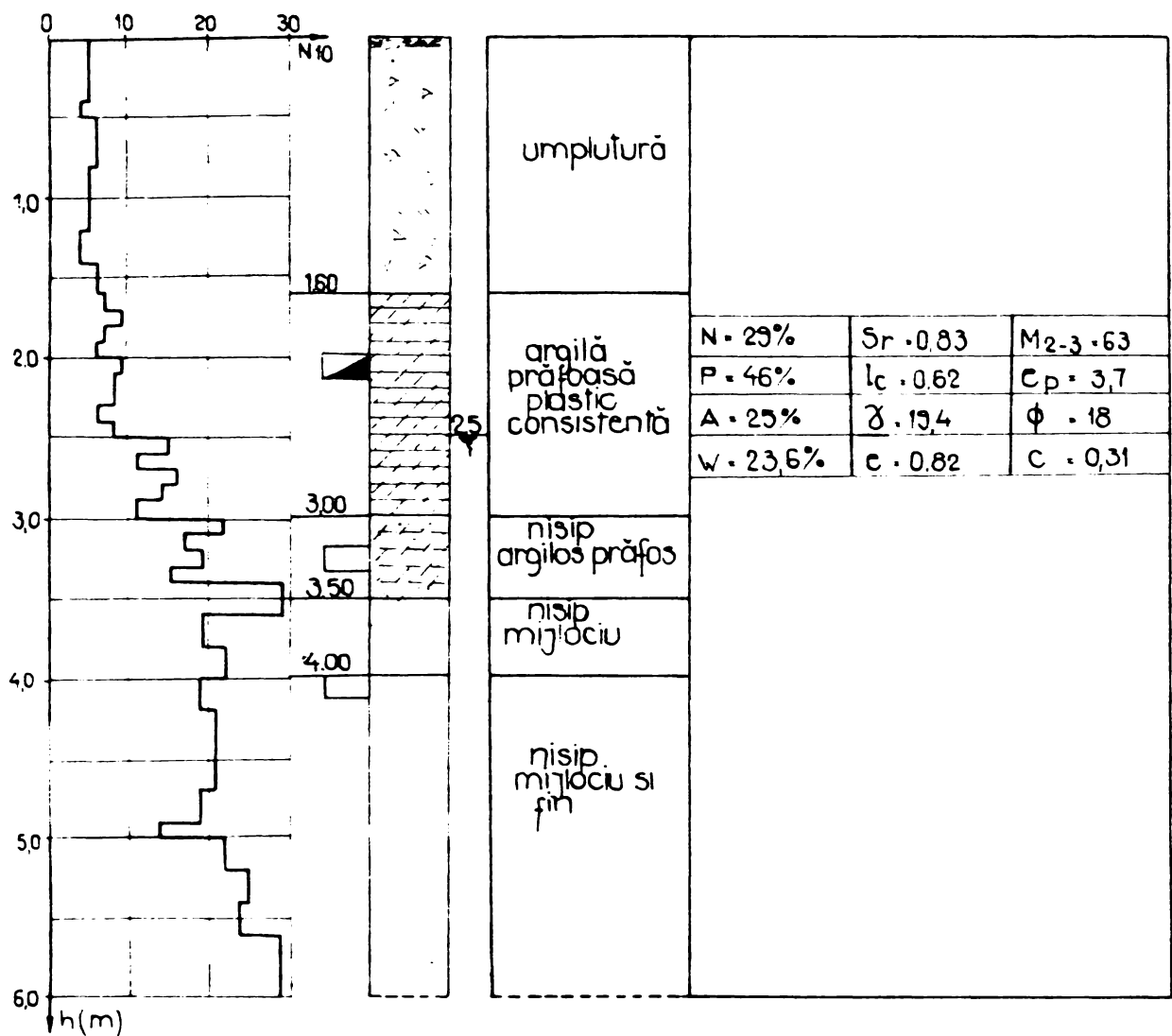


Fig.3.29. Diagramă de penetrare și tabelul caracteristicilor de laborator - amplasament municipiu Timișoara

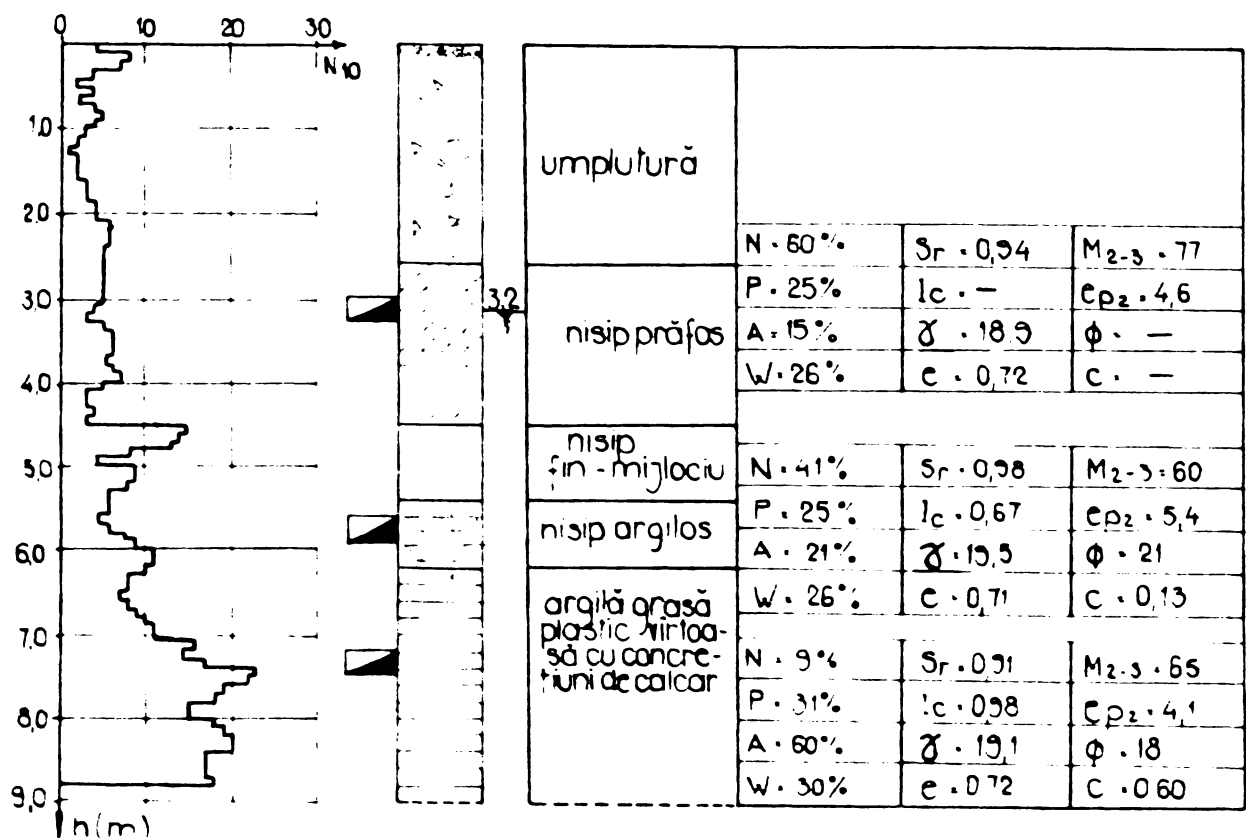


Fig.3.30. Diagrama de penetrare și tabelul caracteristicilor de laborator-amplasament municip.Timișoara- pr.IPROTIM

stratificația, diagrama de penetrare și tabelul cu cele mai importante caracteristici ale terenului determinate în laborator.

Pe baza acestor fișe se poate cerceta foarte ușor și influența unor factori de influență asupra rezultatelor penetrării.

3.4. Studii experimentale privind testarea calității lucrărilor de îmbunătățire ale terenurilor slabe de fundare prin metoda penetrării dinamice cu con

Consolidarea terenurilor slabe de fundare constituie o problemă de mare actualitate răspunzând cerințelor de utilizare a terenurilor necorespunzătoare agriculturii și de reducere a consumului de materiale deficitare. Îmbunătățirea terenurilor slabe permite adoptarea unor soluții de fundare directă în locul soluțiilor de fundare indirectă care sînt scumpe și reclamă consum ridicat de ciment și oțel.

La consolidarea terenurilor prin diferite metode, una din problemele cele mai importante o constituie verificarea calității lucrărilor de consolidare, care are drept scop stabilirea gradului de eficiență privind îmbunătățirea caracteristicilor terenului, a omogenității efectului consolidării pe amplasament și a adîncimii pînă la care se resimte efectul acesteia.

Testarea calității lucrărilor de consolidare se poate efectua prin metoda clasică, constînd din sondeaje, prelevări de probe și analize de laborator sau prin încercări "în situ" care în unele cazuri sînt singurele capabile să răspundă scopului urmărit; este cazul pămînturilor din care practic nu este posibilă recoltarea probelor netulburate, indispensabile pentru stabilirea caracteristicilor mecanice ale terenurilor de fundare.

Cercetarea terenurilor de fundare prin sondeaje de penetrare statică sau dinamică se poate utiliza cu succes la testarea calității lucrărilor de consolidare. La nevoie, sondeajele de penetrare se pot executa la distanțe reduse, 1,0-2,0 m (zona de influență fiind mică) și la adîncimi mari, funcție de capacitatea penetrometrului utilizat. Fiind o metodă de investigație continuă se obține o imagine foarte clară a efectului consolidării în adîncime.

Îmbunătățirea terenurilor slabe de fundare, în special sub efectul vibrării constituie o preocupare mai veche a unui colectiv din cadrul catedrei [71] [72]; astfel s-au efectuat studii privind compactarea de adîncime a nisipurilor afîinate saturate cu apă prin vibroîntepare [81] și compactări cu coloane de balast [72] [82], precum și compactări de suprafață cu placa vibratoare [71].

În ultimii ani, cînd s-a pus accent pe îmbunătățirea terenurilor, metodele studiate au fost aplicate pe o serie de amplasamente din localități situate în diverse puncte ale țării.

Paralel cu studiile efectuate pentru punerea la punct a tehnologiei de execuție a consolidării s-au efectuat studii și privind testarea calității lucrărilor de consolidare. Majoritatea testărilor s-au efectuat prin sondeaje de penetrare statică și dinamică completate în multe cazuri cu încercări cu placa, STAS 8942/3/75.

Tehnologiile de compactare prin vibrație fiind aplicabile în general în cazul pămînturilor necoezive metoda penetrării dinamice cu con s-a dovedit a fi eficientă pentru testarea calității lucrărilor.

În figura 3.31 a este prezentată diagrama de penetrare dinamică efectuată în terenul natural pe amplasamentul unui bloc din Timișoara unde s-a preconizat decaparea umpluturii și înlocuirea cu pernă de balast, care nu s-a compactat suficient și la care pentru compactarea ulterioară s-au executat coloane de balast [81].

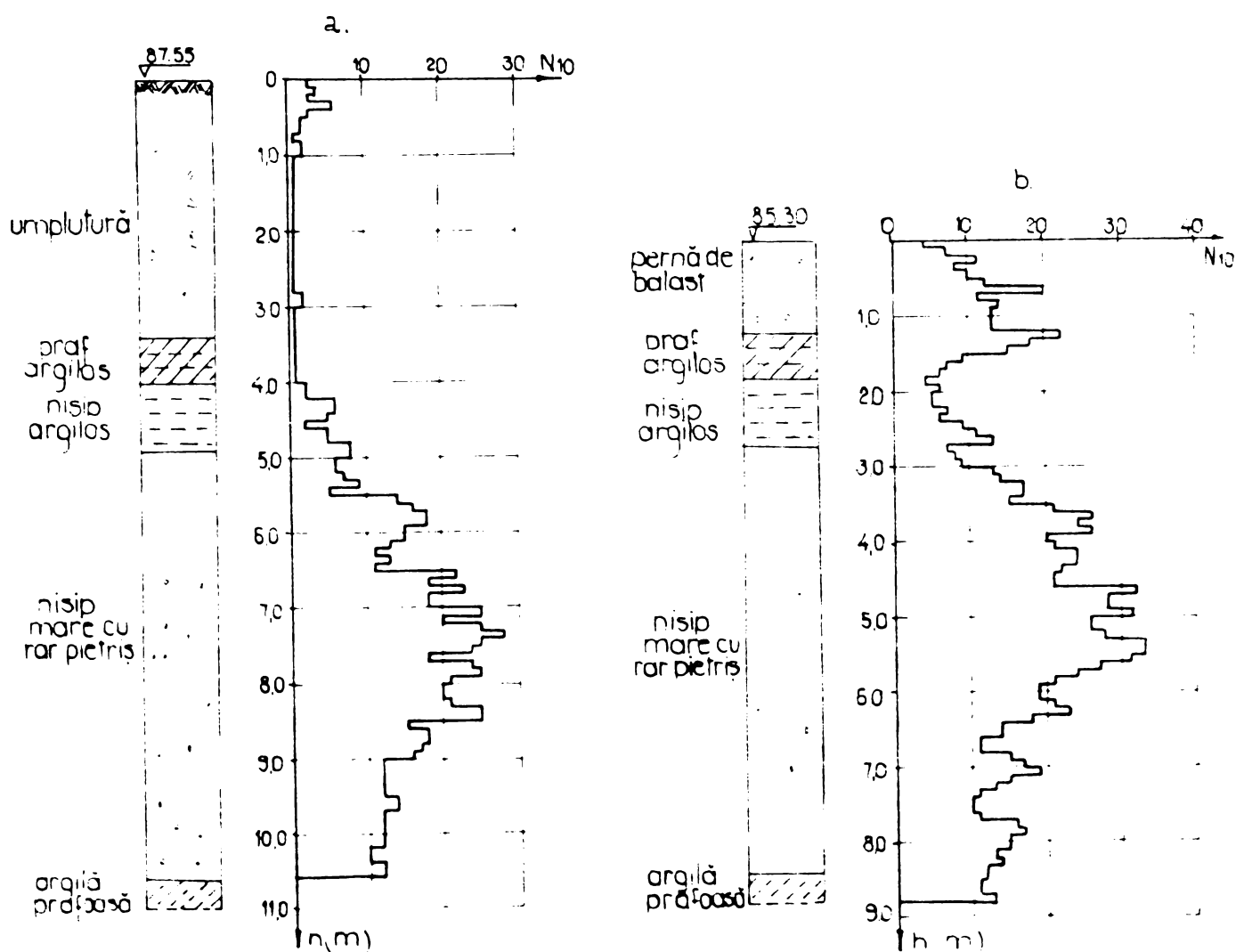


Fig.3.31. Diagrame de penetrare - Aleea Sportivilor Timișoara

Diagrama de penetrare "b" s-a executat după compactarea de adâncime și din compararea ei cu diagrama "a" rezultă clar îmbunătățirea terenului de fundare.

Pe platforma Combinatului Petrochimic Năvodari, pe amplasamentul căreia terenul de fundare este format din pachete de nisipuri mijlocii și fine uniforme ($U_n=1,2-3,12$) avînd granulometria din fig.3.32, cu intercalații de nisipuri prăfoase aflate în stare afînată sau de îndesare medie s-au efectuat o serie de lucrări de compactare de suprafață și adâncime, care în majoritatea cazurilor au fost testate prin sondaje de penetrare.

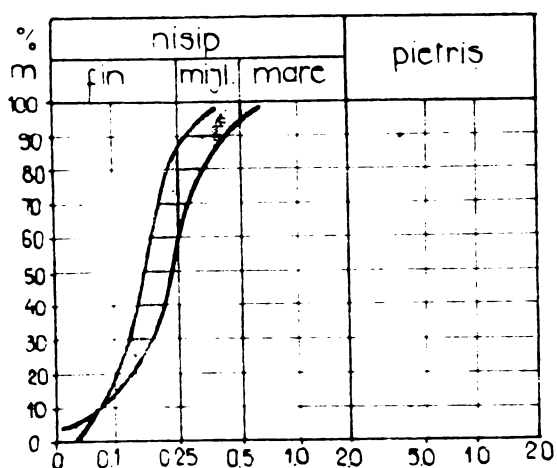


Fig.3.32. Compoziția granulometrică a nisipurilor mici și mijlocii - Năvodari

Pentru testarea calității lucrărilor de consolidare s-au efectuat sondaje de penetrare martor în terenul natural, notate cu exponent "m" și sondaje de control în terenul compactat, notate cu exponent "c".

Penetrările de control s-au efectuat în diverse puncte ale celulei astfel ca să se poată verifica raza de acțiune și omogenitatea în plan a efectului compactării. De exemplu, la compactările efectuate cu coloane de balast s-au executat sondaje de penetrare în centrul triunghiului echilateral format din trei coloane, în corpul acestuia și la jumătatea distanței dintre două coloane.

Sondajele de penetrare statică s-au efectuat cu penetrometrul static hidraulic tip INCERC la care s-a adoptat con cu secțiune de 15 cm^2 și manșon de 50 cm lungime pentru evidențierea frecării și pentru mărirea adâncimii posibile de investigare.

Sondajele de penetrare dinamică s-au efectuat cu PDU.

În fig.3.33 sînt prezentate, pentru exemplificare, diagrame de penetrare dinamică și statică martor și control pentru celula

experimentală în care compactările de adâncime s-au efectuat cu vibroagregatul AVP-1 [96] echipat cu tub de inventar \varnothing 325 mm și lungime 6,0 m cu distanța dintre coloane de 1,40 m.

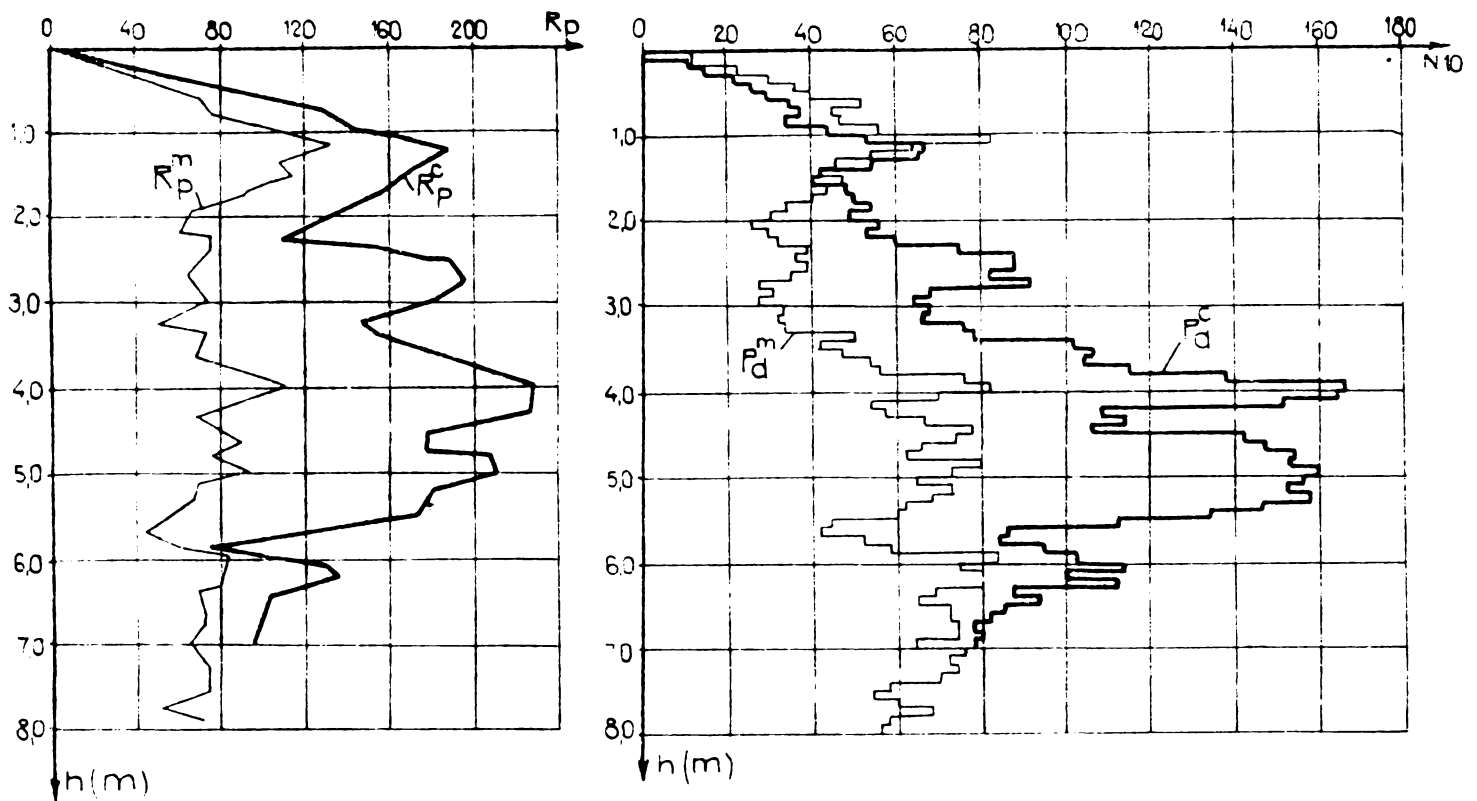


Fig.3.33. Diagrame de penetrare martor și control. Celulă experimentală IA_{2d}.

Din analiza diagramei rezultă îmbunătățirea netă a terenului de fundare prin trecerea nisipului în domeniul îndesat conform tabelului 1.1. și se evidențiază adâncimea pînă la care se resimte influența compactării.

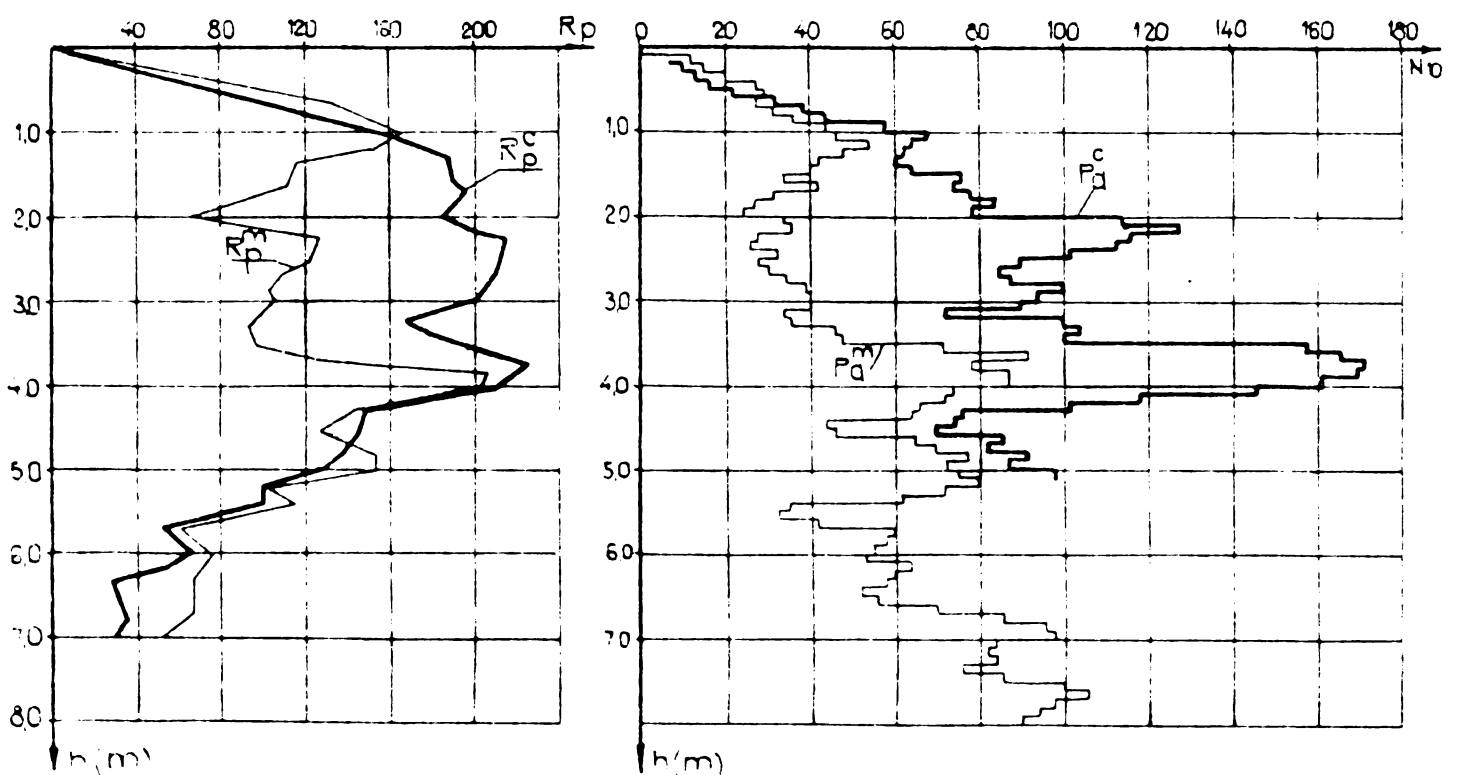


Fig.3.34. Diagrame de penetrare martor și control. Celulă experimentală IA_{1c}

In fig.3.34 sînt prezentate diagramele sondajelor de penetrare efectuate în celula în care coloanele de balast s-au executat cu tub \varnothing 419, lungime 6,0 și distanța dintre coloane 1,40 m.

Se semnaleză un efect mai uniform și mai pronunțat al compactării față de cazul prezentat în fig.3.33 din cauza diametrului sporit al tubului de inventar.

In baza contractului de colaborare 10108/1977 încheiat cu T.C.Ind. Constanța [134] s-au efectuat lucrările de testare pe amplasamentul unor obiective ale Combinatului Petrochimic Năvodari realizînd peste 1700 ml de penetrare statică și peste 700 ml de penetrare dinamică.

Testarea calității compactărilor de adîncime s-a efectuat prin penetrare statică; diagramele de penetrare martor și control au servit la studierea aspectului calitativ al efectului compactării și la trasarea diagramei de variație a greutateii volumice γ_d , a indicelui porilor e , și a modulului de deformare edometric M în conformitate cu Instrucțiunile C₁₅₉₋₇₃ [129]. S-au utilizat sonde de penetrare statică deoarece în cazul penetrării dinamice în pachetul de nisipuri de la Năvodari, de la adîncime relativ mică (3,50 - 6,00 m) începe să se manifeste frecarea pe coloana de tije.

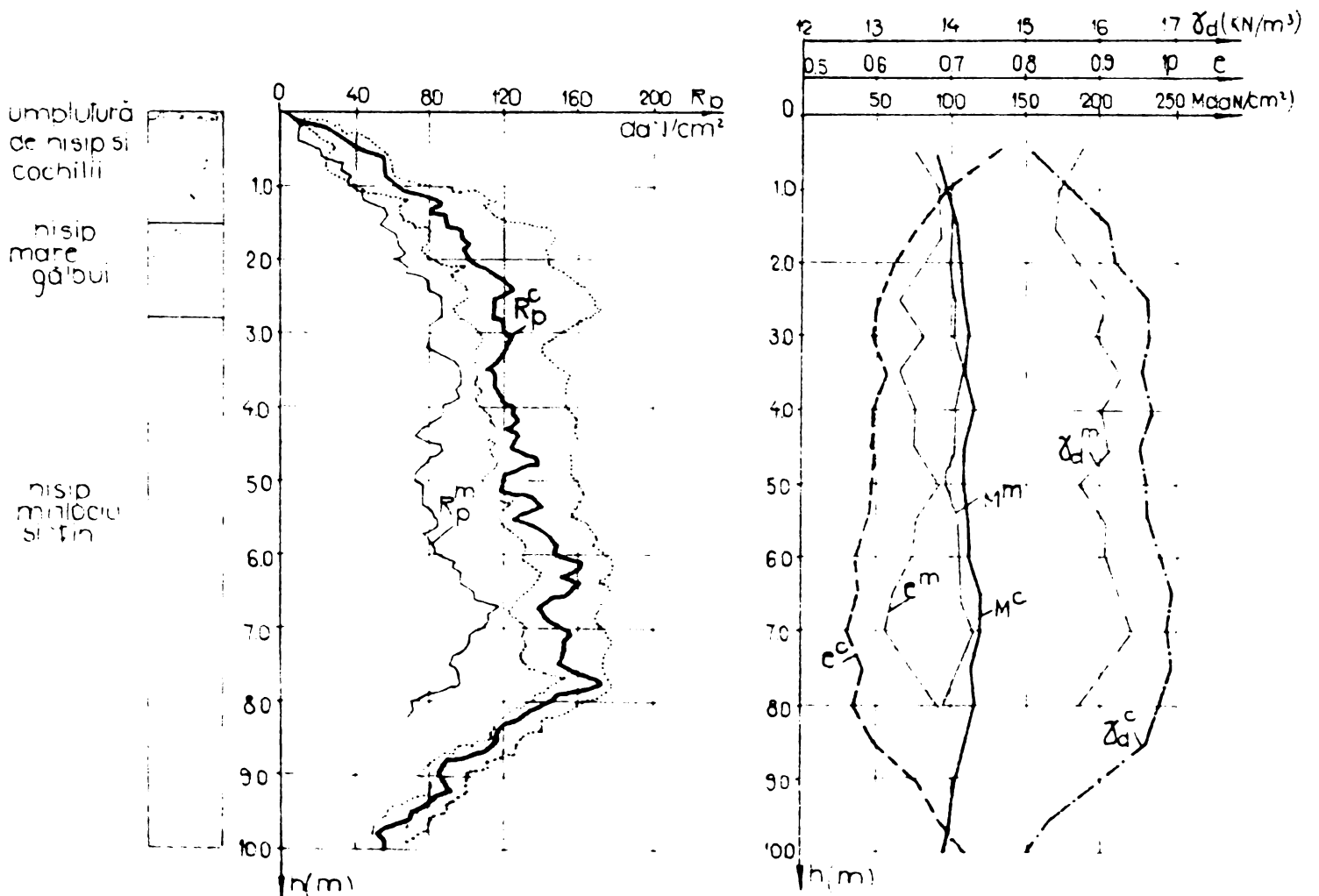


Fig.3.35. Diagrame de penetrare martor, control și variația unor caracteristici ale terenului - obiectiv "Cuptoare"

Pe amplasamentul obiectivului "Cuptoare", compactarea s-a efectuat cu coloane de balast realizate cu agregatul Franki. In fig.3.35 sînt prezentate diagrame de penetrare martor, R_p^m , diagrame de penetrare medie de control R_p^c și domeniul în care variază rezistența pe con R_p din sondajele de control, precum și diagramele de variație ale caracteristicilor sus menționate.

In fig.3.36 sînt prezentate diagramele corespunzătoare lucrărilor de testare pe amplasamentul "Estacada IV" unde compactările s-au efectuat tot cu coloane Franki, cu deosebirea că diagrama martor este comparată cu una din diagramele de control.

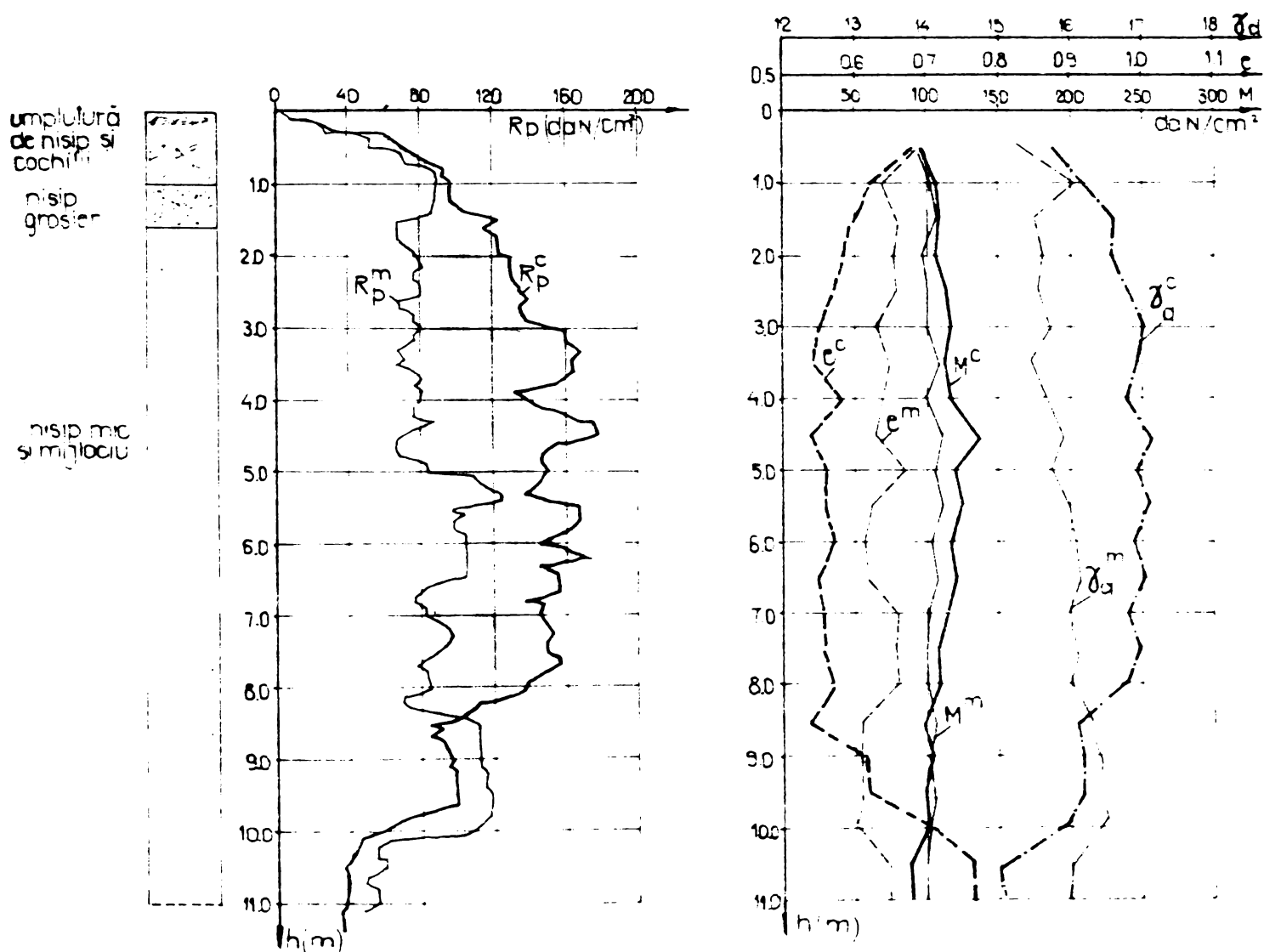


Fig.3.36. Diagrame de penetrare martor, control și variația unor caracteristici ale terenului - Obiectiv "Estacada IV"

Din compararea diagramelor de penetrare martor și control (fig.3.35 și 3.36) rezultă creșterea rezistenței de penetrare pe con cu cca 40-60 daN/cm², ceea ce duce la o majorare a capacității portante a terenului [95] cu cca 1,0-1,5 daN/cm².

Urmărind diagramele caracteristicilor terenului se observă variații mici în adîncime, ce denotă efectul destul de uniform al compactării, iar din compararea caracteristicilor martor cu cele de

control rezultă îmbunătățirea substanțială a terenului.

Testarea calității lucrărilor de consolidare de suprafață, executate prin batre cu maiuri grele sau prin compactare cu placa vibratoare montate pe vibroagregatul AVP-1 [134], s-a efectuat prin sondeaje de penetrare dinamică cu PDU. Numărul sondeajelor de penetrare martor, efectuate pe amplasamentul unui obiectiv, s-a stabilit în funcție de neomogenitatea terenului, iar numărul penetrărilor de control astfel ca la 100-300 mp de teren consolidat să revină o penetrare. Cu datele primare obținute s-au întocmit următoarele tipuri de diagrame:

- diagrame de penetrare pentru fiecare sondaj;
- diagrame de penetrare medii pentru un obiectiv sau pentru o zonă omogenă de pe amplasamentul obiectivului, fig.3.37;
- diagrame de penetrare medii și domeniul în care valoarea reală se înscrie cu o anumită probabilitate (fig.4.15).

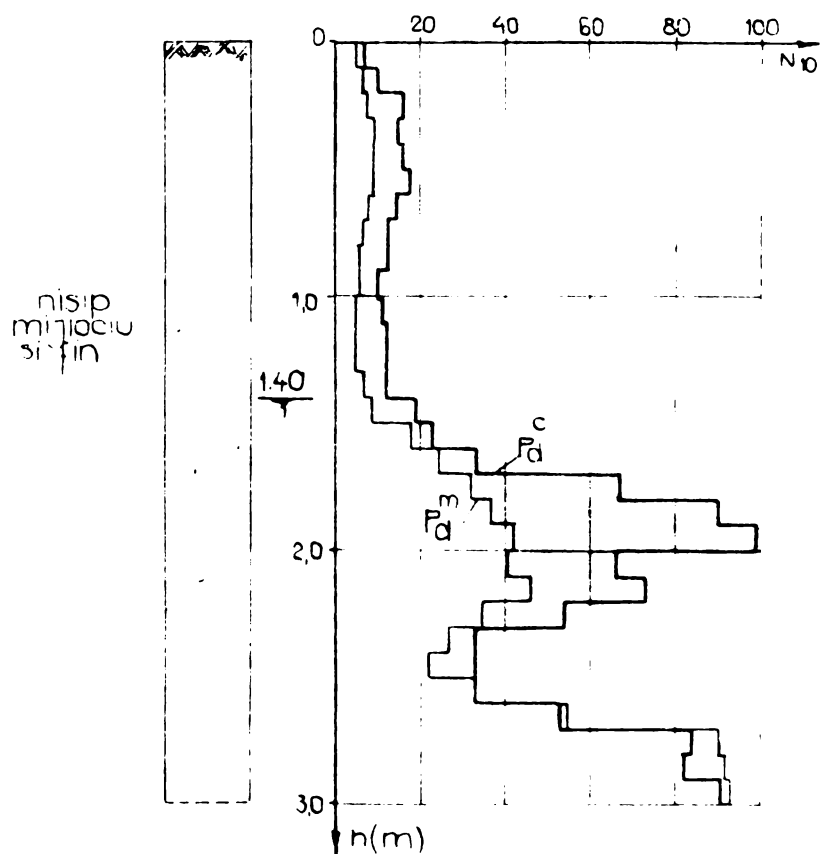


Fig.3.37. Testarea compactărilor de suprafață prin penetrare dinamică pământul a trecut din starea afînstă în starea de îndesare medie și între adâncimile 1,50-2,50 m din starea de îndesare medie în stare îndesată.

Diagramele de penetrare martor și control (fig.3.37) reprezintă diagrame medii obținute în urma sondeajelor efectuate pe un tronson experimental [133] unde compactarea de suprafață s-a efectuat cu placa prin cinci treceri consecutive. Din compararea diagramelor rezultă îmbunătățirea calitativă a terenului pînă la adîncimea de 2,50 m, iar în baza relației 2.55 și a corelației 4.28 rezultă că în partea superficială pînă la adîncimea de 1,50 m pământul a trecut din starea afînstă în starea de

3.5. Studii experimentale privind stabilirea corelației dintre penetrarea dinamică și penetrarea statică

Cercetări experimentale efectuate în paralel cu penetrometrul dinamic ușor PDU și penetrometrul static tip INCERC, în diverse categorii de pământuri, au permis stabilirea unor corelații între rezistența dinamică exprimată prin numărul de lovituri, N_{10} și rezistența pe con din penetrarea statică, R_p . Pentru stabilirea corelațiilor a fost necesară executarea unui număr mare de sondaje în aceeași categorie de teren.

Diagramele sondajelor de penetrare s-au studiat comparativ pentru a elimina din calcule valorile corespunzătoare adâncimii critice și efectul frecării pe coloana de tije a penetrometrului dinamic. În figurile 3.15 și 3.38 sînt prezentate diagramele de penetrare efectuate pe amplasamentul tronsonului experimental al canalului Dunărea-Marea Neagră, în pachete de prafuri argiloase.

In localitatea Lovrin din jud. Timiș, studiile efectuate au demonstrat existența unor pachete de prafuri argiloase nisipoase cu caracteristici foarte apropiate cu celea de pe tronsonul experimental al canalului ceea ce a permis utilizarea datelor de pe

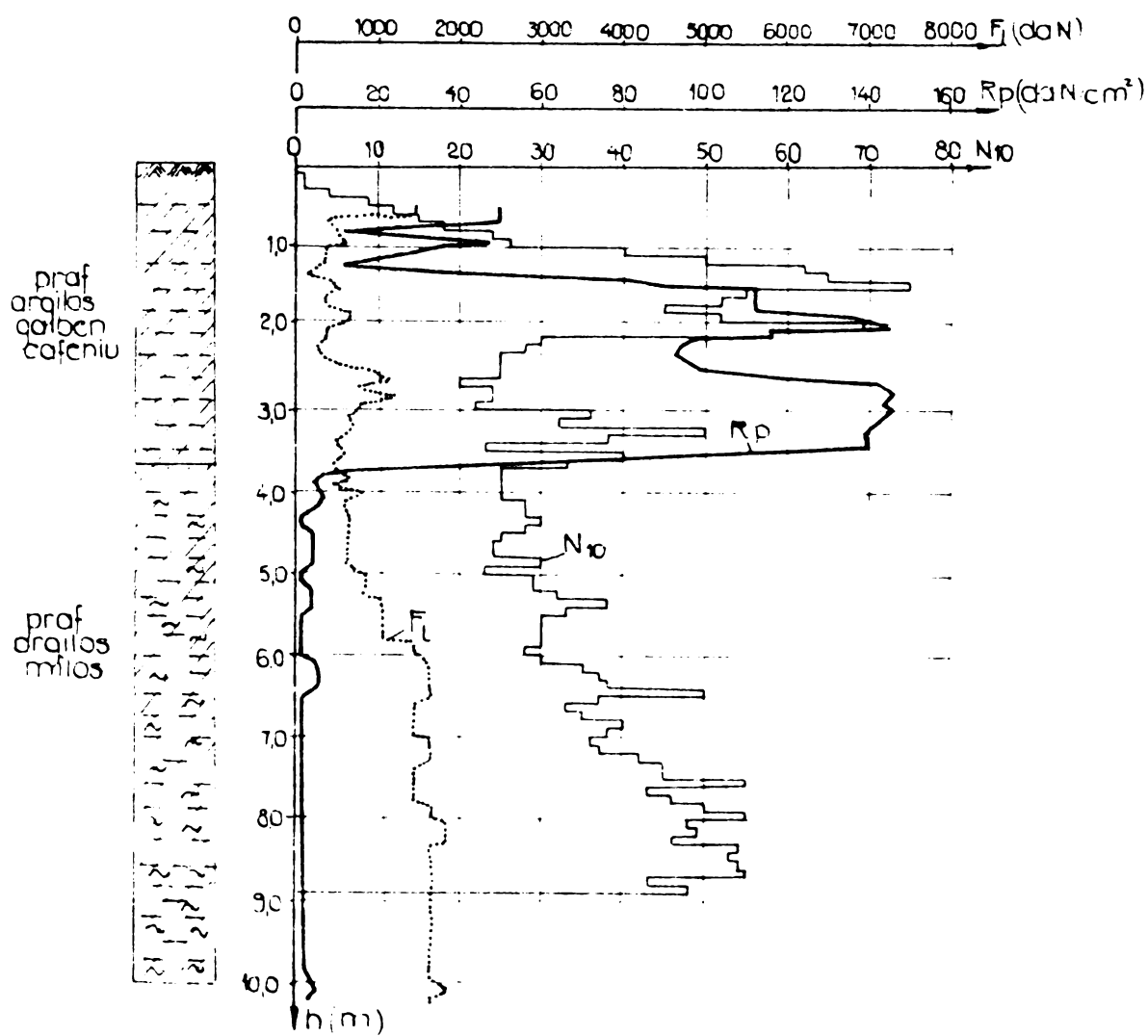


Fig.3.38. Diagrame de penetrare- Localitatea Agiea

cele două amplasamente, la prelucrările statistice pentru stabilirea corelației N_{10} , R_p pentru prafuri argiloase nisipoase. În figurile 3.39 și 3.40 sînt prezentate diagrame de penetrare statică și dinamică ale sondajelor executate pe amplasamentul unui siloz de cereale din localitatea Lovrin.

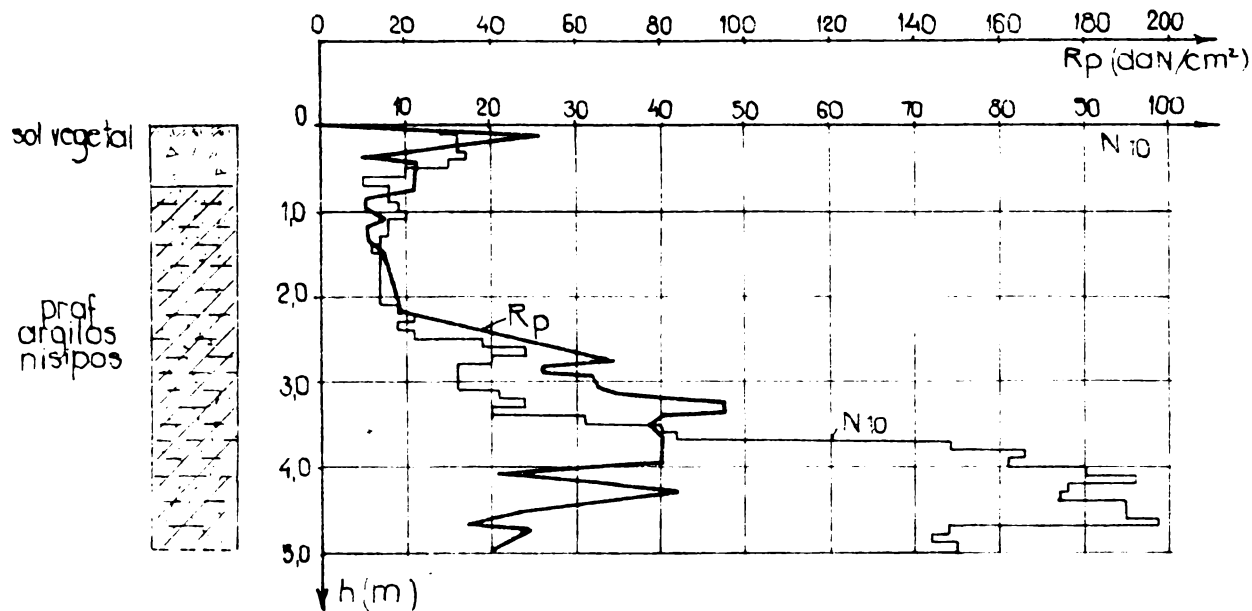


Fig.3.39. Diagrame de penetrare statică și dinamică - Lovrin
Influența frecării de la -3,50 m

Pe platforma experimentală de pe amplasamentul combinatului Petrochimic Năvodari, în celulele compactate prin diverse metode, testarea calității consolidărilor s-a efectuat prin sondaje de penetrare

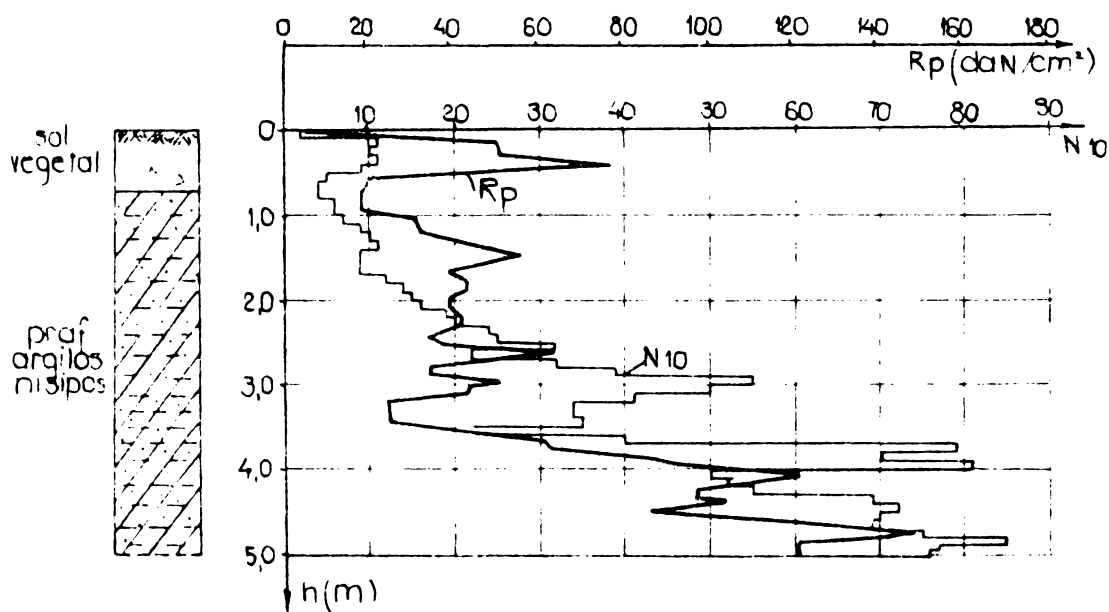


Fig.3.40. Diagrame de penetrare statică și dinamică Lovrin. Influența frecării de la -2,50 m

dinamică și statică. În acest scop s-au efectuat 31 sondaje de penetrare statică martor însumînd 266 ml, 20 sondaje de penetrare dinamică martor însumînd 151 ml, în terenul natural, 27 sondaje de penetrare statică de control (190 ml) și 23 sondaje de penetrare dinamică (176 ml) după efectuarea lucrărilor de consolidare [133]. În figurile 3.33 și 3.34 sînt prezentate diagrame de penetrare martor și control din două celule experimentale.

Penetrările martor s-au utilizat pentru stabilirea corelației dintre N_{10} și R_p pentru pachetele de nisipuri mijlocii și fine cu structura nederanjată, adică teren natural.

Pentru studiul influenței compactării nisipului cu coloane de balast asupra corelației N_{10} , R_p s-au utilizat datele sondașelor de penetrare de control efectuate în celulele compactate cu coloane de balast executate cu vibroagregatul AVP-1 [96]. În acest scop s-au prelucrat 13 sondașe de penetrare statică însumînd 71,0 ml și 7 sondașe de penetrare dinamică însumînd 56,0 ml.

Prelucrările statistice și corelațiile obținute sînt prezentate în capitolul 4.

3.6. Studii experimentale privind aprecierea capacității portante a piloților

Metodele generale teoretice, empirice și încercarea statică de probă oferă posibilitatea stabilirii capacității portante a piloților necesară în faza de proiectare și de verificare în timpul execuției. Se știe că dintre aceste metode cea mai sigură este încercarea statică. Durata acestor încercări și prețul de cost ridicat face ca numărul lor să fie limitat la strictul necesar (STAS 2561/2-75) putînd ca în fazele preliminare de proiectare sau cu ocazia verificărilor pe șantier să se folosească rezultatele încercărilor de penetrare.

Penetrometrul și în special cel static, așa cum s-a arătat la punctul 2.3.1.3. poate fi considerat un pilot cu diametru redus introdus în teren sub acțiunea unei forțe statice care mobilizează presiunea pe vîrfurile conului de penetrare și forța de frecare pe manta, reprezentînd prin analogie o încărcare directă pe pilot. Similitudinea este acceptată și în cazul penetrării dinamice standard sau cu con.

Problema principală care se pune cu această ocazie, neclarificată încă complet, constă în extrapolarea rezistenței la penetrare, în special cea pe con și a forței de frecare pe tije de la dimensiunile modelului la cele ale pilotului real.

O a doua problemă este aceea ca tipul, respectiv procedeul de înfigere a piloților să ducă la o solicitare a terenului similară cu cea produsă de penetrometru. Din acest punct de vedere, extrapolarea este posibilă pentru piloți prefabricați introduși prin batre sau pentru piloți executați pe loc prin batre (atît cămășuiala, cît și betonul).

În cadrul lucrărilor experimentale s-a considerat că extrapolarea rezultatelor penetrării este posibilă și pentru piloți executați pe loc cu tub de inventar recuperabil introdus prin vibropresare [75], [83], [130].

În cadrul unor lucrări de fundații pe piloți scurți executați prin vibropresare în municipiile Timișoara și Reșița s-au comparat rezultatele încercărilor statice de probă pe pilot cu capacitatea portantă determinată pe baza încercărilor de penetrare statică și dinamică cu con utilizând în special penetrometrul dinamic ușor. Sondajele de penetrare s-au executat la distanță de 1,0-2,0 m față de pilotul de probă.

În colaborare cu IPROTIM [75], [76] studiile privind aprecierea capacității portante prin penetrare s-au extins și asupra piloților prefabricați introduși prin batere sau vibrare.

O serie de aspecte privind aprecierea capacității portante a piloților prin metoda penetrării au fost expuse în lucrările [75], [76], [80]. Întrucât majoritatea relațiilor au fost stabilite pentru penetrarea statică, așa cum s-a arătat la punctele 2.3.1.3 și 2.3.2.4 capacitatea portantă a piloților, în cazul când pe amplasament s-au efectuat sondaje de penetrare dinamică, s-a apreciat cu aceste relații în care valorile R_p s-au calculat din valorile N_{10} pe baza corelațiilor indicate în tabelele 2.1 și 2.9.

Capacitatea portantă a piloților s-a apreciat cu metodele prezentate la punctul 2.3.1.3 care au servit la studii comparative în care valoarea de referință s-a considerat capacitatea portantă din încărcarea de probă [75]. Aceste metode sînt:

- metoda belgiană-olandeză (formula 2.42 respectiv 2.42 a);
- metoda Meyerhof (formula 2.43);
- metoda Trofimenkov (formula 2.47).

În cadrul metodei belgiană-olandeză calculul capacității portante a piloților s-a făcut diferențiat pentru două situații de stratificație și anume:

- cazul piloților introduși în pămînturi nisipoase de grosime apreciabilă, când presiunea pe vîrf, p_v corespunzătoare cu R_p s-a calculat cu relația 2.51 sau 2.52.

- cazul piloților introduși în straturi de pămînturi nisipoase de grosimi reduse urmate de pămînturi argiloase în stare de consistență scăzută când presiunea pe vîrf s-a calculat cu relația 2.53.

În cele ce urmează se vor prezenta câteva amplasamente pe care s-au efectuat studii experimentale pentru aprecierea capacității portante a piloților.

Folosind procedeul de executare a piloților la fața locului prin vibropresare cu tub de inventar [75], [80] în zona Balta Verde din Timișoara s-au executat peste 3000 de piloți cu și fără bulb, pentru construirea unui complex școlar.

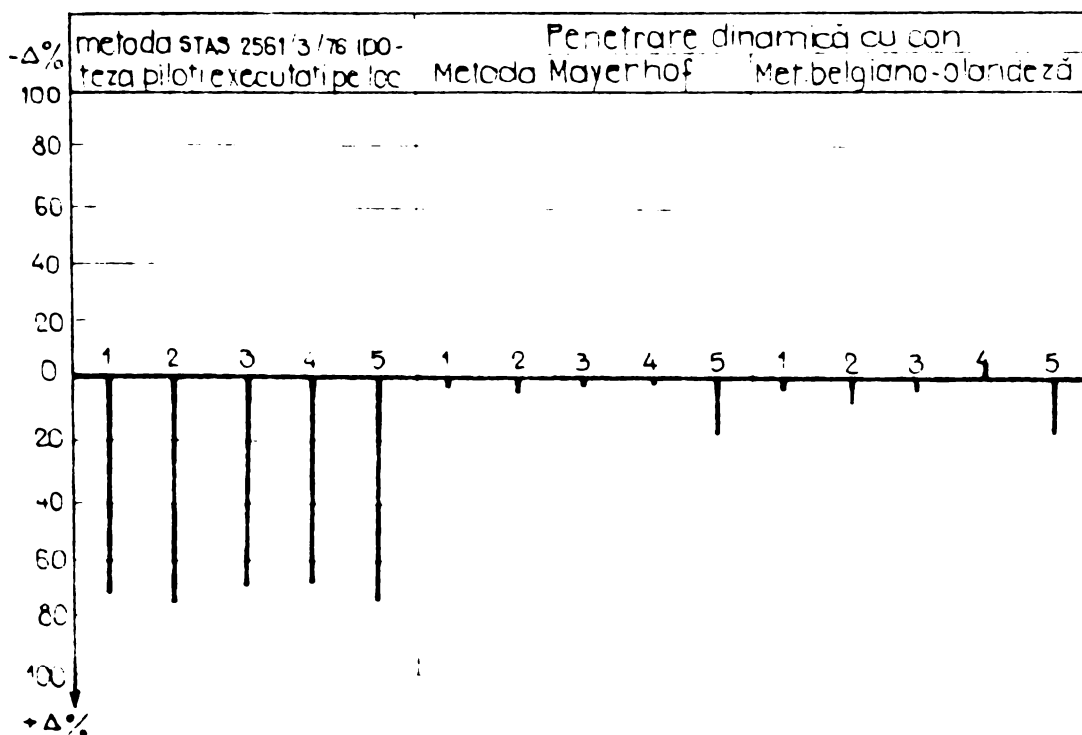
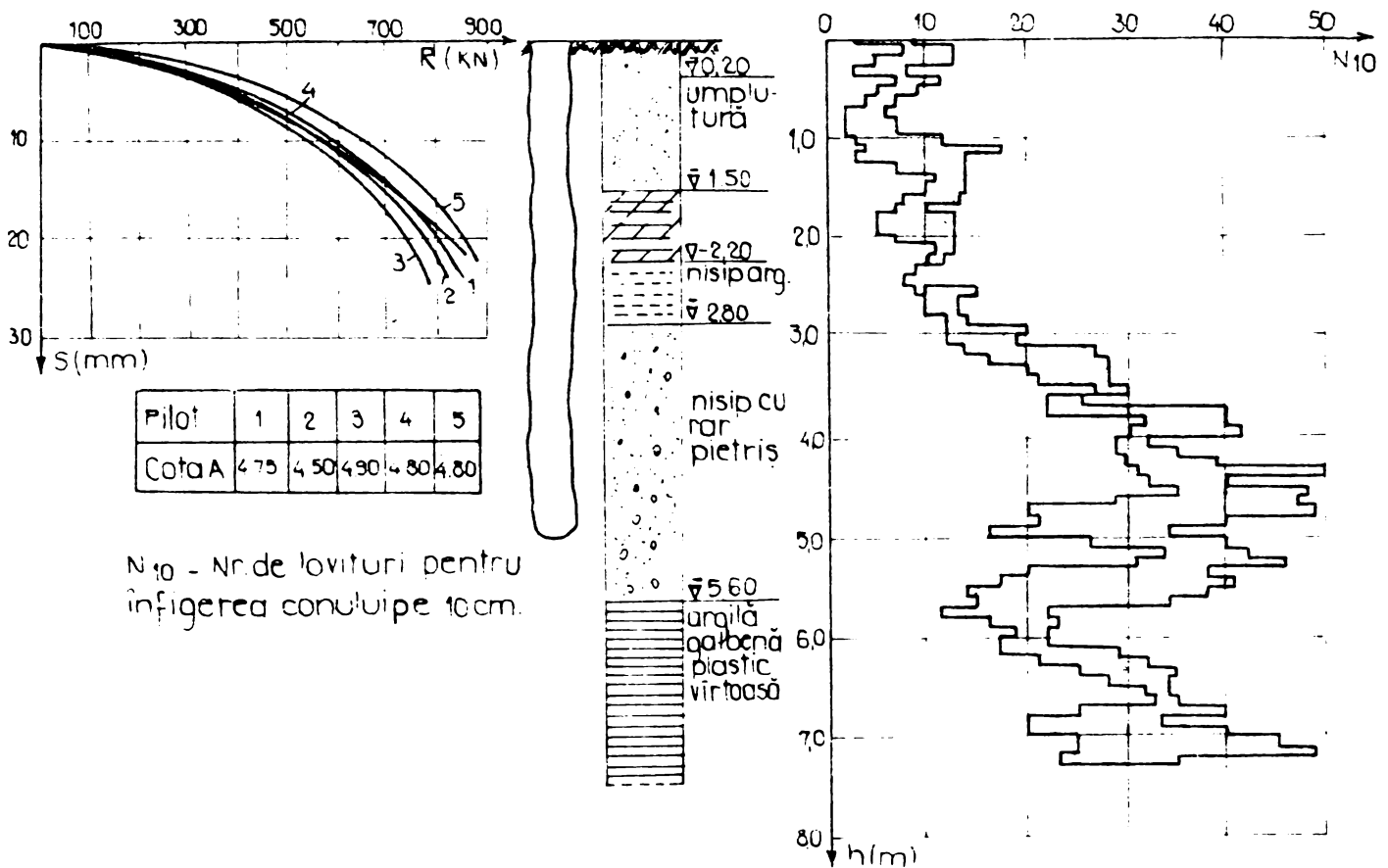


Fig.3.41. Piloți executați pe loc - Balta Verde Timișoara

Stratificația terenului pe amplasament constă din umpluturi sub care apar sedimente relativ recente formate din nisipuri fine mijlocii în alternanță cu argile de consistență mai scăzută, $I_0 = 0,5-0,6$. În această situație, piloții pot fi considerați ca piloți flotanți. Ape subterană se ridică la ora executării lucrărilor până la nivelul superior al umpluturii.

Pentru încercări de probă s-au folosit două tipuri de piloți turnați și anume: primul cu $\varnothing = 32,5$ cm și bulb $\varnothing = 55$ cm, iar al doilea fără bulb, dar cu diametru mai mare $\varnothing = 42,5$ cm, fișa acestora fiind variabilă de la 4,20 la 5,90 m. În fig.3.41 se prezintă diagrame încercărilor de probă pentru un set de 5 piloți $\varnothing = 42,5$ cm, limitele în care se înscriu diagramele de penetrare și tabelul cu abaterile procentuale ale valorilor capacității portante raportate la cea calculată din încercarea de probă.

În municipiul Reșița, pentru executarea unor blocuri de locuințe P+4 din panouri mari, s-au folosit, de asemenea piloți scurți turnați la fața locului prin vibropresare. Stratificația constă la suprafață din aluviuni fine reprezentate prin nisipuri prăfoase argiloase slab consolidate, afinate. Sub adâncimea de cca 2,0-2,5 m apar nisipurile cu pietriș și prundiș de grosime 2,0-3,0 m suprapuse rocii de bază (șisturi cristaline alterate).

Piloții de probă cu și fără bulb (fig.3.42) au fișa variabilă de la 3,30 la 3,85 m, iar încastrarea în stratul portant de 0,80 până la 1,85 m. De fiecare dată s-a atins refuzul la înfigerea tubului de inventar, în consecință piloții fiind purtători pe vîrf.

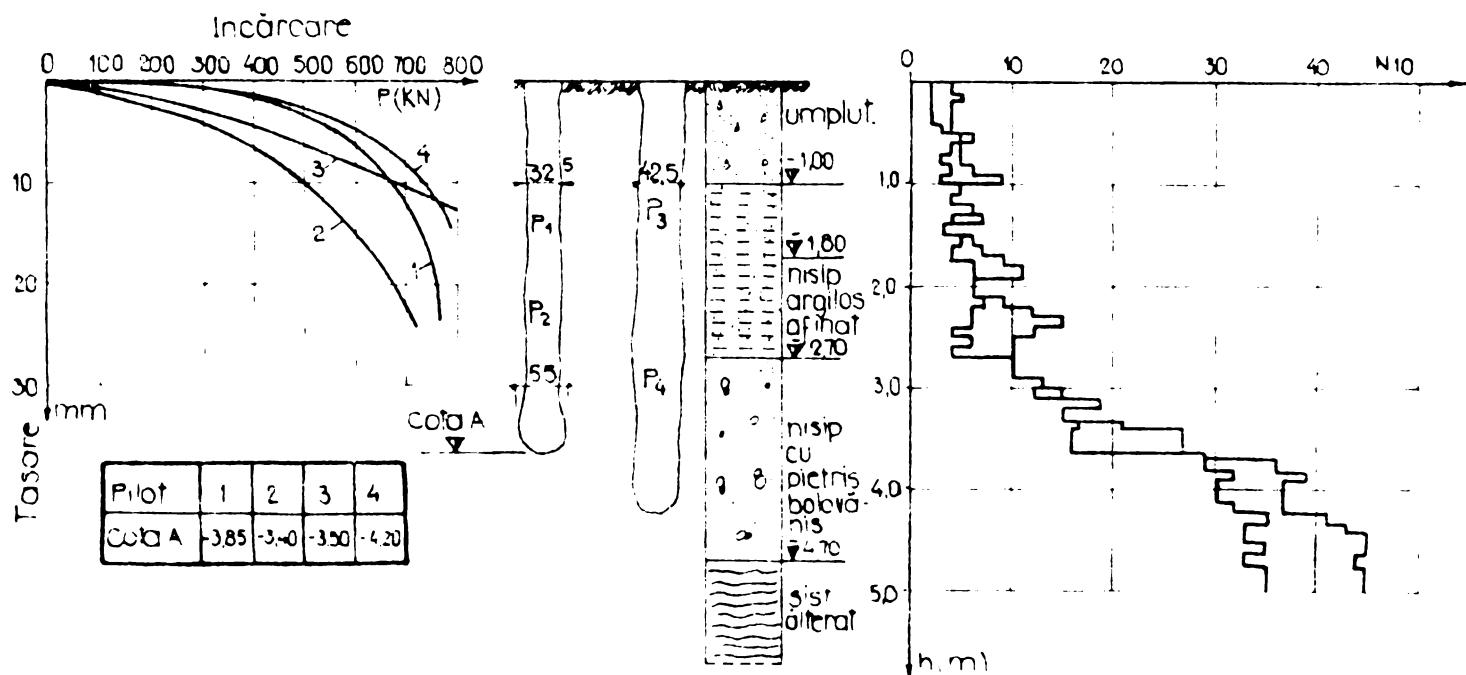


Fig.3.42. Piloți executați pe loc - blocuri de locuințe Reșița

În cadrul studiilor experimentale s-au efectuat diferite seturi de încercări care diferă între ele în funcție de amplasament, adică stratificația terenului, în modul de executare a pilotului (vibropresare, vibrare, vibropercuție) și de dimensiunile geometrice ale acestuia. În baza acestor studii s-au desprins următoarele aspecte [75], [77].

- Metode penetrării dinamice cu con se poate utiliza pentru aprecierea capacității portante a piloților scurți întrucât adâncimea sondajelor de penetrare în această situație este mică, respectiv pericolul influenței frecării pe coloana de tije este redus;

- La piloții scurți flotanți sau purtători pe vîrf majoritatea ecarturilor au fost cuprinse între $\pm 20\%$. Ecarturi importante pozitive s-au obținut în cazul piloților flotanți scurți introduși cu vîrf în argilă executați prin vibropresare;

- Din analiza rezultatelor obținute pentru capacitatea portantă a piloților scurți utilizînd rezultatele penetrării statice s-a constatat că ecarturile s-au situat între $+25\%$ și -25% .

În cazul cînd vîrfurile pilotului se găsesc într-un teren necoeziv afînat, ecarturile obținute sînt de regulă negative, capacitatea portantă a piloților de probă fiind mai mare din cauza îndesării pămîntului în imediata apropiere a piloților datorită tehnologiei de execuție.

Cînd piloții se găsesc într-un teren necoeziv cu grad de îndesare ridicat, ecarturile obținute au fost în majoritatea cazurilor pozitive.

Analizînd în ansamblu ecarturile obținute pentru capacitatea portantă calculată pentru piloți scurți turnați pe loc folosind rezultatele încercării de penetrare în raport cu capacitatea portantă a piloților de probă se reliefează posibilitatea utilizării rezultatelor penetrării și în cazul acestei categorii de piloți.

3.7. Aspecte generale cu privire la încercările experimentale

În cadrul prezentului capitol au fost expuse încercările de laborator și teren efectuate în scopul elucidării unor aspecte legate de cercetarea terenurilor "în situ" prin penetrare dinamică cu con, cu prezentarea concluziilor desprinse în urma studiilor experimentale efectuate. În cele ce urmează se vor semnala cîteva concluzii mai generale:

- Încercările de laborator efectuate pentru punerea în evidență a unor factori de influență au relevat o serie de aspecte de ordin calitativ și cantitativ.

Intrucît vasele în care s-au efectuat experiențele au fost de dimensiuni relativ reduse în multe cazuri concluziile desprinse au fost numai calitative, de altfel și ele foarte importante în problema interpretării sondajelor de penetrare.

- Efectuarea încercărilor în condiții controlate a permis obținerea unui volum important de date pe baza cărora s-au putut efectua preluorări statistice în vederea stabilirii unor corelații între rezistența pe con exprimată prin N_{10} și unele caracteristici ale terenului.

- Coroborarea experiențelor de laborator cu cele de teren efectuate în paralel cu alte investigații au facilitat confirmarea unor rezultate obținute la scară de laborator și relevarea unor aspecte suplimentare neelucidate din cauza efectului de scară.

- Sondaje de penetrare dinamică și statică efectuate în paralel cu lucrări clasice de investigație au furnizat date pe baza cărora s-au putut stabili corelații între N_{10} și unele caracteristici ale terenului și între N_{10} și R_p .

- La cercetarea terenurilor în adâncime în vederea elaborării studiilor geotehnice, sondajele de penetrare dinamică cu con se pot utiliza cu succes pentru reducerea volumului lucrărilor clasice de investigație în toate categoriile de teren care nu conțin fragmente mari. Astfel în cazul pământurilor necoezive metoda dă cele mai bune rezultate fiind posibilă interpretarea calitativă și cantitativă a datelor. În pământurile coezive penetrarea dinamică se utilizează pentru verificarea omogenității terenului pe amplasament și eventual pentru eprecierea consistenței straturilor superficiale unde în general nu se manifesta frecarea.

Calculul economic comparativ [79] au demonstrat că reducerea cu 50% a lucrărilor clasice de investigație și înlocuirea lor cu sondaje de penetrare dinamică cu con, duce la reducerea cheltuielilor cu cca 40%.

- Metoda penetrării dinamice poate fi utilizată la verificarea calității lucrărilor de consolidare de suprafață sau adâncime a terenurilor slabe de fundare, în special necoezive și la stabilirea adâncimii pînă la care se resimte influența consolidării.

- Sondajele de penetrare dinamică se pot utiliza pentru evaluarea capacității portante a piloților pe baza corelațiilor existente între N_{10} și R_p sau pentru verificarea capacității portante prin studii comparative cu diagrame de penetrare etalon construită pentru sondajul de penetrare efectuat în vecinătatea pilotului de probă.

CAPITOLUL 4

CONTRIBUTII PRIVIND APLICAREA PENETRARII DINAMICE
CU CON LA CERCETAREA TERENURILOR

Studiile și cercetările experimentale efectuate de autor în laborator și pe teren au avut drept scop aducerea unor contribuții pentru aplicarea generalizată în țara noastră a metodei de cercetare "in situ" a terenului de fundare prin sondaje de penetrare dinamică cu con. Ele au urmărit mărirea sferei de informații, asupra terenului cercetat, obținute pe baza datelor înregistrate la realizarea sondajului de penetrare, îmbunătățirea și perfecționarea aparaturii pentru a se trece la producția de serie a penetrometrelor, fără de care nu este posibilă generalizarea metodei.

Aspectele urmărite prin studiile efectuate sînt în concordanță cu elementele jalonate la Simpozionul european în problema testării prin penetrare, din iunie 1974, ținut la Stockholm și care preocupă cercetătorii din diverse țări în care se utilizează metoda penetrării la verificarea calității terenurilor de fundare naturale sau consolidate.

4.1. Contribuții privind prelucrarea rezultatelor
penetrării dinamice cu con

În capitolul 3 au fost prezentate aspecte din studiile experimentale efectuate de autor în laborator și pe teren pe baza cărora s-au desprins o serie de concluzii calitative, punctate în cadrul paragrafelor destinate diverselor aspecte și care au furnizat date pentru obținerea unor corelații prin prelucrări statistice.

Studiile efectuate în paralel prin metoda penetrării dinamice cu con și metodele clasice de investigație au servit la stabilirea unor corelații între rezistența de penetrare pe con exprimat prin N_{10} și unele caracteristici ale terenului, corelații cu valabilitate strict locală sau cu valabilitate mai largă.

Sondajele de penetrare dinamică cuplate cu cele de penetrare statică au permis obținerea unor date pe baza cărora s-au stabilit corelații între numărul de lovituri N_{10} și rezistența de penetrare pe con R_p , la unele categorii de terenuri.

4.1.1. Stabilirea dependenței dintre numărul de lovituri N_{10} și indicele de consistență, I_c respectiv modulul de deformare edometric M în cazul argilelor prăfoase din Timișoara

Studiile experimentale efectuate pe o serie de amplasamente din municipiul Timișoara de către catedra de Drumuri și Fundații, conform celor arătate în paragraful 3.3, completate cu date furnizate de IPROTIM [37], au facilitat stocarea unor date pe baza cărora a fost posibilă prelucrarea statistică pentru stabilirea corelațiilor dintre numărul de lovituri N_{10} - PDU și indicele de consistență, respectiv modulul de deformare edometric, pentru argilele prăfoase interceptate în straturile superioare (1,0-4,0 m).

Numărul de lovituri N_{10} și caracteristicile determinate în laborator sînt variabile afectate de erori aleatoare fiind caracterizate prin dependență stochastică.

În cele ce urmează se vor trata cîteva aspecte generale ale prelucrării statistice în cazul dependenței stochastice [93] urmînd să se particularizeze pentru stabilirea corelațiilor susmenționate.

Pentru studiul dependenței dintre două variabile, fiecare dintre ele fiind supusă la o împrăștiere aleatoare (împrăștiere necontrolată) s-a aplicat metoda de analiză a corelației, care studiază legea medie de comportare a fiecăreia dintre variabile în funcție de valorile celeilalte și măsura dependenței dintre variabilele considerate. Atașînd fiecărei valori a uneia dintre variabile, media valorilor corespunzătoare ale celeilalte se obține funcția de regresie, reprezentată grafic prin curba de regresie.

Corelația dintre mărimile x și y se numește liniară dacă ambele funcții de regresie sînt liniare. În acest caz curbele de regresie sînt drepte. Pantele acestor drepte se exprimă prin coeficientul de corelație, care este măsura dependenței liniare dintre mărimile x și y .

Dreapta de regresie a lui y asupra lui x , respectiv a lui x asupra lui y se determină cu relațiile:

$$y - b = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (x - a) \quad (4.1)$$

$$x - a = r \frac{\sigma_x}{\sigma_y} (y - b) \quad (4.2)$$

unde, $a = M_x$ și $b = M_y$ sînt centrele repartițiilor variabilelor x și y , iar σ_x^2 și σ_y^2 dispersiile lor.

Coeficientul de corelație ρ este dat de relația:

$$\rho = \frac{1}{\sigma_x \sigma_y} M(xy) - M_x M_y \quad (4.3)$$

Estimațiile nedepasate și consistente ale valorilor medii teoretice a și b sînt valorile medii empirice:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (4.4)$$

Estimațiile nedepasate și consistente ale dispersiilor σ_x^2 și σ_y^2 sînt dispersiile empirice:

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\bar{x})^2 n \right] \quad (4.5)$$

$$s_y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\bar{y})^2 n \right]$$

Coeficientul empiric de corelație este dat de relația:

$$r = \frac{1}{s_x s_y} \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \frac{1}{s_x s_y} \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n x_i y_i - \bar{x} \bar{y} n \right] \quad (4.6)$$

În relația 4.6 se notează cu M , definit ca momentul empiric de corelație, termenul

$$M = \frac{1}{n-1} \left[\sum m x_i y_i - \bar{x} \bar{y} n \right] \quad (4.7)$$

în care m reprezintă numărul valorilor asemenea.

Semnificația coeficientului de corelație se verifică cu inegalitatea,

$$H = |r| \sqrt{n-1} \geq H_{cr} \quad (4.8)$$

unde H_{cr} este valoarea critică [93] pentru nivelul de încredere \mathcal{P} impus.

Pe baza rezultatului experimentului, parametrii ecuațiilor 4.1 și 4.2 se estimează cu ajutorul formulelor 4.4, 4.5 și 4.6. Aceste estimații determină dreptele de regresie empirice care au ecuațiile.

$$y - \bar{y} = r \frac{s_y}{s_x} (x - \bar{x}) \quad (4.9)$$

$$x - \bar{x} = r \frac{s_x}{s_y} (y - \bar{y}) \quad (4.10)$$

unde:

$$b_{y/x} = r \frac{s_y}{s_x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n(\bar{x})^2} \quad (4.11)$$

$$b_{x/y} = r \frac{s_x}{s_y} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^n y_i^2 - n(\bar{y})^2} \quad (4.12)$$

$b_{y/x}$ este coeficientul de regresie empiric a lui y asupra lui x respectiv $b_{x/y}$ este coeficientul de regresie a lui x asupra lui y .

Dacă ecuația dreptei teoretice de regresie se scrie sub forma:

$$y = b + \beta_{y/x}(x - a) \quad (4.13)$$

atunci limitele de încredere pentru parametrul b sînt

$$\bar{y} \pm t \sqrt{\frac{n-1}{n-2}} \frac{s_y}{\sqrt{n}} \sqrt{1-r^2} \quad (4.14)$$

iar pentru coeficientul de regresie $\beta_{y/x}$:

$$b_{y/x} \pm t \frac{s_y \sqrt{1-r^2}}{s_x \sqrt{n-2}} \quad (4.15)$$

unde valorile factorului $t = t(\mathcal{P}, k)$ sînt corespunzătoare repartiției Student pentru numărul de grade de libertate $k=n-2$ [93].

Pentru verificarea ipotezei de liniaritate se calculează:

$$F = \frac{\frac{1}{1-2} \sum_{j=1}^l m_j \left[\bar{y} |_{x_j} - \bar{y} - r \frac{s_y}{s_x} (x_j - \bar{x}) \right]^2}{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^l (m_j - 1) s_{y|x_j}^2} \quad (4.16)$$

și se compară cu valoarea critică a acestui raport, determinată din tabel [93] pentru $k_1 = 1-2$ și $k_2 = n-1$. Dacă valoarea calculată a raportului (4.16) depășește valoarea critică pentru un anumit \mathcal{P} , atunci cu nivelul de încredere \mathcal{P} se respinge ipoteza privind caracterul de liniaritate al dependenței y față de x . În caz contrar ipoteza este acceptată.

În relația (4.16), l reprezintă numărul de intervale ($l \geq 3-10$) în care se împarte întreaga gamă de valori măsurate ale variabilei x . Pentru fiecare interval de rang j cu centrul în punctul x_j se calculează media aritmetică condiționată $\bar{y} |_{x_j}$ și dispersia empirică condiționată $s_{y|x_j}^2$ cu ajutorul formulălor:

$$\bar{y}|x_j = \frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^{m_j} y_{ij} \quad (4.17)$$

$$s_{y|x_j}^2 = \frac{1}{m_j-1} \sum_{i=1}^{m_j} (y_{ij} - \bar{y}|x_j)^2 \quad (4.18)$$

unde m_j este numărul de puncte (x_{ij}, y_{ij}) ale căror abscise au căzut în cel de al j -lea interval.

Corelația stabilită între două variabile prin dreapta de regresie a lui y asupra lui x respectiv a lui x asupra lui y se afectează cu abaterile medii pătratice corespunzătoare, calculate cu relațiile:

$$s_y^* = \sqrt{\frac{\sum m y_i^2}{n} - \bar{y}^2} \quad (4.19)$$

$$s_x^* = \sqrt{\frac{\sum m x_i^2}{n} - \bar{x}^2} \quad (4.20)$$

Argila prăfoasă cu caracteristicile menționate în tabelul 1.7 este situată în nord, nord-vestul municipiului Timișoara și formează terenul de fundare din zona respectivă. Intrucît acest strat se găsește la adîncime mică, unde forțele de frecare pe coloane de tije se manifestă numai în condițiile unei consistențe foarte scăzute, a fost posibilă utilizarea rezultatelor sondajului de penetrare dinamică pentru corelarea cu rezultate obținute în laborator. În acest sens, studiile s-au efectuat pentru determinarea indicelui de consistență I_c și a modulului de deformație edometric, M pe baza de N_{10} .

Prelucrările statistice s-au efectuat cu datele obținute conform celor arătate la punctele 3.3.1 și 3.3.2.3.

Pentru stabilirea corelației I_c , N_{10} s-au utilizat rezultatele de laborator și de teren extrase din 23 studii geotehnice. Valoarea indicelui de consistență s-a stabilit ca medie a 2-3 determinări, iar N_{10} , media a cinci valori înregistrate în dreptul cotei de la care s-a prelevat proba și la cîte 20 cm deasupra și sub această cotă.

În tabelul 4.1 sînt prezentate datele necesare prelucrării statistice pe baza cărora s-au calculat ecuațiile drepte de regresie care exprimă corelația dintre numărul de lovituri N_{10} și indicele de consistență I_c . Calculele sînt redată sintetic în tabelul 4.2.

Tabelul 4.1.

In-ter-val	N_{10} x_i	I_o y_i	m	mx_i^2	my_i^2	$mx_i y_i$	$\bar{y} x_j$	x_j	$\bar{y} x_j - \bar{y}$	$x_j - \bar{x}$
1	3	0,53	1	9	0,2809	1,59	0,5966	4,6666	-0,1379	-7,3158
	5	0,57	1	25	0,3249	2,85				
	5	0,60	2	50	0,7200	6,00				
	5	0,64	2	50	0,8192	6,40				
2	6	0,57	2	72	0,6498	6,84	0,6283	6,1666	-0,1062	-5,8158
	6	0,67	3	108	1,3467	12,06				
	7	0,62	1	49	0,3844	4,34				
3	8	0,56	1	64	0,3036	4,48	0,7028	8,5714	-0,0317	-3,4110
	8	0,71	2	128	1,0082	11,36				
	9	0,68	1	81	0,4624	6,12				
	9	0,74	2	162	1,0952	13,32				
	9	0,78	1	81	0,6084	7,02				
4	10	0,60	2	200	0,7200	12,00	0,6866	10,5555	-0,0479	-1,4269
	10	0,70	1	100	0,4900	7,00				
	10	0,80	1	100	0,6400	8,00				
	11	0,67	3	363	1,3467	22,11				
	11	0,72	1	121	0,5184	7,92				
	11	0,75	1	121	0,5625	8,25				
5	12	0,71	2	288	1,0082	17,04	0,7477	13,2222	0,0132	1,2398
	12	0,75	1	144	0,5625	9,00				
	13	0,66	1	169	0,4365	8,58				
	14	0,75	3	588	1,6875	31,50				
	14	0,77	1	196	0,5929	10,78				
	14	0,88	1	196	0,7744	12,32				
6	15	0,72	1	225	0,5184	10,80	0,8116	15,0000	0,0771	3,0176
	15	0,77	1	225	0,5929	11,55				
	15	0,83	2	450	1,3778	24,90				
	15	0,86	2	450	1,4792	25,80				
7	16	0,71	1	256	0,5041	11,36	0,7866	1,6333	0,0521	4,3509
	16	0,72	1	256	0,5184	11,52				
	16	0,78	1	256	0,6084	12,48				
	16	0,82	1	256	0,6724	13,12				
	17	0,78	1	289	0,6084	13,26				
	17	0,91	1	289	0,8281	15,47				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	18	0,89	2	648	1,5842	32,04	0,8875	19,5000	0,1530	7,5176
	18	0,93	1	324	0,8649	16,74				
	19	0,87	1	361	0,7569	16,53				
	20	0,96	1	400	0,9216	19,20				
	21	0,84	2	882	1,4112	35,28				
	21	0,88	1	441	0,7744	18,48				
Total	-	-	57	9243	31,3737	525,41	$\sum mx_i = 683 ; \sum ny_i = 41,87$			

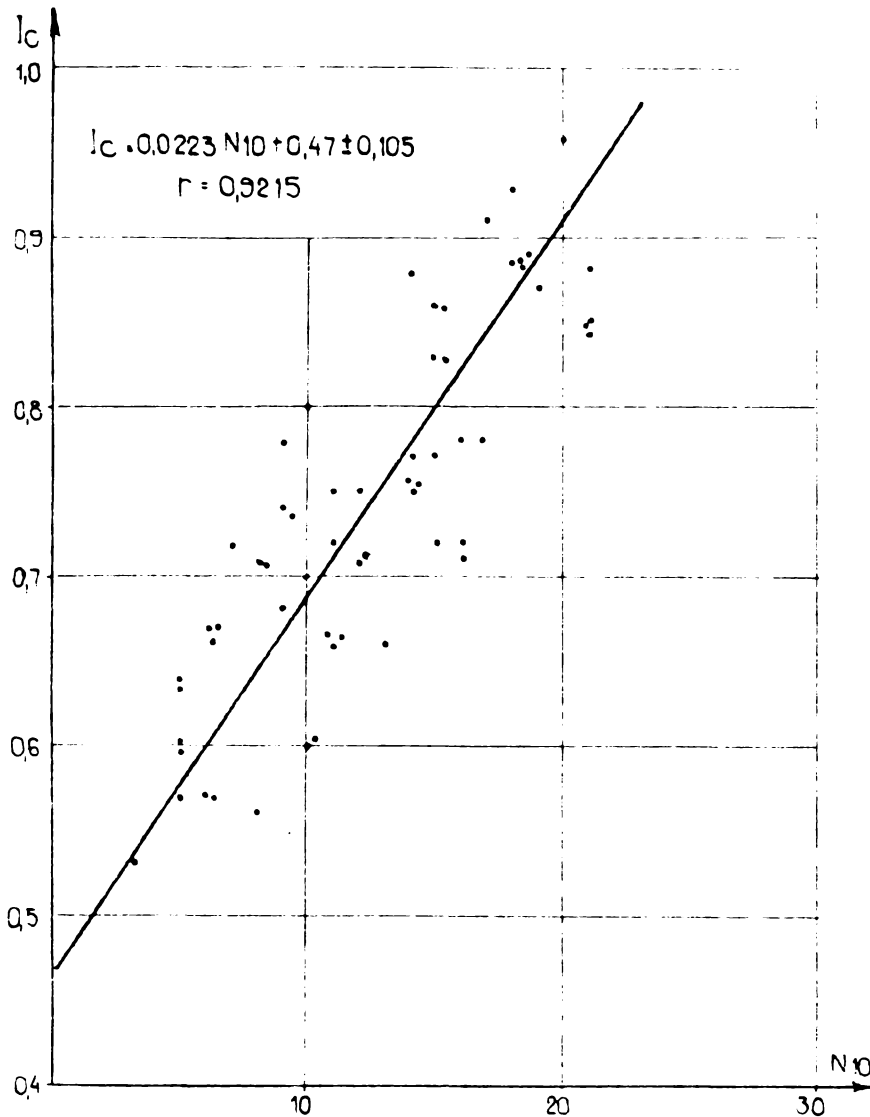
Tabelul 4.2.

Mărimi de calcul	Notație	Valoarea calculată	Observații
1	2	3	4
Valori medii empirice	\bar{x}	11,9824	Rel.4.4.
	\bar{y}	0,7345	
Dispersii empirice	s_x^2	18,9117	Rel.4.5.
	s_y^2	0,0112	
Abateri medii empirice	s_x	4,3487	
	s_y	0,1058	
Moment empiric de corelație	M	0,4241	Rel.4.7
Coefficient empiric de corelație	r	0,9215	Rel.4.6
Abateră medie patratică	s_y^*	0,1048	Rel.4.19
Verificarea intervalului de încredere	$H \geq H_{cr}$	6,9571 > 3,183	$H_{cr} \rightarrow$ Rel.4.8 $H_{cr} \rightarrow n=57; \rho=0,999$
Verificarea ipotezei de liniaritate	$F \leq F_{cr}$	1,9032 < 2,29	$F_{cr} \rightarrow$ Rel.4.16 $F_{cr} \rightarrow k_1=6, k_2=49, \rho=0,95$
Intervalul de încredere pentru b	-	0,7345 ± 0,0109	Rel.4.14
Intervalul de încredere pentru $\beta_{y/x}$	-	0,0223 ± 0,0024	Rel.4.15
Ecuatia dreptei de regresie	$y = f(x)$	$y = 0,0223x + 0,4673$	Rel.4.9

Corelația dintre indicele de consistență și numărul de lovituri N_{10} se obține din ecuația dreptei de regresie afectată cu abaterea medie patratică, în care pentru simplificarea calculului se rotunjesc valorile termenilor, obținind :

$$I_c = 0,0223 N_{10} + 0,47 \pm 0,105 \quad (4.21)$$

În figura 4.1. este prezentată dreapta de regresie cu ajutorul căreia, cunoscând numărul de lovituri N_{10} se poate aprecia indicele de consistență.



Față de criteriile stabilite de IPROTIM (tab.1.7) pentru aceeași argilă, corelația (4.21) dă valori foarte apropiate; dacă se consideră ipoteza defavorabilă, scăzând valoarea abaterii medii pătratice, se obțin valorile prezentate în tabelul 4.3.

În tabelul 1.8. este prezentată corelația dintre indicele de consistență și numărul de lovituri N_{10} pentru penetrometrul dinamic ușor utilizat în Bulgaria [107], la care lucrul mecanic specific pe suprafața

Fig.4.1. Dreapta de regresie I_c, N_{10} pentru conului este de două ori mai mare decât la argila prăfoasă din municipiul Timișoara penetrometrul PDU utilizat de autor.

În baza corelațiilor stabilite de Melzer [58] rezultă că între numărul de lovituri N_{10} sau N_{20} și lucrul mecanic specific există proporționalitate ceea ce permite compararea valorilor calculate cu relația 4.21 cu cele din tabelul 1.8 în care se dublează numărul de lovituri. De asemenea se consideră caracteristicile argilei prăfoase încadrate între cele ale argilei și argilei nisipoase.

Din analiza valorilor comparate în tabelul 4.3. rezultă valori apropiate ale indicelui de consistență determinat după cele trei criterii.

Tabelul 4.3.

Numărul de lovituri N_{10}	Indicele de consistență I_c		
	Rel. 4.21	Criterii IPROTIM tab.1.7	Criteriu Bulgaria tab.1.8
7	0,51	0,50	-
10	0,58	-	0,50
14	0,68	-	0,75
15	0,70	0,75	-
24	0,90	-	1,0
25	0,96	1,0	-

Pentru stabilirea corelației dintre modulul de deformație edometric, M și numărul de lovituri N_{10} s-au utilizat datele obținute în urma cercetării, pe 19 amplasamente din municipiul Timișoara, a terenului de fundare prin sondeaje de penetrare dinamică cu con în paralel cu metodele clasice de investigație. Valorile de calcul s-au determinat în mod asemănător ca la stabilirea corelației I_c , N_{10} . Pentru obținerea unui coeficient de corelație ridicat bazat pe metoda firelor întinse [93], modulul edometric s-a corelat cu logaritmul numărului de lovituri N_{10} , obținându-se în acest fel dreapta de regresie în scară semilogaritmică.

În tabelul 4.4. se prezintă în mod sintetic calculele efectuate pentru obținerea corelației M , $\log N_{10}$; coordonatele punctelor rezultă din figura 4.2.

Tabelul 4.4.

Mărime de calcul	Notăție	Valoarea calculată	Observații
1	2	3	4
Abscisa punctului i	$\log x_i = \log N_{10i}$	-	Valorile rezultă din fig.4.2.
Ordonata punctului i	$y_i = M_i$	-	
Numărul punctelor	n	63	
Numărul punctelor egale	m	-	
Mărimi intermediare de calcul	$m(\log x_i)^2$	69,0234	
	$m y_i^2$	344,2630	
	$m y_i \log x_i$	4854,6281	
Valori medii empirice	\bar{x}	1,0332	rel.4.4
	\bar{y}	72,6507	

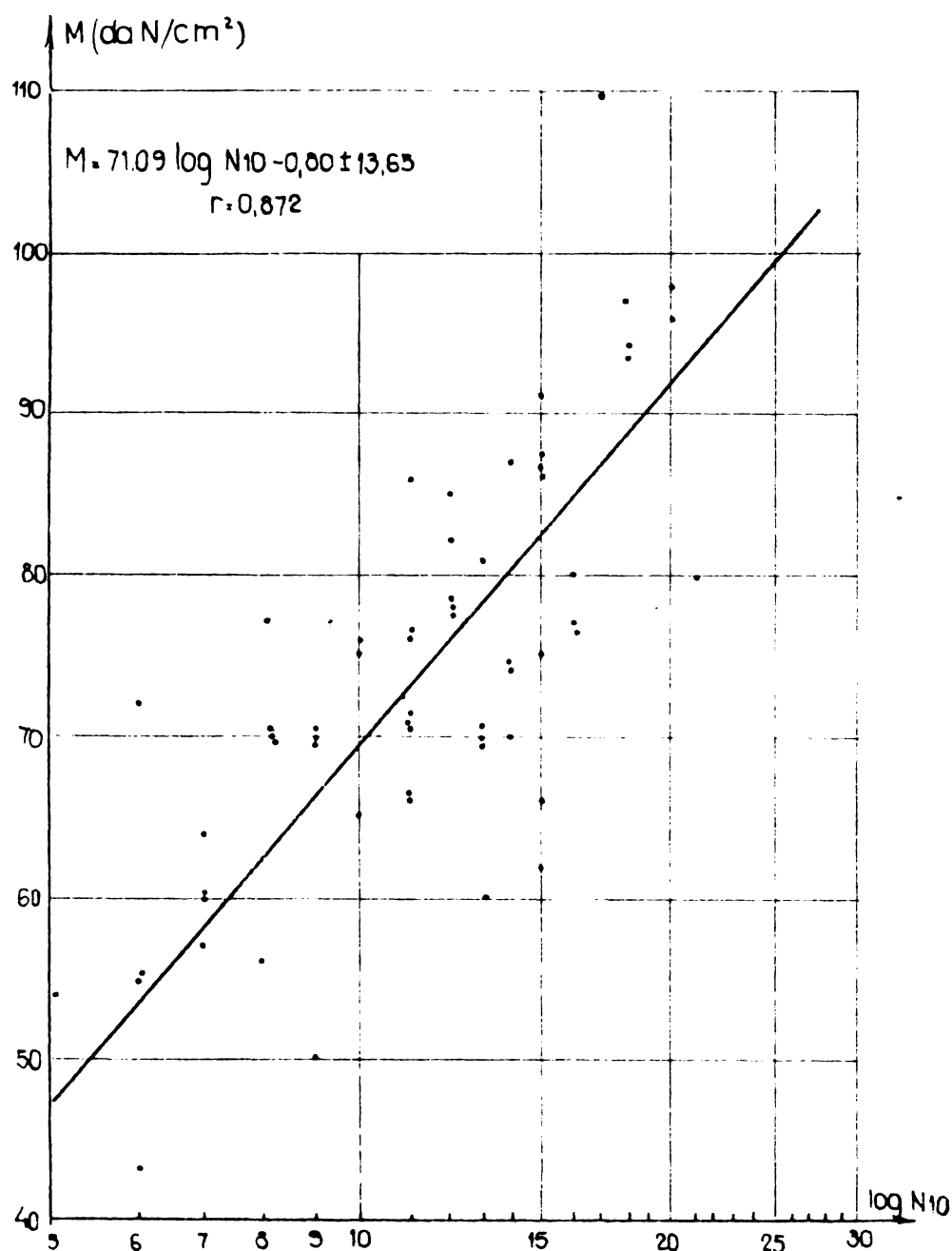
1	2	3	4
Dispersii empirice	s_x^2	0,0284	Rel.4.5
	s_y^2	189,3737	
Abateri standard empirice	s_x	0,1688	
	s_y	13,7613	
Moment empiric de corelație	M	2,0270	Rel.4.7
Coefficient empiric de corelație	r	0,8720	Rel.4.6
Abateri medie pătratică	s_y^*	13,6516	Rel.4.19
Verificarea intervalului de încredere	$H \geq H_{cr}$	6,9571 > 3,183	H → rel.4.8 $H_{cr} \rightarrow n=63$ $\mathcal{P}=0,999$
Verificarea ipotezei de liniaritate	$F \leq F_{cr}$	2,9756 < 3,18	F → rel.4.16 $F_{cr} \rightarrow k_1=6$ $k_2=55$ $\mathcal{P}=0,99$
Intervalul de încredere pentru b	—	72,6507 ± 1,71	Rel.4.14
Intervalul de încredere pentru $\beta_{y/x}$	—	71,0888 ± 10,3037	rel.4.15
Ecuația dreptei de regresie	$y=f(x)$	$y=71,0888x-0,7982$	Rel.4.9
Corelația M log. N_{10}	$M=f(\log N_{10}) \pm s_y^*$	$M=71,0888 \log N_{10} - 0,7982 \pm 13,6516$	Rel.4.22

Pentru ușurarea calculului, coeficienții corelației(4.22) se rotunjesc și se obține:

$$M = 71,09 \log N_{10} - 0,80 \pm 13,65 \quad (4.22 a)$$

Dreapta de regresie corespunzătoare corelației este prezentată în fig.4.2.

Din cele prezentate la punctul 2.3.2.2. B rezultă că majoritatea cercetătorilor au studiat corelația dintre modulul de deformație edometric și numărul de lovituri N_{10} sau N_{20} pentru pământurile nisipoase. Corelațiile stabilite în Bulgaria pentru argile și argile nisipoase dau valori apropiate de cele stabilite cu corelația (4.22 a) în domeniul $N_{10} \leq 12$ lov/10 cm după care se îndepărtează dând valori mai mari.



Corelațiile obținute de autor pentru indicele de consistență și modulul de deformație edometric în funcție de numărul de lovituri N_{10} PDU, au caracter local, ele putând fi extinse și pentru alte zone cu același tip de pământ, după efectuarea unor verificări comparative cu valori determinate pe probe prelevate.

Fig.4.2.Dreapta de regresie M, $\log N_{10}$ pentru argila prăfoasă din municipiul Timișoara

4.1.2. Stabilirea dependenței dintre gradul de îndesare I_D și numărul de lovituri N_{10} , la nisipuri mijlocii și fine

Experiențele efectuate în condiții de laborator în cadrul studiilor pentru evidențierea influenței unor factori (paragr. 3.2.) au furnizat o serie de date în baza cărora prin prelucrare statistică s-a stabilit dependența dintre I_D și N_{10} . Experiențele s-au efectuat în vasul metalic umplut cu nisip de granulometria 1 (fig.3.3), cu penetrometrul PDL3, în cadrul studiului influenței gradului de îndesare asupra rezultatelor penetrării (pct.3.2.2),

a influenței adâncimii (punctul 3.2.3) și a influenței succesiunii straturilor (punctul 3.2.6). În toate cazurile s-a cunoscut gradul de îndesare și s-a determinat numărul de lovituri corespunzător, care este semnificativ numai după depășirea adâncimii critice. Pentru stabilirea unei dependențe liniare s-a aplicat metoda firelor întinse [93] prin reprezentarea punctelor în scară dublu logaritmică, iar pentru ușurarea calculului s-a utilizat valoarea procentuală a gradului de îndesare care a făcut posibilă eliminarea din calcul a caracteristicii negative corespunzătoare logaritmului numerelor subunitare.

Ecuția generală a funcției liniare este:

$$y - \bar{y} = a(x - \bar{x}) \quad (4.23)$$

în care parametrul a se determină prin metoda celor mai mici pătrate, cu relația:

$$a = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\overline{x^2} - (\bar{x})^2} \quad (4.24)$$

unde \bar{x} și \bar{y} se calculează cu relațiile (4.4) iar

$$\overline{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad (4.25)$$

$$\overline{x^2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad (4.26)$$

În tabelul 4.5 este prezentat în mod sintetic calculul pentru stabilirea funcției $\log I_d\% = f(\log K_{10})$ în baza punctelor din fig. 4.3.

Tabelul 4.5.

Mărimi de calcul	Notăție	Valoare calculată	Observații
1	2	3	4
Abscisa punctului i	$x_i = \log I_d\%$	-	Valorile rezultă din fig. 4.3
Ordonata punctului i	$y_i = \log K_{10}$	-	
Numărul punctelor	n	57	
Valori medii empirice	\bar{x}	1,5908	Rel. 4.4
	\bar{y}	1,1061	
Mărimi intermediare de calcul	\overline{xy}	1,6694	Rel. 4.25
	$\overline{x^2}$	2,5915	Rel. 4.26
Parametrul funcției	a	1,8045	Rel. 4.24

1	2	3	4
Abateră medie pătratică	s_x^*	0,2467	Rel.4.19
	s_y^*	0,4489	Rel.4.20
Ecuația dreptei	$y = f(x)$	$\log N_{10} = 1,8045 \log I_D\% - 1,7644$	Rel.4.23.
	$x = f(y)$	$\log I_D\% = 0,5541 \log N_{10} + 0,9777$	Rel.4.27

Dependența dintre gradul de îndesare și numărul de lovituri N_{10} , stabilită prin prelucrarea statistică, se obține din ecuația 4.27 prin atașarea abaterii medii pătratice și prin rotunjirea coeficienților pentru ușurarea calculului. Ea este exprimată prin relația 4.28 și reprezentată în figura 4.3.

$$\log I_D\% = 0,554 \log N_{10} + 0,98 \pm 0,25 \quad (4.28)$$

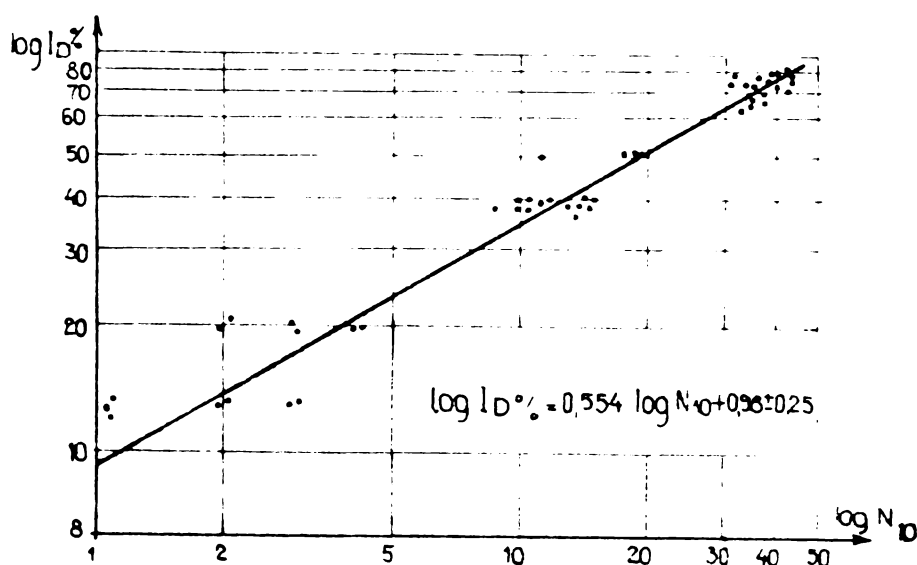


Fig.4.3. Dependența dintre gradul de îndesare și numărul de lovituri N_{10} -PDU; nisip mijlociu și fin

În relația 4.28 nu intervine termenul care ține seama de influența adâncimii, motiv pentru care numărul de lovituri N_{10} trebuie să fie reprezentativ pentru stratul respectiv, adică să nu fie afectat de influența unor factori (paragr.3.2.).

- Valorile gradului de îndesare

I_D determinate cu relația (4.28) s-au comparat cu cele calculate cu relația 2.55, dedusă de Melzer și cu valorile din tabelul 1.6, stabilite în Polonia [119] pentru cazul când sondajele de penetrare s-au executat cu penetrometrul dinamic ușor PDU, fapt posibil, întrucât penetrometrul PDL₃ are lucrul mecanic specific pe con identic ca la PDU. În tabelul 4.6. sînt prezentate valorile comparative.

Numărul de lovituri N_{10}	Gradul de îndesare I_D		
	Rel.4.28	Rel.2.55.	Tabel 1.6.
5	0,23	0,42	0,33
10	0,35	0,50	-
20	0,50	0,60	0,66
30	0,62	0,62	-
60	0,87	0,70	0,85

Notă: Gradul de îndesare calculat cu relația 2.55 corespunde unei adâncimi de 2,0 m.

Din analiza valorilor cuprinse în tabelul 4.6, rezultă că relația 2.55 dă valori mari pentru gradul de îndesare pe lângă valori scăzute ale numărului de lovituri, din cauza termenului liber care este apropiat de limita superioară a domeniului afînat. În relația 4.28 termenul liber corespunde unui $I_D = 0,10$, ceea ce este mai plauzibil, obținînd prin utilizarea ei valori scăzute ale gradului de îndesare pe lângă numărul de lovituri N_{10} , redus. Cînd numărul de lovituri este ridicat se obțin valori apropiate de cele din tabelul 1.6.

4.1.3. Stabilirea dependenței dintre adîncimea critică h_{cr} și diametrul conului, d la nisipuri mijlocii și fine.

Experiențele efectuate în laborator pentru studiul factorilor de influență (paragr.3.2) au servit pentru stabilirea unei relații de dependență dintre numărul de lovituri N_{10} și adîncimea critică h_{cr} pentru cazul cînd nisipul mijlociu și fin (granulometria 1, fig.3.3) s-a găsit în stare de îndesare medie.

La interpretarea datelor obținute, în urma încercărilor de laborator s-a efectuat o analiză atentă a alurii diagramei de penetrare pentru a stabili pînă unde se resimte influența condițiilor de margine respectiv pînă la ce cotă se extinde adîncimea critică sub care numărul de lovituri N_{10} este semnificativ pentru starea de îndesare respectivă.

Problema adîncimii critice fiind controversată în literatură, autorul, în studiile efectuate pentru diverse aspecte ale problemei interpretării rezultatelor penetrării, a dat atenție deosebită acestui aspect.

În tabelul 4.7. se prezintă în mod sintetic calculul pentru stabilirea funcției $h_{cr}=f(d)$ pentru nisipul mic și mijlociu aflat în stare de îndesare medie, în baza punctelor din figura 4.4.

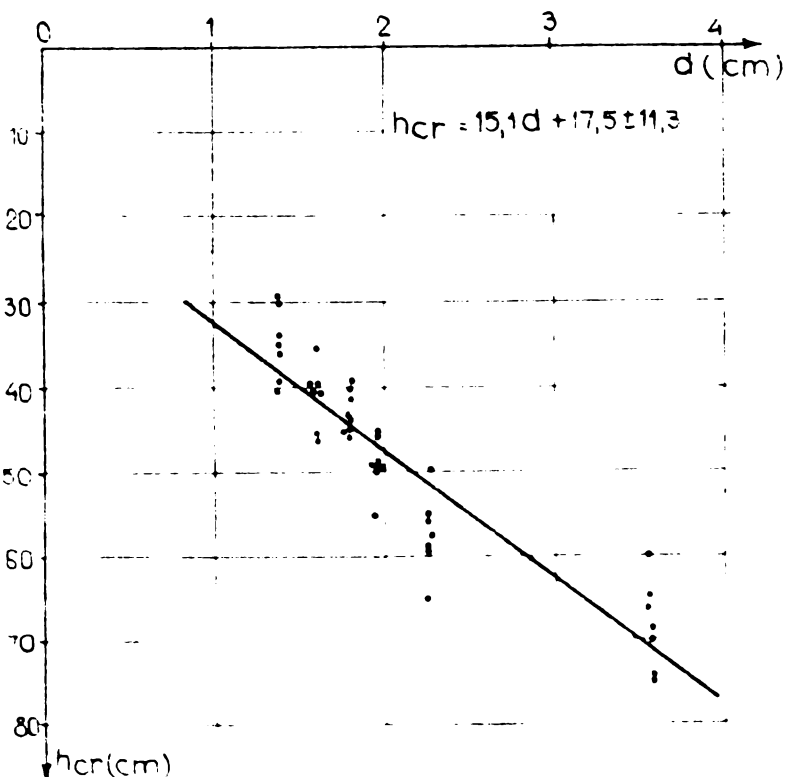
Tabelul 4.7.

Mărime de calcul	Notatie	Valoarea calculată	Observații
Abscisa punctului i	$x_i = d$	-	Valorile rezultă din fig.4.4.
Ordonata punctului i	$y_i = h_{cr}$	-	
Numărul punctelor	n	42	-
Valori medii empirice	\bar{x}	2,091	Rel.4.4
	\bar{y}	49,040	
Mărimi intermediare de calcul	\overline{xy}	110,262	Rel.4.25
	$\overline{x^2}$	4,882	Rel.4.26
Parametrul funcției	a	15,100	Rel.4.24
Abaterea medie pătratică	s_y^*	11,290	Rel.4.19
Ecuatia dreptei	$y = f(x)$	$h_{cr_{cm}} = 15,1d + 17,47$	Rel.4.29

Relația de calcul pentru h_{cr} este:

$$h_{cr} = 15,1 d + 17,5 \pm 11,3 \text{ cm} \quad (4.29 a)$$

iar funcția este prezentată grafic în fig.4.4.



Înlocuind în relația 4.29a diametrul corespunzător lui PDU, adică 3,56 cm, respectiv diametrul PDM-PDG de 4,37 cm se obține:

- Pentru PDU

$$h_{cr} = 71,22 \pm 11,3 \text{ cm sau}$$

$$h_{cr} = 20 d \pm 3 d$$

- Pentru PDM - PDG

$$h_{cr} = 83,45 \pm 11,3 \text{ cm sau}$$

$$h_{cr} = 19 d \pm 2,5 d$$

Valorile obținute confirmă observațiile făcute cu privire la adâncimea

Fig.4.4. Dependența dintre înălțimea critică h_{cr} și diametrul conului de penetrare - nisip mijlociu și fin

15-25 d, în cazul nisipurilor cu îndesare medie.

Adâncimea critică calculată cu relația 4.29 a pentru cazul PDU dă valoare apropiată de cea determinată din graficul 2.16 în domeniul îndesării medii (15-22 d) deși din grafic rezultă sporirea directă a adâncimii critice cu gradul de îndesare.

Dacă în relația teoretică (2.26) stabilită de Jaky se consideră $\phi=33^\circ$, pentru conul PDU se obține, $h_{cr}=12,5$ d, valoarea mai mică decât cea dată de relația 4.29 a.

Relația stabilită între adâncimea critică și diametrul conului are importanță practică mai redusă în sensul că gama de diametri de con utilizați este restrânsă, dar a confirmat rezultatele obținute pe cale experimentală și de alți cercetători [58] [102].

4.1.4. Stabilirea unor corelații între numărul de lovituri N_{10} și rezistența pe con, R_p .

Experiențele efectuate cu penetrometrul dinamic ușor în paralel cu cel static pe amplasamente de întindere mare și cu variații reduse ale naturii terenului, au permis stocarea unui volum mare de date în baza cărora a fost posibilă stabilirea dependenței dintre N_{10} și R_p , utilă așa cum s-a mai arătat, pentru lărgirea domeniului de exploatare a datelor penetrării dinamice pe baza unor relații stabilite pentru penetrarea statică, chiar dacă uneori prin aceasta se obțin numai date informative cu privire la caracteristicile terenului sau capacitatea portantă a piloților.

4.1.4.1. Stabilirea corelației N_{10} , R_p pentru nisip mediu și fin - C.P. Năvodari

Volumul mare de penetrări dinamice și statice executate pe platforma experimentală de la Năvodari [133] a servit la stabilirea corelației între numărul de lovituri N_{10} -PDU și rezistența pe con R_p la nisipurile medii și fine avînd granulometria prezentată în fig.3.32.

Cercetările efectuate de către ISPIF asupra complexului nisipos au semnalat existența la anumite niveluri a unor benzi de fragmente cochilifere și mai rar elemente de piatră.

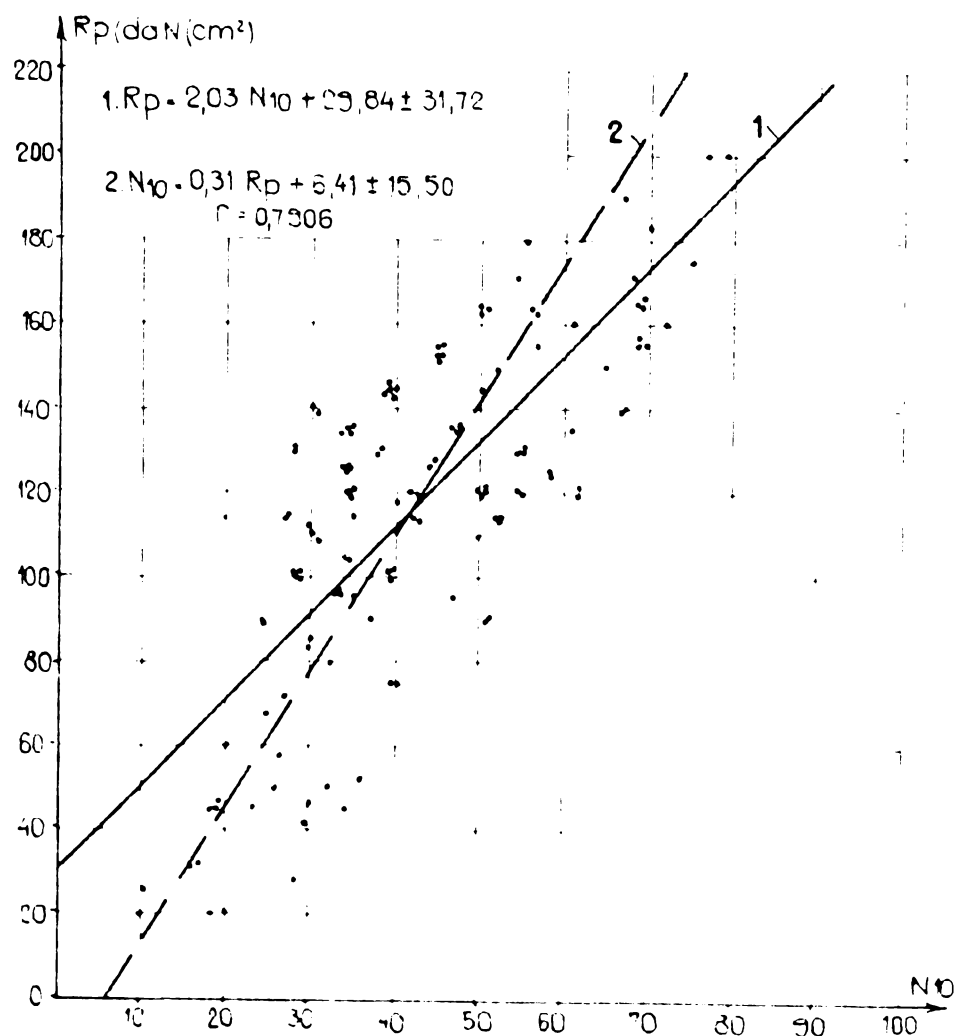
Mineralogic, nisipurile sînt alcătuite în principal din particule de cuarț (70...90%) calcit (5...30%) feldspați, mică, minerale opace, minerale argiloase sub formă de pelicule, fragmente și forme întregi de cochilii.

Apa subterană a fost interceptată la 0,60-0,80 m. În laborator s-a determinat unghiul taluzului natural, uscat ($\beta=38-41^\circ$) și de sub nivelul apei ($\beta=32-37^\circ$).

Pentru stabilirea valorilor de calcul, N_{10} și R_p , s-a efectuat analiza calitativă comparativă a celor două diagrame (fig. 3.33 și 3.34) pentru aprecierea adâncimii critice și a nivelului de la care se manifestă frecarea pe coloana de tije a penetrometrului dinamic, de la care nu mai este posibilă corelarea valorilor. Rezistența pe con, R_p și numărul de lovituri N_{10} , utilizate în calcul s-au determinat ca medie a trei valori adiacente.

Pentru pământurile nisipoase de pe platforma experimentală a C.P.Năvodari s-a studiat două tipuri de corelații, așa cum s-a prezentat în paragraful 3.5 și anume, în teren natural și în teren consolidat cu coloane de balast AVP-1.

În tabelul 4.8. este prezentat sintetic calculul pentru stabilirea corelației dintre numărul de lovituri N_{10} - PDU și rezistența pe con R_p pe baza sondajelor de penetrare martor pentru primul tip de corelație, respectiv a sondajelor de control pentru cel de



al doilea. Calculul s-a efectuat în baza celor prezentate la punctul 4.1.1. variabilele fiind dependente stochastice. Datele utilizate în calcul în cazul sondajelor efectuate în terenul natural, rezultă din fig. 4.5, iar pentru terenul consolidat cu coloane de balast AVP-1, din figura 4.6.

Pentru ușurarea calculului, coeficienții corelațiilor 4.30-4.33 se rotunjesc, obținînd:

Fig. 4.5. Dreptele de regresie N_{10}, R_p pentru nisipul mediu și fin cu structură naturală - C.P.Năvodari

Tabelul 4.8

Mărimi de calcul	Notație	Valoare calculată		Observații
		Teren natural	Teren consolidat	
1	2	3	4	5
Abscisa punctului i	$x_i = R_p$	-	-	Valorile rezultă din fig.4.5.
Ordonata punctului i	$y_i = N_{10}$	-	-	
Numărul punctelor	n	143	65	
Numărul punctelor egale	m	-	-	
Mărimi intermediare de calcul	$m x_i^2$	2.090.222	1.814.037	
	$m y_i^2$	282.262	240.262	
	$m x_i y_i$	749.493	653.340	
Valori medii empirice	\bar{x}	144,1888	160,6307	Rel.4.4.
	\bar{y}	41,6363	57,5384	
Dispersii empirice	s_x^2	1588,9667	2138,3967	Rel.4.5.
	s_y^2	241,9708	821,5910	
Abateri standard empirice	s_x	32,8618	43,2487	
	s_y	15,5554	19,7913	
Moment empiric de corelație	M	490,2389	821,5910	Rel.4.7.
Coeficient empiric de corelație	r	0,7906	0,8975	Rel.4.6.
Abateri medii pătratică	s_x^*	31,7222	41,3200	Rel.4.19
	s_y^*	15,5006	19,7595	Rel.4.20
Verificarea intervalului de încredere	$H \geq H_{cr}$	9,4210 > 3,291	7,18 > 3,19	H - rel.4.8 H _{cr} - n=143(65) P=0,999
Verificarea ipotezei de liniaritate	$F \leq F_{cr}$	1,8014 < 1,94	1,4523 < 2,29	F - rel.4.16 F _{cr} - k ₁ =8(6) k ₂ =133(57) P=0,95
Intervalul de încredere pentru b		41,6363 ± 1,5185	57,5384 ± 2,1808	Rel.4.14
Intervalul de încredere pentru βy/x		0,3085 ± 0,0382	0,3840 ± 0,0475	Rel.4.15

1	2	3	4	5
Ecuația dreptei de regresie y,x	$y=f(x)$	$N_{10}=0,3085R_p+6,4091$	$N_{10}=0,3840R_p-4,1437$	Rel.4.9
Ecuația dreptei de regresie x,y	$x=f(y)$	$R_p=2,0259N_{10}+29,8373$	$R_p=2,0972N_{10}+39,9612$	Rel.4.10
Corelația N_{10},R_p	$y=f(x) \pm s_y$	$N_{10}=0,3085R_p+6,4091 \pm 15,5006$	$N_{10}=0,3840R_p-4,1437 \pm 19,7595$	Rel.4.30-4.31
Corelația R_p,N_{10}	$x=f(y) \pm s_x$	$R_p=2,0259N_{10}+29,8373 \pm 31,7222$	$R_p=2,0972N_{10}+39,9612 \pm 41,32$	Rel.4.32-4.33

- Pentru nisipul mediu și fin în stare naturală

$$N_{10} = 0,31 R_p + 6,41 \pm 15,50 \quad (4.30 \text{ a})$$

$$R_p = 2,03 N_{10} + 29,84 \pm 31,72 \quad (4.32 \text{ a})$$

- Pentru nisipul mediu și fin consolidat cu coloane de balast

$$N_{10} = 0,38 R_p - 4,14 \pm 19,76 \quad (4.31 \text{ a})$$

$$R_p = 2,10 N_{10} + 39,96 \pm 41,32 \quad (4.33 \text{ a})$$

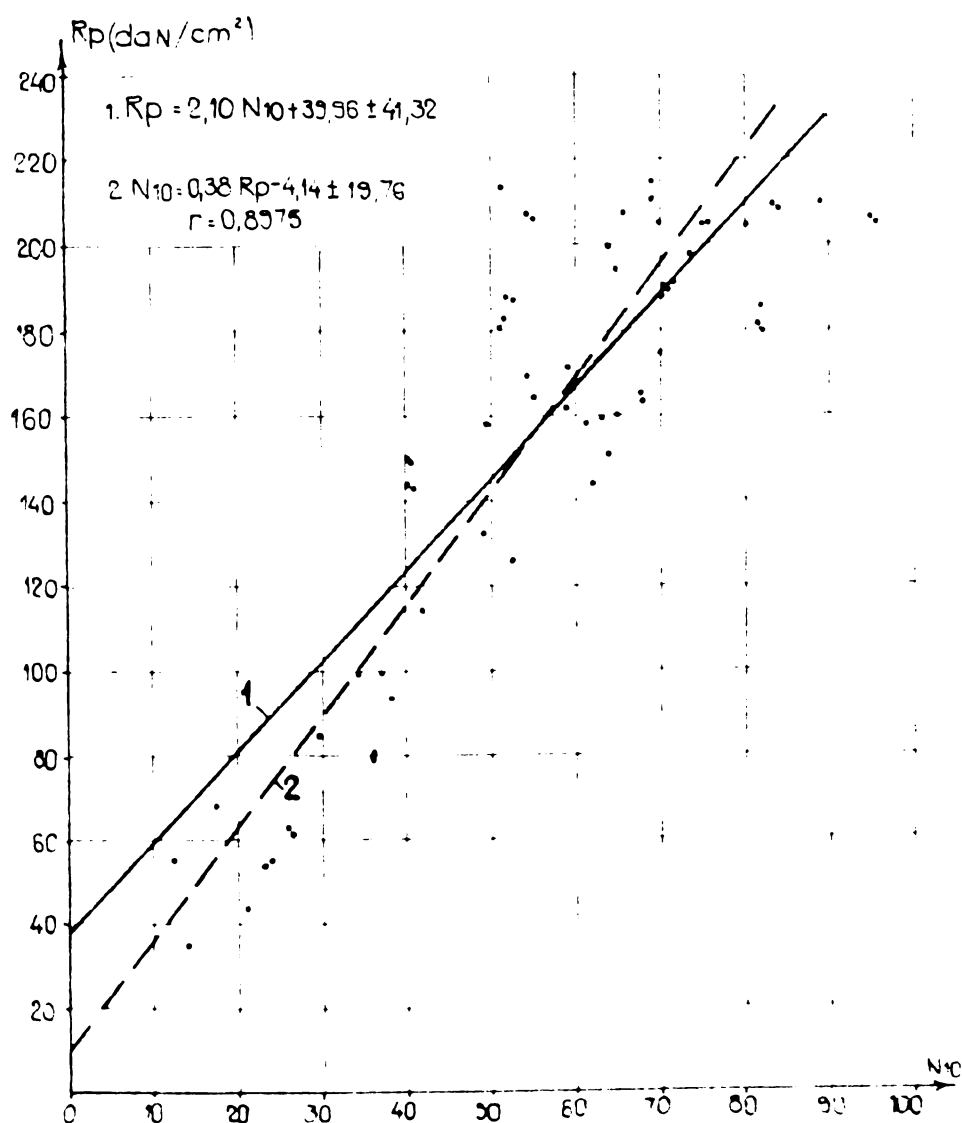


Fig.4.6.Dreptele de regresie N_{10},R_p pentru nisipul mediu și fin consolidat cu coloane AVP-1 - C.P.Năvodari.

În paragraful 2.4. s-au prezentat aspecte privind corelația dintre penetrarea statică și dinamică stabilită pentru diverse categorii de terenuri, în condiții de laborator sau teren. Pentru compararea corelațiilor obținute de autor, în figura 4.7. se prezintă diagramele medii corespunzătoare acestora, adică fără abaterea medie pătratică, diagrama corespunzătoare corelației stabilită de Melzer [58] pentru nisipuri medii și fine așezate în cuve de încercare, diagrama

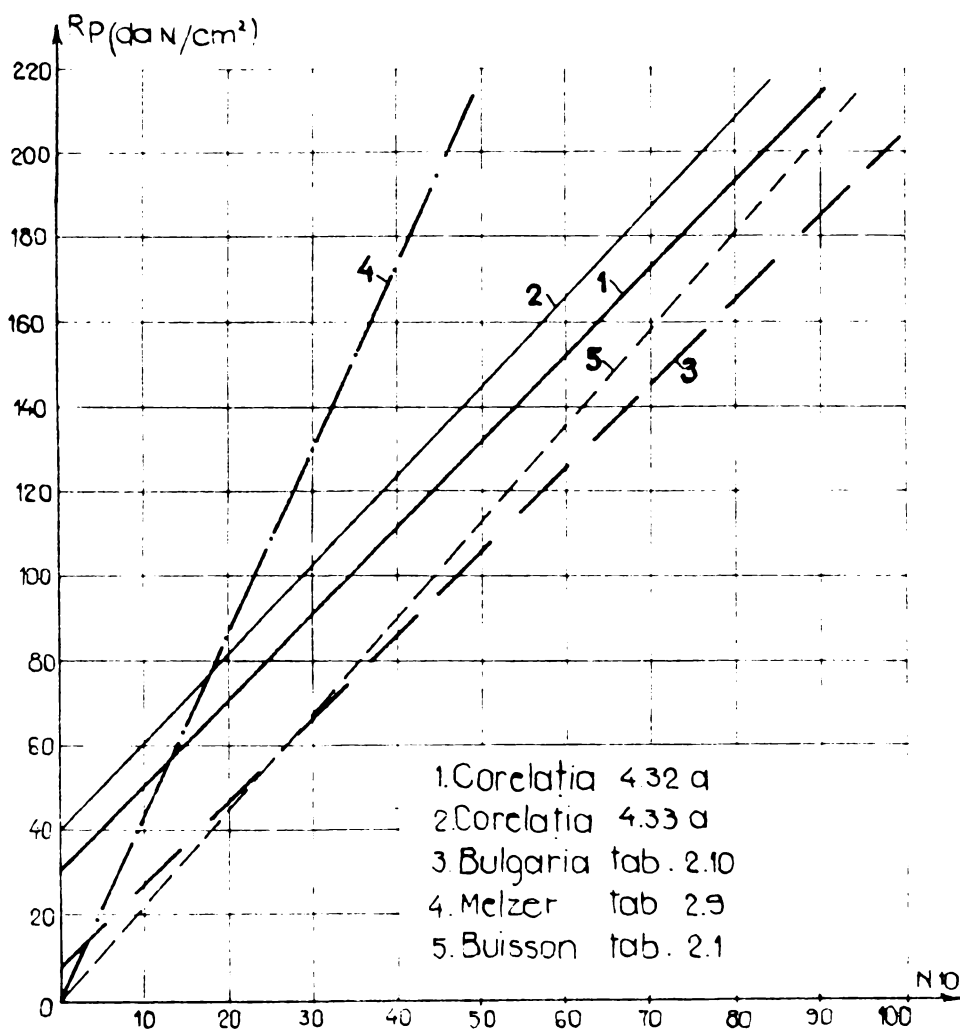


Fig.4.7. Dreptele de regresie R_p, N_{10} -PDU pentru nisipuri

tre R_p , valorile mai mari fiind corespunzătoare nisipului îmbunătățit cu coloane de balast. Diferențele fiind reduse se poate considera practic aceeași corelație (4.32 a), care este acoperitoare dând valori mai mici.

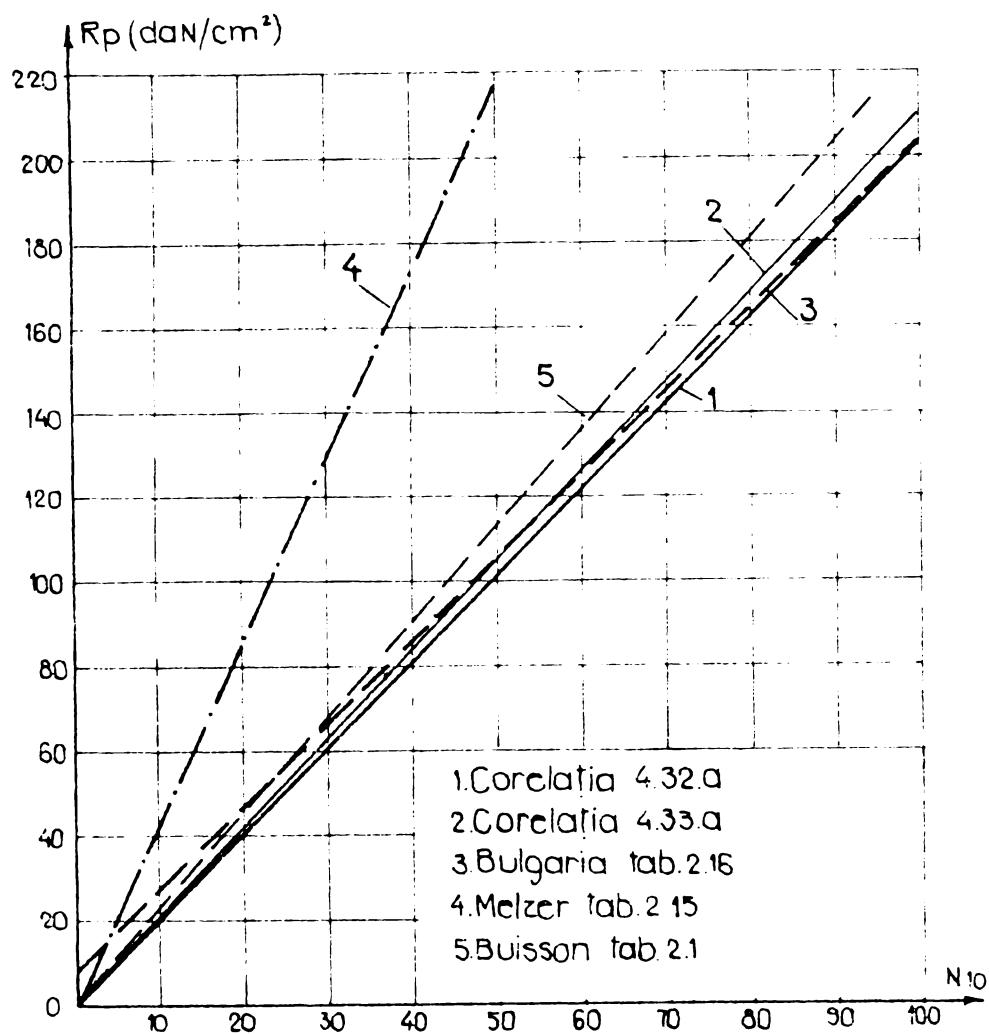
Diagramele 3 și 5 sînt destul de apropiate de cele stabilite de autor, diferențe mai semnificative fiind în zona rezistențelor de penetrare mai scăzute. Corelația stabilită de Melzer în cuvă și Van Wambecke pe teren, dă valori foarte diferite față de celelalte corelații analizate.

Dacă într-un calcul acoperitor, se consideră în corelațiile 4.32 a și 4.33 a valoarea negativă a abaterii medii pătratice, care anulează aproximativ termenul liber, se obțin diagramele din figura 4.8., din care rezultă concordanța foarte bună între diverse corelații, cu excepția celei stabilită de Melzer [58].

În baza corelației simplificate, $R_p \approx 2,03 N_{10}$ conform celor arătate mai sus, pentru sondeaje de penetrare dinamică și statică executate în paralel pe platforma experimentală C.P.Năvodari, s-au

pentru corelația stabilită în Bulgaria, adaptată, ținînd seama că penetrometrul dinamic ușor PDU are lucrul mecanic specific de două ori mai mic decît penetrometrul utilizat în Bulgaria [107] și diagrama obținută pe baza corelației lui Buisson, tab. 2.1.

Din compararea diagramelor 1 și 2 corespunzătoare nisipurilor medii și fine de pe amplasamentul C.P.Năvodari rezultă diferențe mici în-



efectuat studii privind variația unor caracteristici geotehnice în adâncime determinate cu relațiile indicate în instrucțiunile C 159-73 [129]. În figurile 4.9 și 4.10. sînt redată diagramele pentru modulul edometric, greutatea volumică uscată și indicele porilor pentru cele două sonde de penetrare martor.

Fig. 4.8. Diagrama de corelație R_p, N_{10} -PDU pentru nisipuri

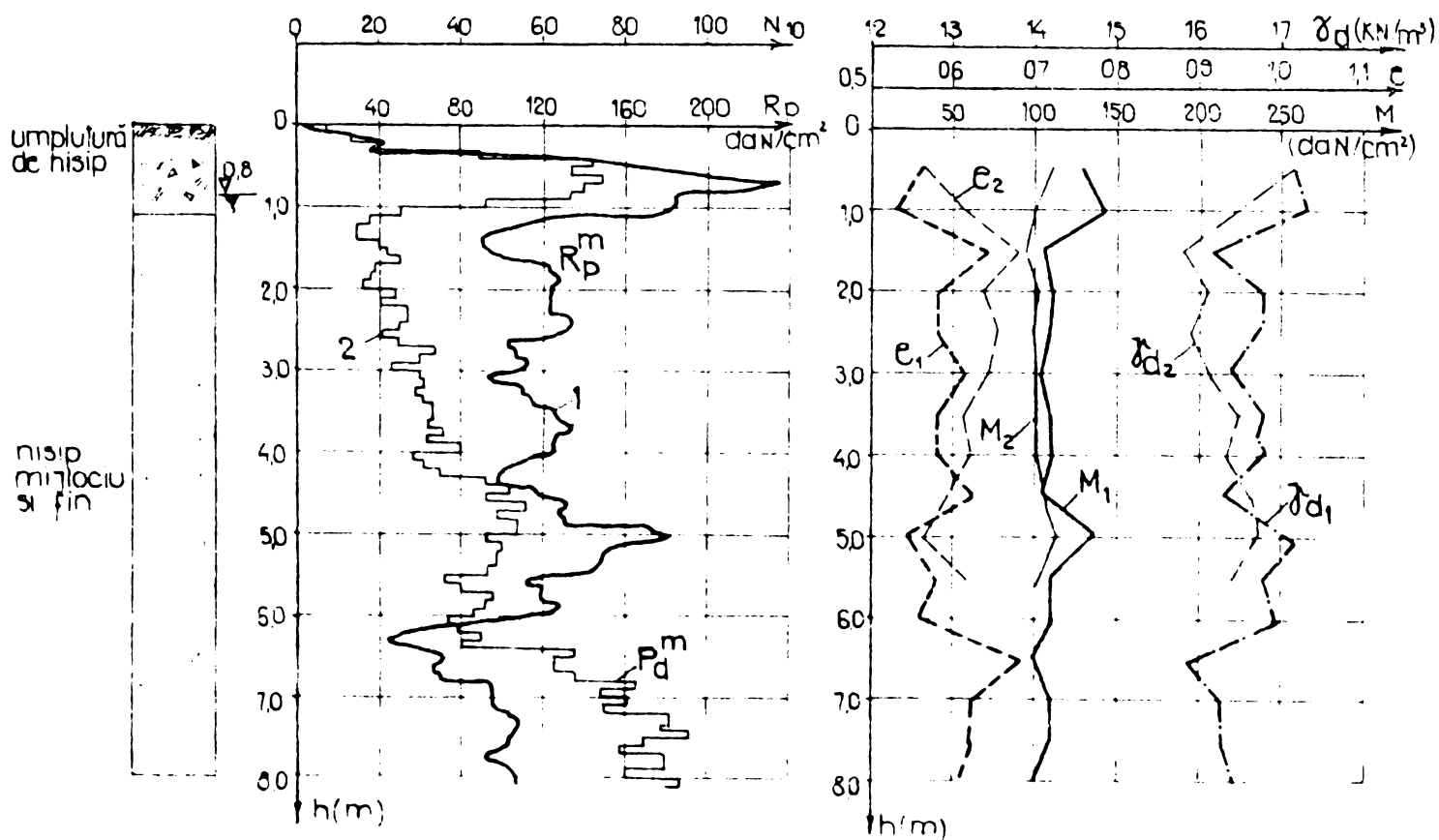


Fig. 4.9. Diagrame de penetrare și variație a caracteristicilor Platforma experimentală C.P. Năvodari

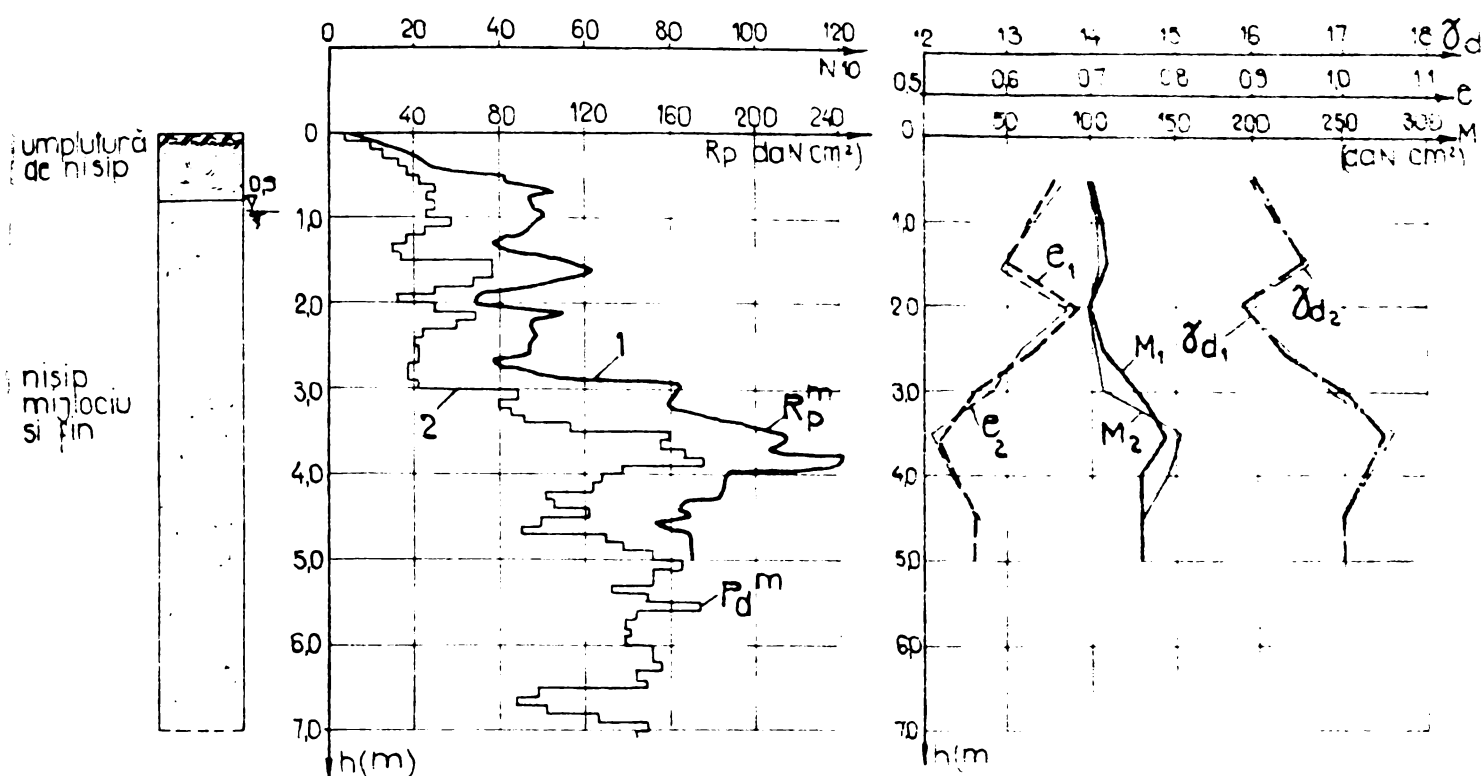


Fig.4.10. Diagrame de penetrare și variație a caracteristicilor. Platforma experimentală C.P.Năvodari

Studiile s-au executat în scopul comparării caracteristicilor obținute în baza celor două diagrame de penetrare, (care așa cum rezultă din figurile 4.9 și 4.10 sînt foarte apropiate) pentru a evidenția posibilitatea de înlocuire parțială sau totală a sondajelor de penetrare statică, care sînt mai costisitoare, cu sondaje de penetrare dinamică. Corelarea dintre N_{10} și R_p este posibilă numai pînă la adîncimea de la care se manifestă frecarea pe coloana de tije a penetrometrului dinamic, motiv pentru care caracteristicile pîrtînd indicele 2 s-au determinat numai pînă la adîncimea respectivă.

Rezultă, în baza celor menționate, că în cazul compactărilor de suprafață a pămînturilor nisipoase, unde testarea calității se execută pe adîncime mică, 3-4 m, este posibilă înlocuirea totală a sondajelor de penetrare statică, iar la testarea calității consolidărilor de adîncime este posibilă reducerea lor. În această situație, ele se execută în primul rînd pentru stabilirea adîncinii de la care apare frecarea și care indică cota pînă la care datele furnizate de penetrarea dinamică pot fi luate în calcul.

În lumina concluziilor desprinse mai sus, testarea calității compactărilor de suprafață executate cu maul greu și cu placa vibrantă, pe platforma C.P.Năvodari, s-a efectuat în exclusivitate prin

sondaie de penetrare dinamică. În figura 4.11 este prezentată diagrama de penetrare martor, diagrama de penetrare medie de control și domeniul de variație a valorilor N_{10} înregistrate pe amplasamentul "Atelierului mecanic" unde compactarea s-a executat cu maiul greu. De asemenea sînt prezentate diagramele de variație a caracteristicilor determinate pentru diagrama de penetrare martor și control, din compararea cărora rezultă îmbunătățirea caracteristicilor geotehnice în urma lucrărilor de compactare a terenului.

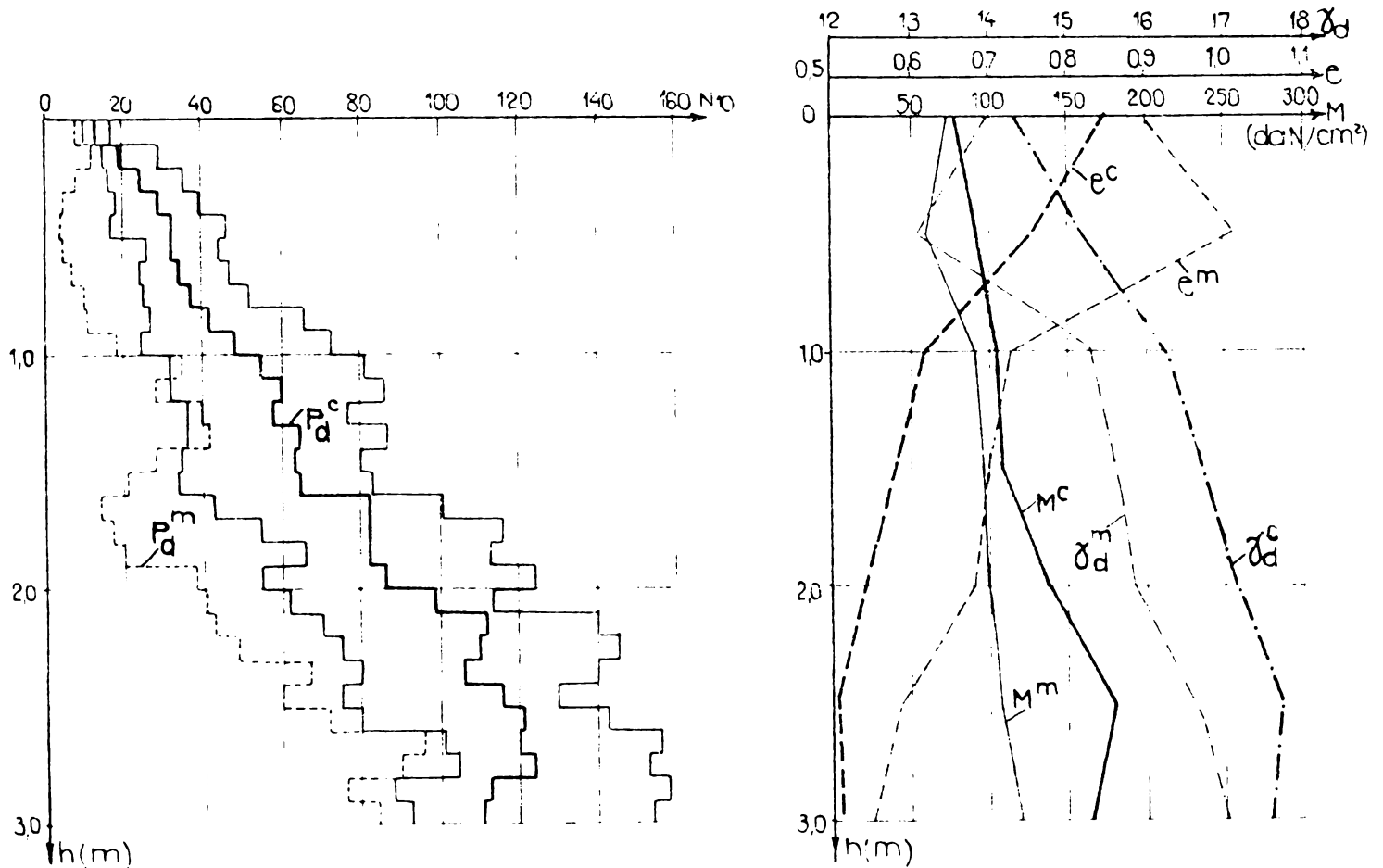


Fig.4.11. Diagrame de penetrare martor și control și diagramele de variație a caracteristicilor determinate pe bază de N_{10} -PDU

Testarea calității consolidărilor de suprafață numai prin sonde de penetrare dinamică a prezentat avantajul unei testări ieftine și rapide fiind posibilă utilizarea mai multor penetrometre dinamice în paralel, șantierul fiind dotat cu 10 bucăți PDU.

4.1.4.2. Stabilirea corelației N_{10} - R_p la praf argilos nisipos. Tronson experimental canal Dunărea-Marea Neagră și Siloz Lovrin

Pentru studiul corelației dintre numărul de lovituri N_{10} și rezistența de penetrare pe con R_p în cazul pămînturilor coezive s-au ales cele două amplasamente unde terenul prezintă proprietăți fizico-mecanice foarte asemănătoare și unde s-a executat în paralel

un volum mare de sondeaje de penetrare dinamică și statică, conform celor arătate la paragraful 3.5. În tabelul 4.9 sînt prezentate principalele caracteristici ale prafului argilos nisipos interceptat în zona superficială a profilului litologic.

Tabelul 4.9.

Caracteristica terenului	I_p	I_C	W_L %	W_p %	S_r	γ kN/m ³	γ_d kN/m ³	n %	M daN/cm ²	ϕ_u °	c_u daN/cm ²
Valori limită	8-18	0,5 - 1,0	33-43	17-30	0,7-1,0	18,3-19,5	14,3-15,8	41-47	35-95	17	0,07-0,15
Valoarea medie	14	0,68	36	22	0,96	19,05	15,0	43	60	17	0,10

Valorile de calcul pentru N_{10} și R_p s-au stabilit în mod asemănător ca la punctul 4.1.4.1. acordînd importanță deosebită studiului comparativ al celor două diagrame pentru depisterea nivelului de la care apare frecarea pe coloana de tije la PDU și de la care valorile nu se mai corelează.

În tabelul 4.10. este prezentat în mod sintetic calculul pentru stabilirea corelației N_{10}, R_p în baza valorilor din figura 4.12.

Tabelul 4.10

Mărimi de calcul	Notație	Valoare calculată	Observații
1	2	3	4
Abscisa punctului i	$x_i = R_p$	-	Valorile rez. din figura 4.12.
Ordonata punctului i	$y_i = N_{10}$	-	
Numărul punctelor	n	83	
Numărul punctelor egale	m	-	
Mărimi intermediare de calcul	$m x_i^2$	575.849	
	$m y_i^2$	140.489	
	$m x_i y_i$	279.919	
Valori medii empirice	\bar{x}	66,7831	Rel.4.4.
	\bar{y}	34,7590	
Dispersii empirice	s_x^2	2508,1763	Rel.4.5.
	s_y^2	489,1389	

1	2	3	4
Abateri standard empirice	s_x	50,0816	
	s_y	22,1164	
Moment empiric de corelație	M	1064,0239	Rel.4.7
Coeficient empiric de corelație	r	0,9467	Rel.4.6
Abateră medie pătratică	s_x^*	39,7790	Rel.4.19
	s_y^*	21,9827	Rel.4.20
Verificarea intervalului de încredere	$H \geq H_{cr}$	8,5726 > 3,212	$H \rightarrow$ Rel.4.8 $H_{cr} \rightarrow n=83; P=0,999$
Verificarea ipotezei de liniaritate	$F \leq F_{cr}$	1,7548 < 2,24	$F \rightarrow$ Rel.4.16 $F_{cr} \rightarrow k_1=5, k_2=75, P=0,95$
Intervalul de încredere pentru b		34,7590 \pm 1,5650	Rel.4.14
Intervalul de încredere pentru $\beta_{y/x}$		0,4180 \pm 0,0314	Rel.4.15
Ecuatia dreptei de regresie y,x	$y=f(x)$	$N_{10}=0,4180R_p+6,4837$	Rel.4.9
Ecuatia dreptei de regresie, x,y	$x=f(y)$	$R_p=2,1437N_{10}-7,7297$	Rel.4.10
Corelația N_{10}, R_p	$y=f(x) \pm s_y^*$	$N_{10}=0,4180R_p+6,4837 \pm 21,9827$	Rel.4.34.
Corelația R_p, N_{10}	$x=f(y) \pm s_x^*$	$R_p=2,1437N_{10}-7,7297 \pm 39,7790$	Rel.4.35

In corelațiile 4.34 și 4.35 se rotunjesc coeficienții pentru a obține o formă mai accesibilă de calcul :

$$N_{10} = 0,42 R_p + 6,48 \pm 21,98 \quad (4.34 a)$$

$$R_p = 2,14 N_{10} - 7,73 \pm 39,77 \quad (4.35 a)$$

Dreptele de regresie corespunzătoare corelațiilor stabilite prin prelucrare statistică sînt prezentate în figura 4.12.

In general, în literatură se întîlnesc mai rar corelații între R_p și N_{10} la pămînturile coezive întrucît cercetarea terenurilor prin sondaje de penetrare dinamică este recomandată în primul

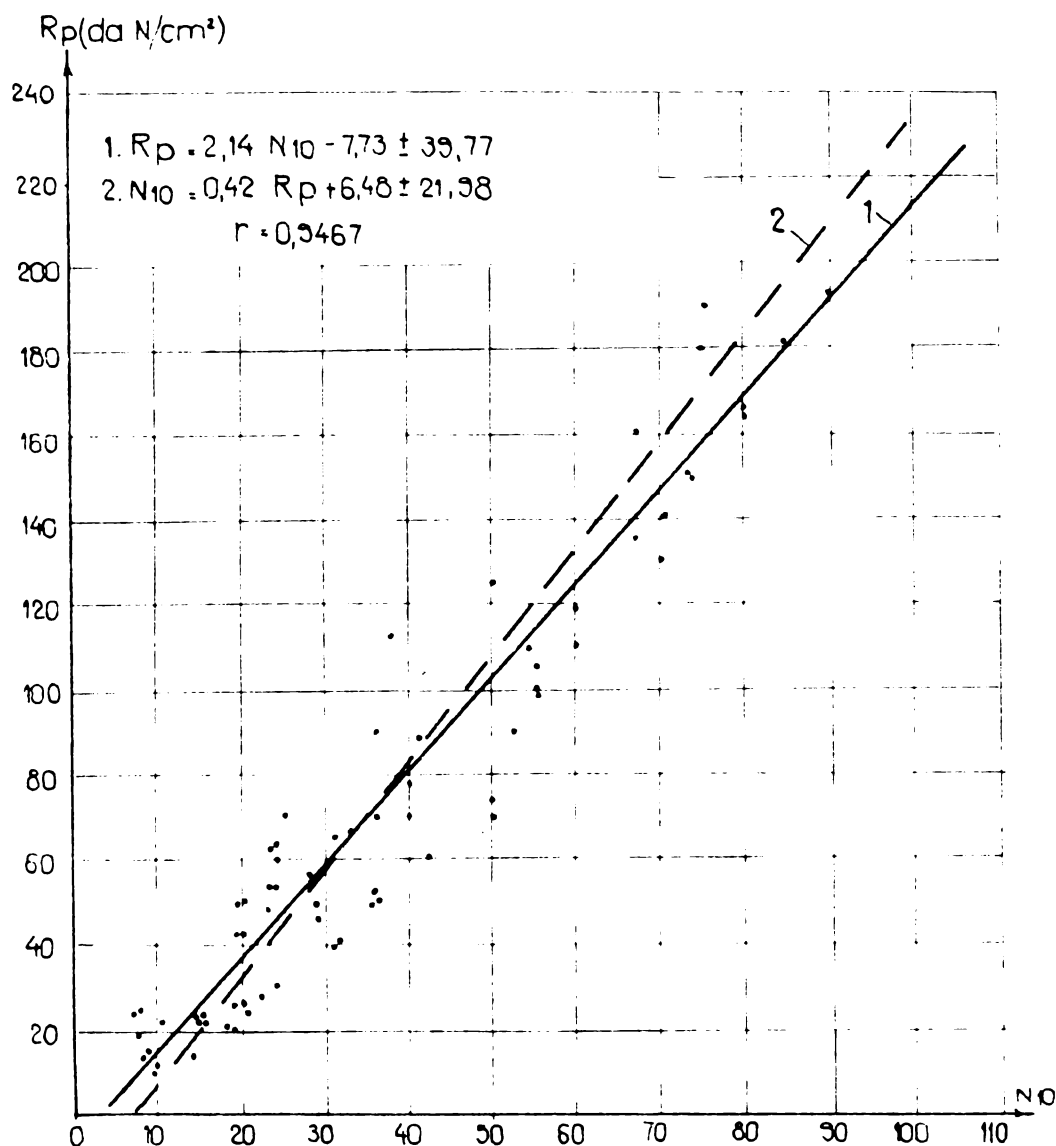


Fig.4.12. Dreptele de regresie R_p, N_{10} pentru praf argilos-nisipos

rînd la pămînturile necoezive.

Pentru un pămînt eterogen, cum este praful argilos nisipos, nu s-au găsit în literatură corelații cu care să fie posibilă compararea corelației 4.35 a. Pornind de la datele existente s-au făcut anumite aproximații care au permis efectuarea unui studiu comparativ orientativ, prezentat în fig.4.13. Astfel s-au utilizat corelațiile stabilite în Bulgaria (tab.2.10)

cu penetrometrul dinamic ușor, care are lucru mecanic specific de două ori mai mare ca la PDU, la nisip argilos și argilă nisipoasă, considerînd că pămîntul cercetat se situează între ele. Deasemenea s-a utilizat corelația stabilită de Buisson cu raportul $\frac{R_p}{w} = 0.5$, corespunzător argilelor moi și nisipurilor afinate (tab.2.1).

Pornind de la complexitatea fenomenului, care are loc în pămînturile coezive la efectuarea sondeului de penetrare dinamică se consideră corelația cu valabilitate strict locală care însă și-a dovedit utilitatea fiind vorba de o lucrare de mare amploare.

În cazul cînd în pămînturi asemănătoare se execută sondeaje de penetrare statică și dinamică în baza cărora se poate verifica valabilitatea corelației 4.35 a, care în caz afirmativ ar permite reducerea volumului sondeajelor de penetrare statică și înlocuirea lor cu sondeaje de penetrare dinamică.

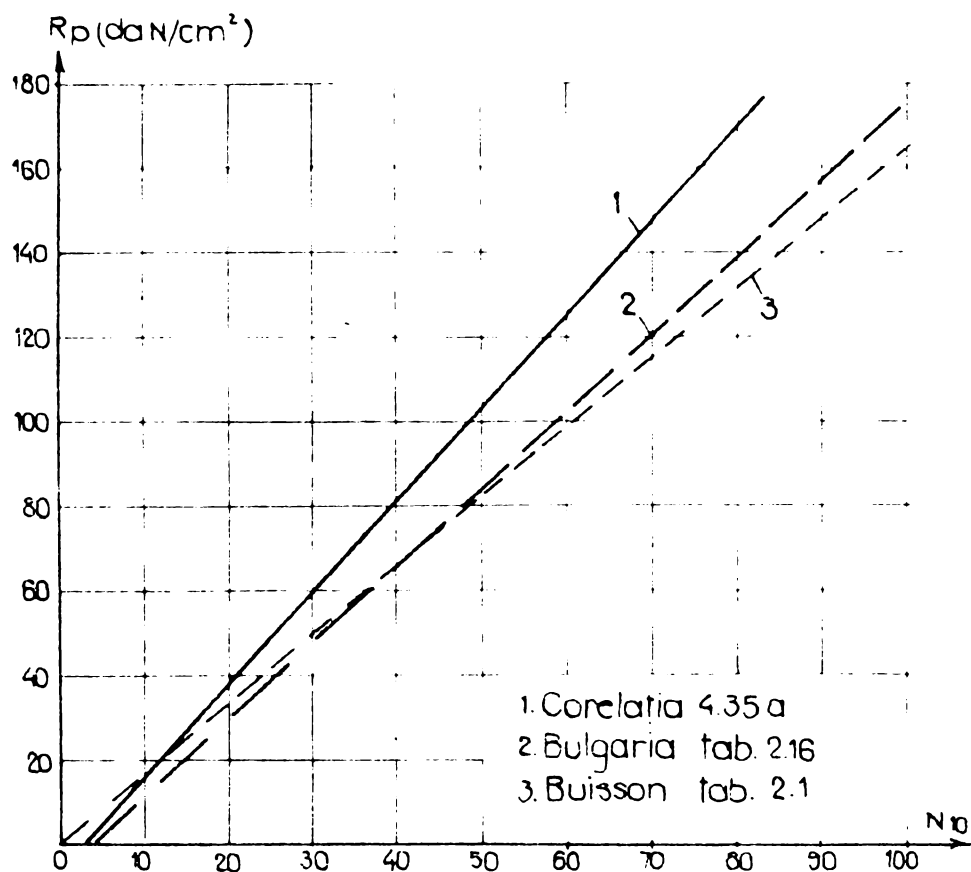


Fig.4.13. Diagrama de corelație R_p, N_{10} pentru pământuri coezive

efectuat sondaje de penetrare martor în terenul natural și sondaje de penetrare de control în terenul compactat. Din compararea diagramelor de penetrare de control cu cele martor este posibilă stabilirea adâncimii pînă la care se resimte influența compactării precum și eficiența acesteia prin caracteristicile terenului determinate în baza rezistenței la penetrare.

Pentru evidențierea omogenității compactării s-au construit diagrame de penetrare medii de control cu marcarea domeniului în care se situează adevărata valoare a rezistenței la penetrare cu o anumită probabilitate impusă. Acest lucru a permis depistarea zonelor cu neomogenitate pronunțată a efectului compactării reflectat prin limitele largi ale domeniului în zona respectivă.

Valoarea medie a numărului de lovituri N_{10} cît și valorile extreme ale domeniului servesc la aprecierea unor caracteristici ale terenului în mod direct sau pe baza corelației R_p, N_{10} și a domeniului în care se înscriu valorile reale ale acestora cu probabilitatea impusă.

Pe amplasamentul obiectivului 338 "Parc Rezervoare" [134] compactarea de suprafață s-a executat cu maiul greu de 3,2 t, iar testarea calității compactării s-a efectuat prin cinci sondaje de pe-

4.1.5. Prelucrarea statistică a unor sondaje de penetrare dinamică cu con.

Pe platforma Combinatului Petrochimic Năvodari s-au executat cu penetrometre realizate sub direcția îndrumare a autorului și cu asistența tehnică, un volum mare de sondaje de penetrare dinamică pentru testarea calității compactărilor de suprafață efectuate în pachetul de pămînturi nisipoase [134]. În acest sens s-au

netrare dinamică dispuse conform figurii 4.14.

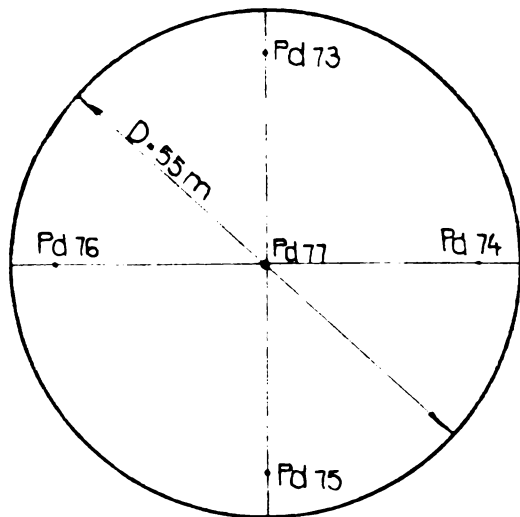


Fig.4.14. Distribuția sondajelor de penetrare dinamică

Datele primare obținute la efectuarea sondajelor de penetrare au servit la calculul valorilor medii \bar{N}_{10} cu relația 4.4. Pentru estimarea valorii reale cu ajutorul intervalului de încredere s-a utilizat relația:

$$|a - \bar{x}| < t(\mathcal{P}; k) \frac{s^{\mathcal{R}}}{\sqrt{k}} \quad (4.36)$$

unde: a - reprezintă valoarea reală a lui N_{10} ;

\bar{x} - valoarea medie empirică a măsurătorilor;

$t(\mathcal{P}; k)$ - factor determinat cu funcția de repartiție Student, în funcție de nivelul de încredere și de numărul gradelor de libertate $k(k=n-1)$ [93];

$s^{\mathcal{R}}$ - abaterea medie pătratică calculată cu relația 4.19.

În figura 4.15 este prezentată diagrama de penetrare medie, \bar{N}_{10} și domeniul de probabilitate în care se înscrie valoarea reală a rezistenței la penetrare cu nivelul de încredere $\mathcal{P} = 90\%$, nivel maxim pentru cele cinci sondaje de penetrare $P_{d73} - P_{d77}$. În aceeași figură sînt prezentate diagramele de variație ai greutateii volumice în stare uscată γ_d și a modulului de deformare edometric M , calculate pe baza corelației $R_p = 2,03 N_{10}$ și a relațiilor din instrucțiunile tehnice C₁₅₆₋₇₃ [129].

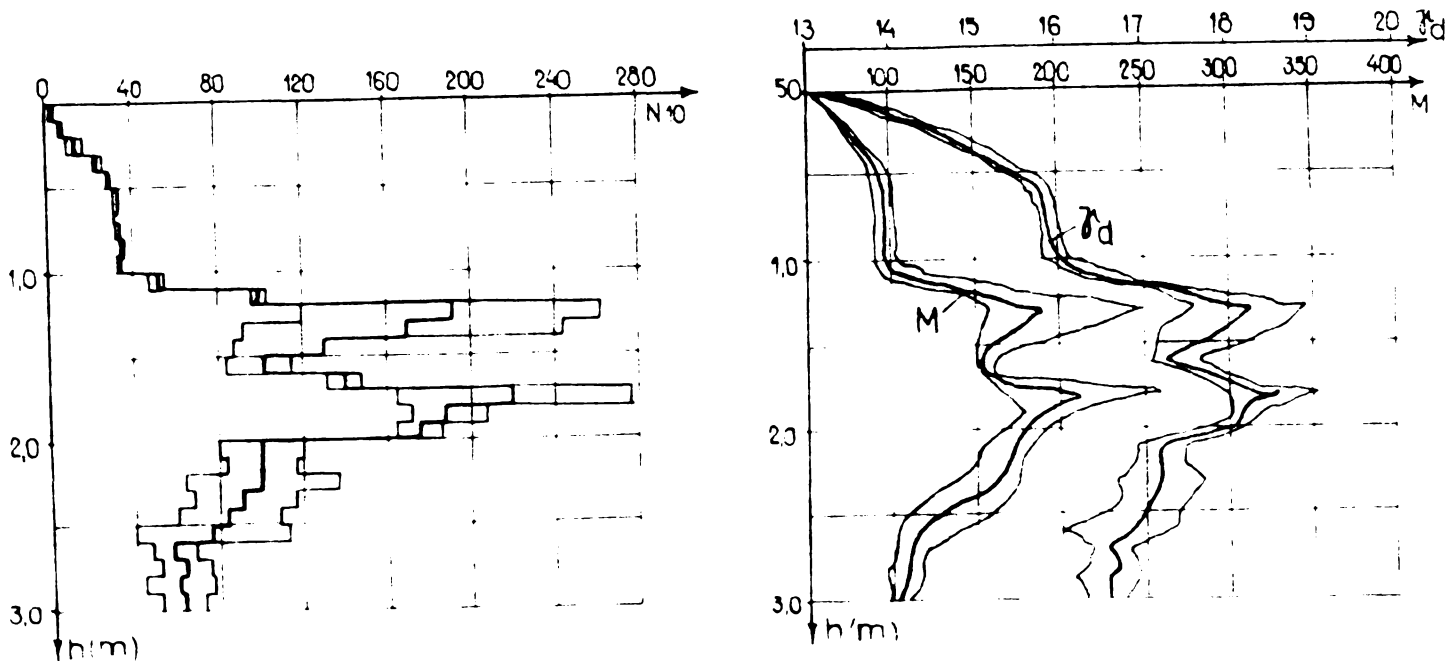


Fig.4.15. Diagrama de penetrare medie și diagramele de variație a unor caracteristici ale terenului

Deasemenea s-a prezentat domeniul de variație a rezistenței la penetrare și a caracteristicilor cu probabilitatea $\mathcal{P} = 0,90$.

Stabilirea domeniului de probabilitate prin nivelul de încredere impus reduce limitele între care oscilează caracteristicile terenului compactat și elimină valorile extreme cu frecvență scăzută care au influență neglijabilă asupra comportării în ansamblu a terenului.

4.1.6. Prelucrarea automată a datelor primare ale sondajelor de penetrare statică

Cercetarea terenului prin sondaje de penetrare dinamică cu con în paralel cu sondaje de penetrare statică, a reclamat prelucrarea unui volum foarte mare de date primare pe baza cărora s-a stabilit rezistența la penetrare a terenului și unele caracteristici ale acestuia. Intrucît la sondajul de penetrare statică prelucrarea datelor este mai anevoioasă, s-a simțit nevoia elaborării unui program care să permită prelucrarea automată a datelor. Deși calculul numeric nu este complicat, totuși prelucrarea automată este eficientă prin volumul mare de date primare. Numai la C.P. Năvodari [133] [134] s-au efectuat cu penetrometrul catedrei sub îndrumarea autorului peste 2000 ml de sondaje de penetrare statică care reprezintă 20000 puncte calculate în diagrama de variație a rezistenței pe vîrf, respectiv tot atîtea în diagrama frecării laterale. La prelucrarea manuală, pentru simplificare, caracteristicile geotehnice s-au determinat la interval de 50 cm pe cînd prin prelucrare automată valorile se obțin la nivelul fiecărei măsurători.

Programul numit KARSOIL, prelucrează datele primare pentru un număr "NR" de sondaje de penetrare, pe baza relațiilor din instrucțiunile C 159-73 [129] în care, pentru simplificare, s-au utilizat notații simbolice.

Rezistența de penetrare pe con "R" și frecarea pe manta, "F" se calculează cu relațiile:

$$R = \frac{PC(I) \cdot 10,3 + A(J)}{S} \quad (4.37)$$

$$F = PM(I) \cdot 39,0 - PC(I) \cdot 10,3 + B(J) \quad (4.38)$$

unde: PC(I) - presiune doză con la nivelul I;

PM(I) - presiune doză manta+con la nivelul I;

A(J) - greutatea coloanei de tije la nivelul J;

B(J) - greutatea coloanei de tije cu manta la nivelul J;

S - suprafața conului de penetrare

I = $\overline{I, L}$, reprezintă intervalele la care se înregistrează datele primare;

$J = \overline{1, K}$, reprezintă intervalele de 1,0 m la care se prelungesc tijele,

10,3 și 39,0 -reprezintă valorile $\text{tg } \beta_1$ respectiv $\text{tg } \beta_2$ din graficele de etalonare a dozelor de presiune, fig.4.16 cu care este echipat penetrometrul, montat pe autolaboratorul catedrei de Drumuri și Fundații.

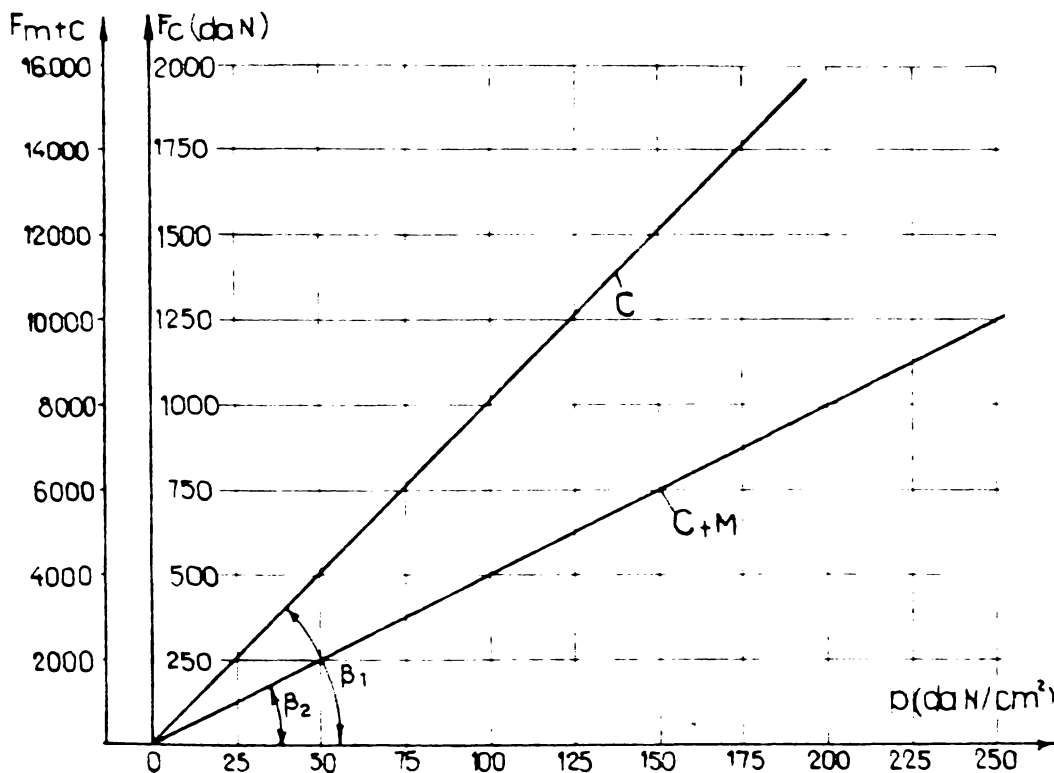


Fig.4.16. Diagrammele de etalonare a dozelor de presiune

La pământurile nisipoase, cu valoarea rezistenței de penetrare pe con, se calculează indicele porilor "E" cu relația din instrucțiunile C 159-73 [129] porozitatea "N" și greutatea volumică în stare uscată "G" pentru calculul căreia s-a considerat greutatea specifică a scheletului, $\rho_g = 2,65 \text{ g/cm}^3$.

Coeziunea, "C" a argilelor moi, a mlurilor etc, pentru care unghiul de frecare interioară este neglijabil ($\phi \approx 0$) se determină cu formula generală 2.38 în care $A = 14$.

Modulul de deformație edometric, M se stabilește orientativ cu relația 2.41.

$$M = \alpha R_p$$

unde: $\alpha = 1,5$ pentru nisipuri cu $R_p > 45 \text{ daN/cm}^2$,

$2 < \alpha < 5$ pentru nisipuri și argile compacte avînd $15 < R < 30 \text{ daN/cm}^2$

$5 < \alpha < 10$ pentru argile moi cu $R_p < 10 \text{ daN/cm}^2$.

În cadrul programului, a cărei schemă logică se prezintă în figura 4.17, se calculează toate caracteristicile susmenționate, respectiv modulul edometric cu toți coeficienții α , urmînd ca cel ce interpretează rezultatele, din "Tabelul valorilor calculate" să aleagă acele valori care sînt concludente pentru stratificația te-

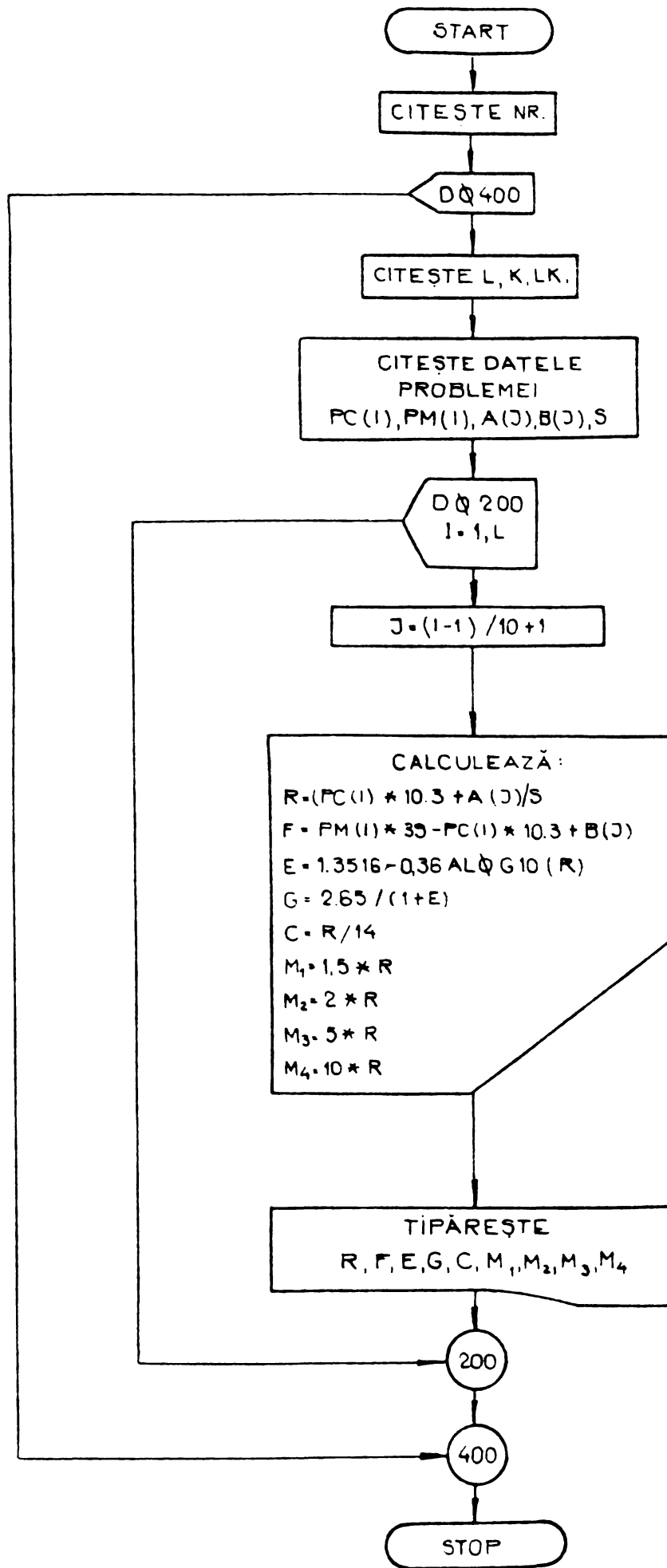


Fig.4.17. Schema logică a programului KARSOIL

Notă: LK reprezintă numărul de ordine al sondeajului de penetrare

renului de pe amplasamentul sondajului de penetrare.

In anexă se prezintă, pentru exemplificare, programul rulat pentru cîteva sondaje de penetrare statică de pe amplasamentul noului cartier "1 Mai" din municipiul Craiova.

4.2.Aspecte privind îmbunătățirea aparaturii de penetrare dinamică

Introducerea pe scară largă a metodei de cercetare a terenurilor "în situ" prin sondaje de penetrare dinamică cu con este posibilă numai prin dotarea unităților de profil cu aparatură produsă la noi în țară. In acest sens prin contractul 10119/1977 încheiat cu INCERC București [135] s-au proiectat, experimentat și omologat prototipurile pentru penetrometrul dinamic ușor cu acționare manuală și penetrometrul dinamic mediu-greu cu acționare mecanică, pe baza cărora se va putea trece la producția de serie a acestor penetrometre.

Una din direcțiile principale ale cercetării s-a axat pe îmbunătățirea aparaturii de penetrare proiectată și executată de catedra de Drumuri și Fundații în colaborare cu IPROTIM în perioada 1958-1964, așa cum s-a arătat la punctul 1.7.4. In cadrul studiilor și cercetărilor s-au urmărit aspecte legate de buna funcționare a aparaturii, ușurarea tehnologiei de executare a sondajului de penetrare dinamică și aspecte cu caracter economic.

Proiectele penetrometrelor omologate în cadrul contractului cu INCERC București [135], cît și cele ale modelelor experimentale s-au realizat de către un colectiv de ingineri mecanici din cadrul catedrei în colaborare cu ICPAIUC București, formația Timișoara, în baza temei de proiectare elaborată la sugestia și sub îndrumarea conducătorului științific și în baza studiilor și observațiilor efectuate de autor, cu ocazia cercetărilor de teren. Deasemenea programul de experimentări în vederea omologării s-a întocmit și s-a desfășurat sub conducerea autorului.

4.2.1. Penetrometru dinamic ușor cu acționare manuală

La proiectarea penetrometrului dinamic ușor cu acționare manuală, care s-a omologat în 1977, s-au utilizat observațiile efectuate dealungul a peste 15 ani, menite să înlăture unele deficiențe legate în special de modul de îmbinare a tronsoanelor de tijă care trebuie să asigure continuitate, liniaritate, rapiditate și simplitate în prelungirea coloanei de tije și fiabilitate. Deasemenea s-a urmărit utilizarea unui material care să asigure fiabi-

litate întregului ansamblu ținând seama de solicitările dinamice repetate și de uzura pronunțată a conului în procesul de dislocare a terenului.

Caracteristicile de bază ale penetrometrului dinamic ușor sînt cele cuprinse în tabelul 1.5.

Pentru realizarea dezideratelor prezentate mai sus, PDU manual s-a proiectat cu tronsoane de tijă din țevă de oțel OLT 65, cu lungime de 1,0 m, prevăzute cu filet interior la ambele capete care se îmbină cu un dorn filetat. În acest fel s-a înlocuit vechiul sistem la care tijele tubulare erau prevăzute cu cep și mufă sudate la capete, care formau zonele vulnerabile ale penetrometrului prin cedarea sau deformarea îmbinării sudate.

Pentru recuperarea coloanei de tije s-a înlocuit extractorul sub formă de vinci cu cremalieră, fig.1.24 b care la manevrarea defectuoasă solicită la încovoiere coloana de tije, cu extractorul cu con și bile, fig.4.18 care prin construcția sa poate solicita coloana numai axial.

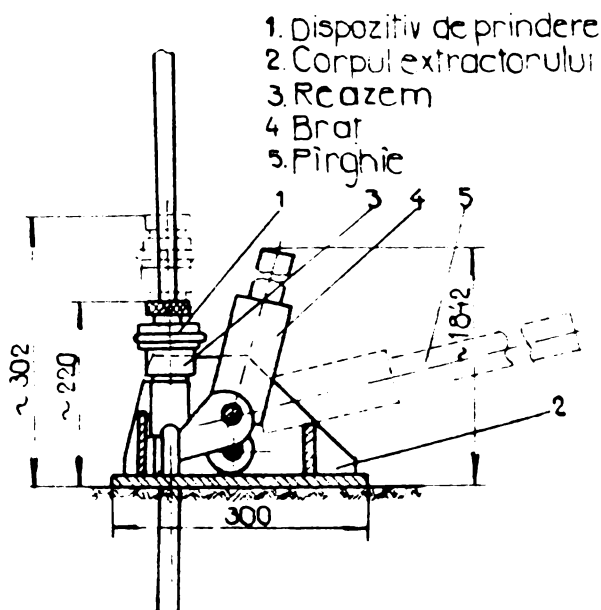


Fig.4.18. Extractorul cu con și bile

Extractorul este format dintr-un corp cu gaură conică în care este montată o colivie cu bile care fixează tija prin împănare la mișcarea în sus, respectiv o eliberează la mișcarea inversă.

Modificările aduse penetrometrului au dus la asigurarea funcționării acestuia în condiții foarte bune, fapt constatat în cadrul experimentărilor efectuate pentru omologare.

4.2.2. Penetrometre dinamice cu acționare mecanică

Pentru ușurarea operațiilor și reducerea volumului de manoperă necesar efectuării sondajului de penetrare s-au proiectat penetrometrele cu acționare mecanică, care în același timp asigură și o execuție mai corectă a sondajului prin păstrarea constantă a frecvenței și înălțimii de cădere a berbecului. Pentru sporirea siguranței la înregistrarea datelor primare penetrometrele s-au echipat cu instalație electrică de numărare.

Penetrometrele cu acționare mecanică s-au proiectat cu caracteristicile de bază prezentate în tabelul 1.5.

Ele s-au realizat în următoarele variante:

- penetrometru dinamic ușor acționat cu motor electric realizat pînă la ora actuală ca model experimental;
- penetrometru dinamic mijlociu și greu acționat cu motor termic și electric omologat în 1978 în baza contractului 10119/77 [135].

Penetrometrul dinamic mijlociu și greu, fig.4.19 este realizat sub forma unui singur aparat la care berbecul are masa de 35 kg corespunzătoare penetrometrului dinamic mijlociu și care prin adăugarea a două elemente adiționale ajunge la masa de 50 kg corespunzătoare penetrometrului dinamic greu.

Pentru asigurarea funcționării penetrometrului pe orice amplasament el a fost dotat cu motor termic și motor electric.

Părțile principale ale penetrometrului dinamic cu con cu acționare mecanică sînt:

- catargul metalic;
- talpa de rezemare cu două roți cu cameră;
- motorul termic și electric;
- dispozitivul de batere;
- coloana de tije;
- conul de penetrare;
- dispozitivul de numărare a loviturilor.

Pentru extragerea coloanei de tije, penetrometrul este dotat cu extractor cu con și bile, fig.4.18.

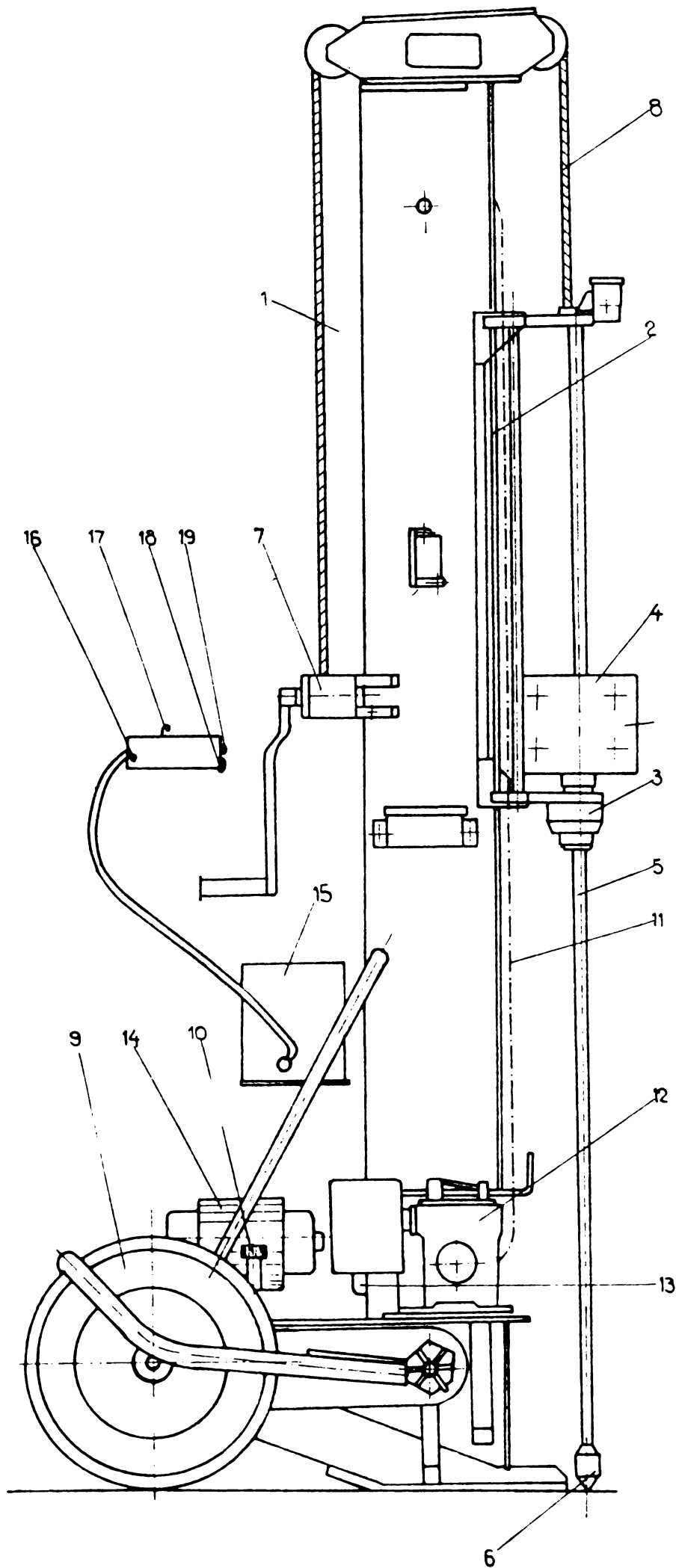
Catargul metalic susține dispozitivul de batere și asigură verticalitatea aparatului în timpul efectuării sondajului de penetrare. El formează scheletul de rezistență al aparatului.

Talpa de rezemare este alcătuită din profile metalice care formează suportul catargului și de care sînt fixate motoarele de acționare. De talpa de rezemare sînt prinse și cele două roți prin care se asigură transportul și calarea aparatului.

Motorul termic este fabricat de IUP Sibiu pentru motoferestrăul "Retezat" FM 75-7. Are putere de 4,0 CP și turația 7000 rot/min.

Motorul electric este de tip Electromotor Timișoara B₃-80xl, lx 3000 A, cu putere de 1,1 KW și turația 2750 rot/minut.

Penetrometrul dinamic ușor, conceput după același principiu, este echipat numai cu motor electric de tip B₃ - 90 Sxl, lx1500 A, cu putere de 1,1 KW și turația 1390 rot/minut.



1. Catarg de ghidare cu talpă
2. Sistemul de lovire
3. Nicovală cu dispozit de fixare
4. Berbec
5. Tijă
6. Con de penetrare
7. Troliu manual
8. Cablu de ridicare
9. Roți cu cameră de aer
10. Rozete reglare pt. verticalizare
11. Lanț de antrenare berbec
12. Reductor de turație
13. Motor termic
14. Motor electric
15. Tablou electric
16. Cutia de comandă
17. Întrerupător
18. Indicator de nr. de lovituri
19. Bec semnalizare

Fig.4.19. Schema penetrometrului dinamic mijlociu și greu cu acționare mecanică

Dispozitivul de baterie este format din berbec, tijă de ghidaj nicovală și limitator de cursă. Lanțul cu eclise, antrenat de motor, ridică berbecul pînă la opritor asigurînd frecvența de 24 lov/min.

Coloana de tije este formată din tronsoane de 1,0 m lungime îmbinate în același fel ca la PDU manual.

Instalația electrică de numărare conține un numărător de impulsuri de tip telefonic comandat de limitatorul de cursă al berbecului și un bec de sesizare a fiecărui tronson de 10 cm de tijă pătrunsă în teren.

Efectuarea sondajului de penetrare comportă cele trei operații clasice: pregătirea încercării, efectuarea propriuzisă a acesteia și recuperarea coloanei de sondare.

În cele ce urmează se vor aminti doar fazele specifice penetrometrelor cu acționare mecanică.

Transportul penetrometrului pînă la punctul de lucru se face prin tractare, el deplasîndu-se pe cele două reți.

Calarea aparatului în poziție verticală se face folosind rozețele de la sistemul de reglare a roților. După montarea primului tronson de tijă care la capăt are conul, se cuplează aparatul la sursa de curent în cazul acționării cu motor electric și se cuplează cutia de comandă la tabloul electric sau la baterii, în cazul acționării termice.

Pentru efectuarea sondajului de penetrare se pornește motorul punînd în mișcare lanțul cu eclise care antrenează berbecul. La atingerea limitatorului superior de cursă, berbecul va comanda comutatorul electric care este legat de contorul de lovituri din cutia de comandă. La pătrunderea a 10 cm de tijă în teren, becul roșu din cutia de comandă se aprinde indicînd operatorului să înregistreze valoarea de pe ecranul contorului. Cînd prima tijă a pătruns în teren limitatorul de cursă de pe catargul penetrometrului va opri automat motorul de antrenare.

Pentru prelungirea coloanei de tije se agață subansamblul berbec nicovală de cîrligul troliului manual și unul din muncitori ridică foarte puțin și încet întregul subansamblu în timp ce cel de-al doilea muncitor desface legătura dintre tija aflată în teren și capul de prindere a nicovalei. Se ridică întregul subansamblu la partea superioară a catargului și se montează o nouă tijă prin infilatare, după care se pornește din nou penetrometrul, Operațiile se repetă pînă la efectuarea sondajului.

Recuperarea echipamentului de sondare se face cu extractorul

cu con și bile, după desfacerea legăturii dintre coloana de tije și nicovală și îndepărtarea penetrometrului care se înclină spre spate pînă se sprijină numai pe cele două roți, poziție în care se poate tracta.

Se menționează că penetrometrul este deservit de 2 muncitori de preferință un sondor și un muncitor necalificat.

4.2.3. Experimentarea penetrometrelor pentru omologare

S-a efectuat pe baza unei fișe de testare, pe diverse amplasamente, în diferite categorii de terenuri. Scopul experimentărilor reflectat prin conținutul fișei de testare, a fost verificarea bunei funcționări a penetrometrului PDU manual și a penetrometrelor dinamice mecanice în toate variantele, depistarea defecțiunilor și eventualelor fenomene parazitare care ar consuma o parte din lucrul mecanic dezvoltat de berbec și care ar conduce la denaturarea rezultatelor penetrării.

Deasemenea s-a urmărit însușirea și îmbunătățirea tehnologiei de lucru în care scop s-a făcut instruirea permanentă a echipei de lucru și cronometrarea diverselor operații, timpul minim indicînd cel mai bun procedeu de lucru. Spre exemplu: din analiza fișelor de testare întocmite pentru PDM-G mecanic au rezultat timpii necesari pentru diferite operații care nu depind de natura terenului, astfel:

- așezarea aparatului în poziție de lucru, în medie 2 minute
- prelungirea tijelor, 2 -3 minute
- pregătirea coloanei de sonde pentru extragere, 3-4 minute
- extragerea unui tronson de tijă, 1-2 minute.

Un alt aspect urmărit s-a referit la consumul de energie și combustibil, care s-a constatat în ambele cazuri (motor electric sau termic) că a fost foarte redus.

Experimentarea penetrometrelor pentru omologare, a permis desprinderea unor avantaje față de penetrometrele utilizate anterior.

La PDU manual s-a asigurat îmbinare mai corectă și fiabilă a tronsoanelor de tijă și s-a rezolvat problema recuperării coloanei de tijă fără riscul de a deforma tronsoanele.

PDM-G mecanic este un penetrometru care diferă radical de cel inițial, de la care s-au preluat numai caracteristicile de bază și care s-a utilizat rar din cauza tehnologiei greoaie de executare a sondajului de penetrare. PDM-G mecanic prezintă următoarele avantaje:

- aparatul este ușor transportabil, avantaj care permite deplasarea lui de la un punct de lucru la altul de către echipa de lucru;
- punerea aparatului în poziție de lucru se face fără dificul-

tate și rapid;

- introducerea în teren a coloanei de sondaj are loc fără nici un efort din partea echipei de lucru, berbecul fiind acționat mecanic;
- prelungirea ușoară a coloanei de tije;
- executarea corectă a sondeajului de penetrare prin reglarea exactă a înălțimii de cădere a berbecului și a frecvenței loviturilor;
- eliminarea erorilor de măsurare a intervalului de 10 cm la care se înregistrează numărul de lovituri și al greșelilor de numărare a acestora, prin echiparea penetrometrului cu instalația electrică de numărare;
- recuperarea ușoară a coloanei de tije prin utilizarea extractorului cu con și bile;
- consum redus de energie electrică sau combustibil;
- asigurarea unui randament ridicat prin punerea foarte rapidă a penetrometrului în poziție de lucru, prin executarea mecanică a sondeajului propriu-zis și prin recuperarea ușoară a coloanei de tije;
- reducerea echipei de lucru la 2 oameni și a volumului de manoperă prin mecanizarea operației de sondaj propriu-zis.

4.3. Contribuții privind extinderea metodei penetrării dinamice cu con în țara noastră prin elaborarea instrucțiunilor C 176/1975

Pentru extinderea metodei de cercetare "in situ" prin sondeaje de penetrare dinamică cu con, un colectiv din cadrul catedrei de Drumuri și Fundații a Institutului Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, din care a făcut parte și autorul, a elaborat: "Instrucțiunile tehnice pentru folosirea penetrării dinamice cu con la cercetarea terenurilor" indicativ C 176-75 [131] [132] publicat în Buletinul Construcțiilor nr.1/1976.

La baza elaborării instrucțiunilor a stat un material întocmit în cadrul unui contract de cercetare științifică cu INCERC București [78] care reflectă concluziile obținute de colectivul de elaborare în urma studiilor și cercetărilor de laborator și teren efectuate până în anul 1973, în domeniul investigării terenurilor prin sondeaje de penetrare. Deasemenea, de un real folos a fost experiența colectivului de la IPROTIM [37] care folosește de mai mulți ani metoda penetrării dinamice la elaborarea studiilor geotehnice, colectiv cu care s-a colaborat mult în acest domeniu [73] [74] [75] etc.

Instrucțiunile cuprind șase capitole principale și anume:

Capitolul 1	- Prevederi generale
Capitolul 2	- Domeniu de folosire
Capitolul 3	- Descrierea aparaturii
Capitolul 4	- Efectuarea încercării de penetrare dinamică
Capitolul 5	- Rezultate ce se obțin prin încercarea de penetrare dinamică
Capitolul 6	- Principii de interpretare a rezultatelor

In capitolul 1 se tratează probleme generale legate de penetrarea dinamică cu con fiind precizată definiția metodei și aparatura utilizată.

In capitolul 2 se precizează domeniul de aplicare a metodei, în baza studiilor și experienței dobândite în urma cercetărilor efectuate în laborator și pe teren [78].

In capitolul 3 este descrisă aparatura cu caracteristicile ei generale, fără a fi prezentat un anume penetrometru, întrucât există o diversitate mare de aparate utilizate atât în țară cât și în străinătate.

In tabelul 1 [131](identific cu tabelul 1.5) sînt prezentate principalele caracteristici ale penetrometrelor utilizate mai frecvent în țara noastră, ele fiind în conformitate cu normele germane DIN 4094/1 [123].

In capitolul 4 se descrie modul de efectuare a sondajelor de penetrare, înregistrarea și prezentarea rezultatelor penetrării dinamice cu con precum și măsurile pentru protecția muncii, care trebuie respectate la efectuarea încercării.

In capitolul 5 este prezentat domeniul de folosire a rezultatelor penetrării dinamice cu con și factorii care influențează asupra datelor primare cu indicarea modului în care se ține seama de aceștia pentru a obține date semnificative pentru sondajul respectiv.

In capitolul 6 se prezintă principii de interpretare a rezultatelor penetrării. Capitolul are la bază concluziile desprinse în urma studierii unui vast material bibliografic și a experiențelor efectuate în laborator și pe teren.

Prelucrarea cantitativă a datelor, pe baza corelațiilor existente, fiind cu domeniu de valabilitate redus, s-au indicat aspecte ale prelucrării calitative a rezultatelor.

Ținînd seama de faptul că metoda penetrării face parte din ansamblul metodelor corelative, și prin prelucrarea calitativă a datelor se obțin elemente capabile să reducă volumul lucrărilor clasice de investigație și să asigure o cercetare mai amănunțită a amplasamentului prin numărul mare de sondaje care se pot executa în timp scurt și cu cheltuieli reduse.

În cadrul capitolului se prezintă rezultatele calitative furnizate de penetrarea dinamică cu con în domeniul extrapolării identificării litologice făcută prin sondeje de suprafață sau adâncime pentru reperarea diferitelor orizonturi litologice, verificarea îndesării depozitelor naturale sau a compactării celor artificiale, determinarea grosimii unor straturi sensibile la umezire. Deasemeni prin metoda penetrării dinamice cu con se poate reduce volumul încercărilor de probă privind aprecierea capacității portante a piloților.

În anexa la instrucțiuni se prezintă câteva exemple pentru ilustrarea modului în care se analizează factorii de influență și se ține seama de ei pentru interpretarea corectă a rezultatelor penetrării.

Față de volumul de date și informații de care s-a dispus la data întocmirii instrucțiunilor, la ora actuală s-a obținut încă o serie de elemente legate de aparatură și interpretarea rezultatelor penetrării pe baza cărora se vor putea elabora instrucțiunile tehnice într-o nouă ediție. Noua ediție va cuprinde și penetrometrele cu acționare mecanică și aspecte legate de interpretarea cantitativă a datelor.

4.4. Unele aspecte cu privire la contribuțiile autorului la aplicarea în țara noastră a sondeajelor de penetrare dinamică cu con la cercetarea terenurilor

Studiile și cercetările proprii de laborator și teren au furnizat o serie de elemente calitative și cantitative pe baza cărora a fost posibilă desprinderea unor aspecte menite să contribuie la aplicarea metodei penetrării dinamice cu con în țara noastră.

Experiențele efectuate în laborator în condiții controlate și pe teren în paralel cu alte metode de investigație clasice sau "in situ" au permis stocarea unui volum mare de date care au servit la stabilirea unor corelații pentru determinarea unor caracteristici fizico-mecanice ale terenurilor pe baza rezistenței la penetrare.

În literatura de specialitate se găsesc foarte puține corelații între rezistența de penetrare exprimată prin numărul de lovituri N_{10} și unele caracteristici ale pământurilor coezive, ceea ce a condus la efectuarea unui volum mare de încercări pe argilele prăfoase din Timișoara în vederea stabilirii corelațiilor pentru aprecierea indicelui de consistență și a modulului de deformație edometric. Aceste corelații au valabilitate locală, dar în urma unor verificări prealabile, în condiții concrete de pe alte amplasamente vor fi situații în care ele vor fi aplicabile.

Pe baza experiențelor proprii, efectuate pe nisipuri mijlocii și fine, s-a constatat că pe lângă grade de îndesare situate în domeniul afînat, corelația 2.55 stabilită de Melzer [58] oferă valori prea mari. Acest fapt a condus la efectuarea unui număr mare de încercări pe nisipuri cu grade de îndesare situate în spectru larg, pe baza cărora autorul a stabilit corelația 4.28 care furnizează valori mai concludente în domeniul nisipurilor afînate.

Corelațiile stabilite de autor între numărul de lovituri N_{10} și rezistența de penetrare pe con R_p au utilitate practică în sensul că pe baza lor relații stabilite pentru aprecierea unor caracteristici geotehnice ale terenului cu datele penetrării statice, pot fi utilizate și la penetrarea dinamică la care posibilitatea directă de interpretare a datelor este mai limitată.

Din compararea corelațiilor stabilite de diverși cercetători pentru pământurile nisipoase (punctul 4.1.4.1 fig.4.8) a rezultat că nu toate furnizează rezultate apropiate, fapt care a reclamat stabilirea de către autor a corelației 4.32 a pe baza unui număr foarte mare de sondaje de penetrare statică și dinamică efectuate pe platforma C.P.Năvodari.

Studiile și experimentările efectuate de autor pentru îmbunătățirea aparatului de penetrare, s-au concretizat prin propuneri privind elaborarea proiectelor de execuție pentru prototipuri, care au fost experimentate și omologate, pe baza cărora urmează să se treacă la producția de serie a următoarelor penetrometre: penetrometrul dinamic ușor cu acționare manuală și penetrometrul dinamic mijlociu și greu cu acționare mecanică; acesta din urmă facilitează executarea sondajelor de penetrare la adâncimi mari (peste 10 m). Dacă pînă la ora actuală, la noi în țară, majoritatea sondajelor de penetrare dinamică s-au efectuat cu penetrometrul dinamic ușor, a fost din cauza tehnologiei greoaie de execuție a sondajului de penetrare cu penetrometrul dinamic mijlociu și greu cu acționare manuală, aspect rezolvat prin prototipul omologat și sus menționat.

Cu prilejul anchetei efectuate înainte de omologare cu privire la solicitarea acestor penetrometre de către diverse unități de profil, care se ocupă de cercetarea terenurilor de fundare sau de testarea calității lucrărilor de îmbunătățire a terenurilor slabe, s-a constatat existența unor unități care solicită aparatul și prezintă mult interes pentru cercetarea terenurilor prin metoda penetrării dinamice. Astfel, 20 unități au solicitat 201 bucăți penetrometre dinamice cu acționare manuală, eşalonat pe 5 ani

și 16 unități au solicitat 55 penetrometre mijlocii și grele cu acționare mecanică, deasemenea eșalonat pe aceeași perioadă, ceea ce justifică realizarea penetrometrelor menționate anterior.

Deasemenea, unor unități de construcții, dintre care se menționează T.C.Ind.Constanța, T.C.Ind.Timișoara, IJCM Reșița, li s-a pus la dispoziție proiectul pentru PDU manual, pe baza căruia și-au executat penetrometre, pe care le-au utilizat pentru testarea calității unor lucrări de compactare de suprafață și adâncime, echipele de lucru ale acestor unități fiind instruite de personalul catedrei sub îndrumarea autorului, iar în perioada de testări autorul a acordat asistență tehnică.

Contribuția autorului la elaborarea instrucțiunilor tehnice C 176-75, pe baza experienței dobândite în domeniul cercetării terenurilor prin sondaje de penetrare dinamică și omologarea prototipurilor pentru producția de serie a aparatului sînt cele două dezerate importante pentru generalizarea la noi în țară a cercetării "in situ" ale terenurilor prin metoda penetrării dinamice cu con, metodă ce permite scăderea cheltuielilor necesare lucrărilor de investigație și reducerea volumului de manoperă în special în cazul utilizării penetrometrelor cu acționare mecanică.

În activitatea depusă s-a ținut seama și de aspectul economic. Astfel, în condițiile reducerii la minim posibil a determinărilor de laborator pe probe prelevate din foraje, înlocuirea unui metru liniar de foraj cu sondaj de penetrare dinamică are ca efect reducerea cheltuielilor de cercetare în adâncime al terenului de fundare cu circa 85 % la terenurile nisipoase și cu 88-92 % la pămînturile argiloase. Înlocuirea a 50 % din lucrările clasice de investigație cu sondaje de penetrare dinamică duce la reducerea cheltuielilor de prospectare în adâncime cu circa 40-45 % [79].

Numai în ultimii 10 ani, în cadrul cercetărilor efectuate pentru elaborarea studiilor geotehnice de către catedra de Drumuri și Fundații, utilizarea metodei penetrării dinamice cu con a permis realizarea unei economii de cca 320.000 lei (în medie 2000 lei economie la un studiu geotehnic) la care se adaugă economii importante prin folosirea metodei la aprecierea capacității portante a piloților și la testarea calității lucrărilor de îmbunătățire ale terenurilor slabe de fundare.

x
x x

CAPITOLUL 5

CONCLUZII FINALE

Avantajele tehnice și economice oferite de metoda de cercetare "in situ" a terenurilor prin sondaje de penetrare dinamică cu con, care prezintă tehnologie ușoară, randament ridicat și cost redus, sînt considerente care pledează pentru generalizarea metodei în țara noastră în vederea utilizării ei de către unitățile de cercetare, proiectare și execuție.

Pentru realizarea acestui deziderat, autorul a desfășurat un vast program de studiu și cercetări experimentale prin care a urmărit:

- stabilirea domeniului de utilizare a metodei;
- îmbunătățirea parametrilor și sistemelor constructive ale aparatului existente pentru trecerea la producția de serie a penetrometrelor, uniformizarea și perfecționarea tehnologiei de execuție a sondajelor de penetrare dinamică cu con;
- interpretarea corectă și completă a datelor primare obținute la efectuarea sondajului de penetrare;
- elaborarea unor instrucțiuni tehnice privind cercetarea terenurilor prin sondaje de penetrare dinamică cu con.

Aspectele urmărite sînt în concordanță cu preocupările pe plan mondial în domeniul cercetării terenurilor "in situ" prin penetrare dinamică cu con, aspecte subliniate în mod deosebit la "Simpozionul european privind testarea prin penetrare" care a avut loc la Stockholm în 1974 [12] și numeroase lucrări de specialitate [58] [94] [116].

Cercetările experimentale s-au desfășurat în condiții controlate de laborator la scară mare și pe teren, prin conjugarea sondajelor de penetrare dinamică cu metode clasice de investigație realizate prin foraje cu prelevări de probe și determinări de laborator sau cu alte metode de cercetare a terenului "in situ". Încercările de teren s-au efectuat în condiții experimentale sau în cadrul unor lucrări de colaborare cu producția, care au stat la baza elaborării unor studii geotehnice de amploare și a unor testări de terenuri consolidate [133] [134].

Studiile și cercetările experimentale efectuate pentru elucidarea aspectelor susmenționate au furnizat elemente noi, care constituie contribuții ale autorului în domeniul cercetării terenului prin penetrare dinamică cu con, care se prezintă condensat pe cele patru grupe de aspecte cercetate.

A. Contribuții privind stabilirea domeniului de utilizare a metodei de cercetare a terenului "in situ" prin penetrare dinamică cu con

1. Utilizarea de către autor a sondajelor de penetrare dinamică cu con, timp de peste 15 ani, la prospectarea terenului în vederea elaborării studiilor geotehnice (paragr. 3.3) a pus în evidență posibilitatea înlocuirii parțiale a lucrărilor clasice de investigație sau a altor lucrări de cercetare "in situ" prin sondaje de penetrare dinamică, care are ca efect scurtarea timpului afectat cercetării terenului, diminuarea volumului de manoperă și realizarea unor economii importante, semnalate în paragraful 4.4.

2. Studiile efectuate au arătat că prospectarea în adâncime a terenului prin sondaje de penetrare dinamică cu con se pretează foarte bine la pământurile necoezive care nu conțin fragmente mari (punctul 3.2.1, fig. 3.6), fiind una din puținele metode care oferă posibilitatea aprecierii în condiții corespunzătoare și în termen scurt a unor caracteristici geotehnice ale nisipurilor situate la adâncime și sub nivelul apei subterane, din care cum este cunoscut, în genere nu este posibilă recoltarea probelor netulburate.

3. La pământurile coezive, sondajele de penetrare dinamică cu con se pot utiliza pentru delimitarea grosimii straturilor de consistență diferită, situate deasupra cotei de la care apare frecarea pe coloana de tije a penetrometrului (punctul 3.2.4, fig. 3.15), nivel de la care datele nu mai sînt concludente datorită majorării artificiale a rezistenței la penetrare. Aprecierea unor caracteristici geotehnice ale unui pământ coeziv, cum este indicele de consistență și modulul de deformație edometric, se poate efectua pe baza unor corelații stabilite pentru pământul respectiv sau pentru pământuri cu compoziție granulometrică asemănătoare, caz în care trebuie verificată valabilitatea corelației înainte de utilizare, prin determinări de laborator pe probe prelevate. Valori apropiate între caracteristica terenului determinată în laborator și pe teren pe baza rezistenței la penetrare, cu ecarturi maxime 10-15 %, confirmă valabilitatea corelației.

4. Pentru prospectarea în adâncime a terenului prin sondaje de penetrare dinamică cu con corelate cu metode clasice de investigație, se apreciază că cercetarea terenului pe amplasament trebuie să înceapă prin executarea unui foraj cu prelevări de probe pentru determinări de laborator. Acest foraj se cuplează cu un sondaj de penetrare pe baza căruia se construiește o diagramă de penetrare etalon, cu care se compară diagramele sondajelor de penetrare efec-

tuat în locul unde trebuiau executate alte foraje (conform STAS 1242/1-73), ceea ce va permite semnalarea unor zone în care intervin schimbări în stratificația terenului față de cea interceptată în foraj. În cazul terenurilor omogene nu se execută alte foraje, fapt care conduce la reducerea substanțială a volumului lucrărilor clasice de investigație, spre deosebire de terenurile neomogene în cazul cărora se execută foraje în toate zonele în care diagramele de penetrare prezintă modificări pronunțate față de diagrama etalon.

5. Studiile experimentale efectuate pe o serie de amplasamente pentru testarea prin sondaje de penetrare dinamică cu con a calității lucrărilor de compactare de suprafață sau de adâncime a unor terenuri de fundare slabe, alcătuite din pachete de pământuri nisipoase afânate sau pământuri slab coezive de consistență redusă (paragr.3.4), au dovedit eficiența metodei cu referire la verificarea comodă a omogenității compactării și a adâncimii pînă la care se resimte influența acesteia.

6. Testarea compactărilor de suprafață (pe adâncime de 2,0 - 3,0 m) a rezultat că se poate efectua în exclusivitate prin penetrare dinamică cu con, pe baza căreia se pot aprecia și unele caracteristici ale terenului (fig.4.11) cum este indicele porilor, greutatea volumică în stare uscată și modulul de deformare edometric.

7. Pentru verificarea calității compactărilor de adâncime (6,0-10,0 m) sondajele de penetrare dinamică se pot utiliza numai pentru reducerea volumului altor lucrări de testare care sînt mai costisitoare. Înlocuirea totală a acestor lucrări prin sondaje de penetrare dinamică nu este posibilă din cauza pericolului de apariție a forței de frecare pe coloana de tijă a penetrometrului (fig. 3.34) care ar putea denatura rezultatele testării.

8. Sondajele de penetrare dinamică cu con permit reducerea volumului încercărilor de probă pentru aprecierea capacității portante a piloților, efectuate conform STAS 2651/2-75. În acest sens, lângă pilotul încercat prin încărcare statică de probă, se execută un sondaj de penetrare dinamică cu con, pe baza căreia se construiește o diagramă etalon cu care se compară diagrama sondajelor de penetrare efectuate în vecinătatea piloților a căror capacitate portantă trebuie stabilită. Dacă diagrama de penetrare a sondajului de lângă un pilot are alura asemănătoare cu diagrama etalon, rezultă că pilotul respectiv are capacitatea portantă apropiată de cea a pilotului de probă. În caz contrar, alura diferită a diagramei de penetrare față de diagrama etalon semnaleză modificarea capacită-

ții portante a piloților ce reclamă efectuarea încercării de probă.

9. Studiile și cercetările experimentale efectuate pentru aprecierea capacității portante a piloților scurți (fișa 3,40-6,00m) prin metoda penetrării dinamice cu con, prezentate în paragraful 3.6, au reliefat posibilitatea utilizării metodei cu rezultate bune în pachete de pământuri slabe în care piloții sînt flotanți, precum și în terenuri unde sub pachetul de pământuri slabe apare un strat de bază rezistent, (fig.3.41), situație în care piloții sînt purtători pe vîrf. Ecarturile maxime înregistrate față de capacitatea portantă determinată prin încercarea de probă, conform STAS 2651/2-75, sînt de $\pm 20\%$.

B. Contribuții privind îmbunătățirea parametrilor și sistemelor constructive ale aparatului și perfecționarea tehnologiei de execuție a sondajelor de penetrare dinamică cu con

1. În cadrul experimentărilor de teren efectuate, dealungul a peste 15 ani, cu penetrometrul dinamic ușor, PDU, autorul a efectuat studii și observații asupra fiabilității și funcționării acestuia pe baza cărora s-a elaborat proiectul penetrometrului omologat în 1977. Acest penetrometru s-a realizat din oțel OLT 65 cu calități superioare care conferă fiabilitate aparatului. Vechiul sistem de îmbinare a tijelor cu cep și mufă sudate la extremitățile tijei s-a înlocuit cu îmbinare cu dorn filetat introdus în interiorul a două tronsoane de tijă adiacente (punctul 4.2.1) care asigură liniaritate, rapiditate și simplitate în prelungirea coloanei de tije.

2. Observațiile efectuate asupra procesului de recuperare din teren a echipamentului de sondare cu ajutorul extractorului cu cremalieră (fig.1.24) au semnalat că la manevrarea defectuoasă a acestuia coloana de tije este solicitată la încovoiere, ce are ca efect distrugerea îmbinărilor dintre tronsoanele de tijă. Acest neajuns s-a rezolvat prin proiectarea extractorului cu con și bile (fig.4.18) care prin construcția sa produce în coloana de tije numai solicitări axiale de întindere.

3. Studiile și observațiile autorului, cu referire la executarea sondajului de penetrare cu penetrometrul dinamic mijlociu și greu (fig.1.25) cu acționare manuală, au relevat unele deficiențe ale aparatului care au dus la utilizarea sa pe scară redusă. Aceste deficiențe, referitoare la execuția greoasă a sondajului, dificultatea de menținere a unei frecvențe constante a căzăturilor berbecului,

transportul și instalarea grea a aparatului au reclamat proiectarea penetrometrului cu acționare mecanică (fig.4.19) care a fost omologat în 1978. Acest penetrometru diferă radical față de cel manual de la care s-au preluat numai caracteristicile de bază (tabel 1.5).

Penetrometrul mijlociu și greu cu acționare mecanică prezintă avantaje tehnice și economice care permit lărgirea sferei de utilizare a penetrometrului și care se caracterizează prin:

- execuția ușoară a sondeajului de penetrare prin antrenarea mecanică a berbecului;

- transportul și instalarea rapidă și fără dificultăți a aparatului;

- realizarea penetrometrului dinamic mijlociu și greu sub forma unui singur aparat la care berbecul are masa corespunzătoare penetrometrului mijlociu, care prin adăugarea a două elemente adiționale ajunge la masa corespunzătoare penetrometrului greu;

- asigurarea funcționării pe orice amplasament prin echiparea penetrometrului cu motor termic și motor electric;

- realizarea lucrului mecanic constant prin asigurarea riguroasă a cursei berbecului și a căderii libere a acestuia fără impuls inițial sau consum de energie datorită unor fenomene parazitare cum ar fi frecarea pe tija de ghidaj;

- menținerea constantă a frecvenței căzăturilor berbecului prin mișcarea cu viteză constantă a lanțului de antrenare a berbecului;

- asigurarea preciziei și siguranței înregistrării numărului de lovituri pentru pătrunderea penetrometrului pe adâncime constantă de 10 cm, prin echiparea aparatului cu instalație electrică de numărare;

- consum redus de manoperă;

- consum redus de combustibil sau energie electrică.

4. În vederea omologării penetrometrului dinamic ușor cu acționare manuală și a penetrometrului dinamic mijlociu și greu cu acționare mecanică, autorul a elaborat și efectuat un vast program de experimentări prin care s-a urmărit testarea bunei funcționări a penetrometrelor, depistarea defecțiunilor și a fenomenelor parazitare care conduc la denaturarea rezultatelor sondeajului (punctul 4.2.3). Pe baza observațiilor și a constatărilor făcute s-au adus o serie de îmbunătățiri proiectelor de execuție a penetrometrelor.

5. În cadrul programului de experimentări pentru omologarea penetrometrului dinamic mijlociu și greu cu acționare mecanică, s-a elaborat și tehnologia de execuție a sondeajului de penetrare cu acest aparat, tehnologie care prezintă o serie de particularități

față de cea utilizată în cazul penetrometrelor cu acționare manuală.

6. Omologarea penetrometrului dinamic ușor cu acționare manuală și a penetrometrului mijlociu și greu cu acționare mecanică [135] asigură trecerea la producția de serie a penetrometrelor în vederea dotării cu aparatură a unităților de profil, deziderat necesar pentru generalizarea în țara noastră a metodei de cercetare a terenurilor prin sondaje de penetrare dinamică cu con.

C. Contribuții privind interpretarea corectă și completă a datelor primare obținute la efectuarea sondajului de penetrare dinamică cu con

Preocuparea autorului pentru aducerea unor contribuții în domeniul interpretării datelor sondajului de penetrare dinamică s-a axat pe două direcții:

- a) studiul factorilor care influențează asupra rezistenței la penetrare;
- b) stabilirea unor corelații între rezistența la penetrare exprimată prin numărul de lovituri, N_{10} și unele caracteristici ale terenului și determinarea legăturii dintre N_{10} și rezistența la penetrare statică, R_p .

Ga. Contribuții privind influența unor factori asupra rezistenței la penetrare

Studiile experimentale efectuate de autor pentru elucidarea influenței unor factori asupra datelor penetrării dinamice cu con (paragr. 3.2) au furnizat elemente noi calitative și cantitative față de cele semnalate în literatură, foarte utile pentru interpretarea corectă a datelor penetrării, din care se desprind următoarele:

1. Studiile experimentale efectuate în laborator și pe teren (punctul 3.2.1) pe diverse pământuri au demonstrat că fără cunoașterea compoziției granulometrice nu este posibilă interpretarea corectă a datelor penetrării. În favoarea celor menționate anterior, pledează experiențele efectuate în laborator pe nisipuri avînd diverse compoziții granulometrice (fig. 3.1 și 3.3) și același grad de îndesare, la care s-au obținut valori diferite ale rezistenței la penetrare (fig. 3.5 și 3.6) și experiențele de teren pe nisipuri cu pietriș, în care s-au semnalat creșteri artificiale ale rezistenței la penetrare datorită prezenței fragmentelor mari (fig. 3.7 și 3.8).

2. Experiențele efectuate pe nisipuri mijlocii și fine (granulometria 1, fig. 3.1), în condiții controlate de laborator, pentru evidențierea influenței gradului de îndesare (punctul 3.2.2), au demons-

trat că majorarea îndesării duce la creșterea rezistenței la penetrare (fig.3.9). Experiențele fiind efectuate în diverse domenii ale gradului de îndesare s-a semnalat că în domeniul îndesărilor mari, creșterea rezistenței la penetrare este mai pronunțată (fig.3.10), datorită majorării mai accentuate ale caracteristicilor rezistenței la forfecare și a modulului de deformare, care influențează direct asupra rezistenței la penetrare (punctul 2.1.1.).

3. Din analiza experiențelor efectuate cu ocazia studierii diverșilor factori de influență, s-a constatat că adâncimea critică, definită la punctul 3.2.3. variază proporțional cu diametrul conului de penetrare (fig.3.11). Prin prelucrarea statistică a datelor experimentale (punctul 4.1.3, fig.4.4), înregistrate în nisipuri mijlocii și fine de îndesare medie s-a obținut pentru adâncimea critică, relația:

$$h_{cr} = 15,1 d + 17,5 \pm 11,3 \quad [\text{cm}] \quad (4.29 \text{ a})$$

Pentru penetrometrele dinamice utilizate în țara noastră (tab.1.5), adâncimea critică calculată cu relația (4.29 a) variază între 17-23 diametri de con, ceea ce corespunde cu rezultatele obținute pe cale experimentală și de alți cercetători [58] [102].

4. Încercările experimentale efectuate pe nisipuri având diverse îndesări au evidențiat variația invers proporțională a adâncimii critice cu gradul de îndesare (fig.3.9), concluzie importantă, ținând seama că în domeniul legăturii dintre adâncimea critică și gradul de îndesare, părerile cercetătorilor sînt controversate, așa cum s-a arătat la punctul 2.2.2.

5. Diagramele sondajelor de penetrare efectuate pe diverse amplasamente au dovedit că nu în toate cazurile se evidențiază adâncimea critică, datorită unei cruste tari care se formează de obicei la nivelul terenului și care împiedică posibilitatea de refulare în sus a pămîntului pe parcursul pătrunderii penetrometrului în teren. În figura 3.12 este prezentat un caz în care adâncimea critică se evidențiază clar, spre deosebire de cazul prezentat în figura 3.22, unde crusta superficială a umpluturii a împiedicat creșterea treptată a rezistenței la penetrare corespunzător adâncimii critice.

6. Sondajele de penetrare dinamică corelate cu alte lucrări de cercetare a terenului (punctul 3.2.4) au demonstrat că în cazul penetrometrelor dinamice care de obicei au tije neprotejată, apare de la un anumit nivel, forța de frecare pe coloana de tije a penetrometrului. Din analiza unui număr foarte mare de sondaje de penetrare

s-a observat că nivelul de la care apare frecarea depinde de natura terenului, de umiditatea acestuia și de prezența apei subterane, ultimele două elemente favorizând apariția frecării (fig.3.13 și 3.14).

Sondaje de penetrare dinamică și statică efectuate în paralel în nisipuri mijlocii și fine, afânate și de îndesare medie, situate sub nivelul apelor subterane (paragr.3.4) au relevat că frecarea își face apariția începând de la -3,50 m la nisipurile afânate (fig.3.16) și ajunge la 6,00 m la nisipurile cu îndesare medie (fig.3.33 și 3.34).

La pământurile coezive de consistență scăzută, frecarea pe tije constituie factorul care influențează în mod pregnant asupra rezultatelor penetrării, sporindu-le artificial (fig.3.15). La recuperarea obloanei de tije s-a observat că pe lângă frecarea propriu-zisă mai apare forța de aderență datorită lipirii pământului de tijă ce are ca efect majorarea forței pe suprafața laterală a tijei.

Stabilirea cu exactitate a adâncimii de la care se manifestă frecarea nu este posibilă, de aceea la interpretarea rezultatelor penetrării trebuie să se analizeze cu atenție variația rezistenței la penetrare care trebuie corelată cu date rezultate de pe urma cercetării terenului prin alte metode capabile să semnaleze apariția forței de frecare. Creșterea rezistenței la penetrare într-un strat în care nu s-au modificat caracteristicile terenului, constituie dovada manifestării forței de frecare.

7. Incercări efectuate în laborator pe nisipuri așezate în două straturi cu grade de îndesare diferite (punctul 3.2.6, fig.3.19 - 3.21) și pe teren în vecinătatea unor foraje (fig.3.22 și 3.23) au scos în evidență influența succesiunii straturilor prin variația rezistenței la penetrare, în zona limitei de separație dintre straturi, pe interval de 10-15 diametri de con. Trecerea de la un strat cu rezistență la penetrare mai scăzută la un strat mai rezistent (de ex. în fig.3.23 de la argila nisipoasă plastic vîrtoasă la nisip mare îndesat) duce la majorarea treptată a rezistenței la penetrare pe cea 10-15 diametri deasupra și sub limita de separație dintre straturi, explicat prin forma suprafețelor de alunecare (fig.2.3). Extinderea suprafeței de alunecare sub nivelul conului produce majorarea rezistenței la penetrare deasupra limitei de separație, iar extinderea ei deasupra nivelului conului duce la creșterea în continuare a rezistenței la penetrare pînă cînd întreaga suprafață de alunecare ajunge să fie cuprinsă în stratul inferior.

8. Studiile experimentale efectuate în laborator cu penetrometre cu parametri de bază variabili (tab.3.1 și 3.2) (diametru con, masa și înălțimea de cădere a berbecului) au relevat aspecte calitative care semnalează importanța luării în considerare a caracteristicilor penetro-

metrului la interpretarea rezultatelor, întrucât ele influențează asupra rezistenței la penetrare.

Experiențele efectuate cu diverse conuri de penetrare (tab. 3.2) au demonstrat că majorarea diametrului conului de penetrare în condițiile menținerii aceluiași lucru mecanic specific, duce la creșterea rezistenței la penetrare (fig.3.24 b) ca urmare a necesității unei energii mai mari pentru dislocarea de către conul de penetrare a unui volum mai mare de pământ.

Scăderea raportului dintre masa berbecului și masa coloanei de tije, ca urmare a prelungirii tijelor, are ca efect creșterea rezistenței la penetrare (fig.3.25) prin consumarea unei părți din energia de înfigere datorită deformațiilor coloanei de tije, care cresc odată cu lungimea ei.

Creșterea raportului dintre diametrul conului și diametrul tijei are ca efect majorarea rezistenței la penetrare (fig.3.24 a) prin consumarea unei părți din energia de înfigere datorită creșterii deformației coloanei de tije ca urmare a majorării coeficientului de zveltețe, odată cu reducerea diametrului tijei.

C.b. Contribuții privind interpretarea datelor penetrării dinamice pe baza unor relații stabilite experimental

Studiile experimentale efectuate în laborator în condiții controlate (punctul 3.1.2) și pe teren conjugate cu alte metode de investigație (punctul 3.1.3) au facilitat stocarea unor date experimentale în baza cărora prin prelucrare statistică, s-au stabilit corelații între rezistența la penetrare exprimată prin numărul de lovituri, N_{10} și unele caracteristici fizico-mecanice ale terenului. De asemenea s-au stabilit corelații dintre numărul de lovituri N_{10} și rezistența de penetrare statică pe con, R_p .

Complexitatea fenomenelor care au loc în teren la efectuarea sondajului de penetrare dinamică cu con (paragr.2.1) și multitudinea de factori care acționează concomitent (paragr.2.2) nu au permis găsirea unei soluții teoretice stotcuprinzătoare și au determinat apelarea la statistică matematică și teoria probabilităților în problemele de interpretare a datelor penetrării.

Valabilitatea corelațiilor obținute prin prelucrarea statistică a datelor experimentale este legată de compoziția granulometrică a pământului pentru care au fost stabilite datele experimentale și de caracteristicile penetrometrului utilizat, conform celor arătate la punctele C.a.1 și C.a.8.

1. Datele sondajelor de penetrare efectuate cu penetrometrul dinamic ușor, pe o serie de amplasamente din nordul și nord-vestul municipiului Timișoara, corelate cu valorile indicelui de consistență determinate în laborator pe probe prelevate din argila prăfoasă interceptată în forajele de control (în zona superficială cuprinsă între 1,0 la 4,0 m) au servit la stabilirea prin prelucrare statistică (punctul 4.1.1, fig.4.1) a relației:

$$I_0 = 0,0223 N_{10} + 0,47 \pm 0,105 \quad (4.21)$$

Aprecierea indicelui de consistență în funcție de rezistența la penetrare dinamică, exprimată prin numărul de lovituri, N_{10} are utilitate practică în proiectare, întrucât indicele de consistență este una din caracteristicile de bază pentru determinarea presiunii convenționale la pământurile coezive, conform STAS 8316/77.

Relația 4.21, stabilită de autor, are valabilitate locală, ea putînd fi extinsă și la alte zone cu același tip de pământ, după verificarea prealabilă a valabilității ei, așa cum s-a arătat în cadrul prezentului capitol, la punctul A-3.

2. Prin corelarea datelor sondajelor de penetrare dinamică, executate în condițiile și pe amplasamentele din zonele menționate la punctul precedent, cu valorile modulului de deformare edometric obținute în laborator pe probe netulburate de argilă prăfoasă (punctul 4.1.1, fig.4.2), autorul a obținut relația:

$$M = 71,09 \log N_{10} - 0,80 \pm 13,65 \quad (4.22 a)$$

Relația susmenționată are utilitate în proiectare, modulul de deformare edometric fiind folosit la calculul tasărilor probabile.

Mențiunea cu privire la aplicabilitatea relației 4.21 este valabilă și pentru relația (4.22 a).

3. Studiile experimentale efectuate cu penetrometrul dinamic ușor, PDU și cu penetrometre model (tab.3.1) în condiții de laborator, pe nisipuri mijlocii și fine (granulometria 1, fig.3.1) introduse în vasul metalic prezentat în figura 3.2, astfel încît să se realizeze diverse îndesări, au servit la stabilirea corelației dintre gradul de îndesare și numărul de lovituri N_{10} (punctul 4.1.2, fig.4.3) exprimată prin relația:

$$\log I_D\% = 0,554 \log N_{10} + 0,98 \pm 0,25 \quad (4.28)$$

Gradul de îndesare este caracteristica de bază ce servește la determinarea presiunii convenționale (STAS 8316/77) la pământurile necoezive, relația (4.28) fiind în acest fel foarte utilă cu mari

repercusiuni tehnico-economice. Utilitatea ei este accentuată și de imposibilitatea recoltării, în majoritatea cazurilor, a probelor netulburate din nisipuri, necesare pentru determinarea gradului de îndesare în laborator.

4. Volumul mare de sonde de penetrare statică și dinamică cu con executate pe platforma Combinatului Petrochimic Năvodari, cu ocazia testării calității luorărilor de compactare de adâncime (parag. 3.4) ale pachetelor de nisipuri mijlocii și fine cu granulometria prezentată în fig.3.32, a permis stabilirea, prin prelucrări statistice (punctul 4.1.4.1) a legăturii dintre rezistența la penetrare statică R_p și numărul de lovituri N_{10} - PDU.

Necesitatea stabilirii corelației dintre R_p și N_{10} la nisipurile mijlocii și fine a fost reclamată de diferențele semnalate între rezistența la penetrare R_p calculată cu diverse relații oferite de literatură (fig.4.7 și 4.8). Existența unei relații de legătură dintre R_p și N_{10} prezintă avantajul utilizării relațiilor stabilite pentru prelucrarea datelor sondeajului de penetrare statică și la prelucrarea datelor sondeajului de penetrare dinamică, la care posibilitatea de prelucrare directă este mai redusă (paragr.2.3).

Corelarea datelor penetrărilor statice și dinamice martor efectuate în terenul natural cu structura nederanjată (fig.4.5) a permis stabilirea prin prelucrare statistică, a relației:

$$R_p = 2,03 N_{10} + 29,84 \pm 31,72 \quad (4,32 \text{ a})$$

Intr-un calcul acoperitor se poate considera că valoarea negativă a abaterii medii pătratice anulează termenul liber din relația 4.32 și se obține forma simplificată:

$$R_p = 2,03 N_{10} \quad (4.32 \text{ b})$$

5. Pentru studiul influenței legăturilor structurale ale nisipului asupra relației dintre R_p și N_{10} , autorul a corelat datele penetrărilor dinamice și statice de control efectuate în terenul compactat cu coloane de balast, obținând relația:

$$R_p = 2,10 N_{10} + 39,96 \pm 41,32 \quad (4.33 \text{ a})$$

Prin simplificarea menționată la punctul anterior se obține:

$$R_p = 2,10 N_{10} \quad (4.33 \text{ b})$$

Relațiile (4.32 b) și 4.33 b) dau valori foarte apropiate (cu diferență de 3,5 %) pentru rezistența de penetrare pe con R_p în funcție de N_{10} , motiv pentru care în practică se poate utiliza relația 4.32 b și în cazul nisipurilor compactate în adâncime.

Diferența redusă dintre valorile R_p , furnizate de cele două relații susmenționate, demonstrează influența foarte scăzută a legătu-

rilor structurale (punctul 2.2.1) asupra rezistenței la penetrare la pământurile nisipoase.

Relația 4.32 este foarte utilă în sensul că face trecerea de la numărul de lovituri N_{10} obținut ușor și economic, la rezistența de penetrare pe con R_p în baza căreia cu relațiile din literatură (punctul 2.3.1) se pot aprecia unele caracteristici fizico-mecanice ale terenului sau capacitatea portantă a piloților.

6. Sondajele de penetrare statică și dinamică efectuate în prafuri argiloase nisipoase pe tronsonul experimental al Canalului Dunăre-Marea Neagră (parag. 3.5 și punctul 4.1.4.2) au servit la stabilirea relației:

$$R_p = 2,14 N_{10} - 7,73 \pm 39,77 \quad (4.35 \text{ a})$$

Relația (4.35 a) este prima de acest gen stabilită pentru un pământ eterogen cum este praful argilos nisipos și are utilitate în sensul celor arătate la punctul precedent. Corelația are valabilitatea locală, dar poate fi aplicată și pe alte amplasamente după o verificare prealabilă a valabilității ei (punctul A-3).

7. Cercetarea terenului prin sondaje de penetrare dinamică în paralel cu sondaje de penetrare statică a reclamat prelucrarea unui volum foarte mare de date primare, care în cazul penetrării statice fiind anevoioasă a condus la ideea prelucrării automate a datelor. Programul KARSOIL elaborat de autor pentru prelucrarea automată a datelor primare ale sondajului de penetrare statică și pentru calculul unor caracteristici ale terenului (greutate volumică uscată, porozitate, indicele porilor, coeziune, modul de deformare edometric) pe baza rezistenței la penetrare R_p , prezintă avantajul reducerii substanțiale a volumului de manoperă și a timpului necesar prelucrării datelor. Programul poate fi utilizat de toate unitățile care sînt dotate cu penetrometre statice hidraulice, cu condiția să se înlocuiască în program valorile tangentelor corespunzătoare unghiurilor β_1 și β_2 (fig. 4.16) determinate din graficele de etalonare proprii fiecărui penetrometru.

8. Sondajele de penetrare dinamică de control, cu care se testează calitatea lucrărilor de compactare de suprafață ale terenurilor necoezive aflate în stare afînată sau de îndesare medie, pot fi utilizate pentru stabilirea unor caracteristici fizico-mecanice (indicele porilor, greutate volumică uscată, modulul de deformare edometric - fig. 4.11) ale terenului compactat. Pentru determinarea acestor caracteristici, pe baza unui număr mare de sondaje de penetrare efectuate pe amplasament, autorul propune prelucrarea statistică a sondajelor de penetrare cu stabilirea domeniului de încredere cu probabilitate impusă (punctul 4.1.5). Acest mod de prelucrare per-

mite restrîngerea domeniului de valori pe baza cărora se apreciază caracteristicile terenului (fig.4.15)  i eliminarea valorilor extreme care nu sînt concludente.

D. Contribuții privind elaborarea unor instrucțiuni tehnice pentru cercetarea terenurilor prin sondaje de penetrare dinamică cu con

Pentru extinderea  i unificarea metodologiei de cercetare a terenului "in situ" prin sondaje de penetrare dinamică cu con, autorul în calitate de responsabil de temă [132] a elaborat în colectiv "Instrucțiunile tehnice pentru folosirea penetrării dinamice cu con la cercetarea terenurilor" indicativ C 176-75 [131] publicat în Buletinul Construcțiilor nr.1/1976.

Instrucțiunile tehnice cuprind  ase capitole în cadrul cărora se precizează domeniul de utilizare a sondajelor de penetrare dinamică la cercetarea terenurilor, se descrie  paratura utilizată în  ara noastră, tehnologia de execuție a sondajului de penetrare, prelucrarea  i interpretarea datelor primare.

Prin elaborarea instrucțiunilor, s-a pus la dispozi ie speciali tilor un material foarte util, într-un domeniu nou dar cu perspective mari, justificate de avantajele tehnico-economice oferite de metoda cercetării terenurilor prin sondaje de penetrare dinamică cu con.

E. Aspecte economice

Utilizarea sondajelor de penetrare dinamică cu con la cercetarea "in situ" a terenului de fundare oferă avantaje economice care au stat în aten ia autorului la abordarea temei tratate în teza de doctorat.

Penetrarea dinamică cu con face parte din gama metodelor corelative de cercetare a terenurilor de fundare care permite reducerea volumului lucrărilor clasice de investigație (foraje cu prelevări de probe  i determinări de laborator) sau a altor lucrări de cercetare a terenului "in situ" mai costisitoare  i cu tehnologie mai complicată.

 n condițiile reducerii la minim posibil a determinărilor de laborator pe probe prelevate din foraje, înlocuirea unui metru liniar de foraj cu sondaj de penetrare dinamică are ca efect reducerea cheltuielilor de cercetare a terenului cu 85 % la terenurile nisipoase  i cu 88-92 % la p m nturile argiloase.

Inlocuirea unui metru liniar de sondej de penetrare statică cu sondej de penetrare dinamică reduce cheltuielile de investigație cu cca 90 %, indiferent de natura terenului.

Reducerea cheltuielilor corespunzătoare lucrărilor de cercetare a terenului de fundare pe un amplasament este legată de volumul de lucrări clasice sau "in situ" care poate fi înlocuit cu sondeje de penetrare dinamică așa cum s-a arătat la punctul A.4.

Pe lângă economiile bănești, metoda de cercetare a terenului prin penetrare dinamică cu con asigură realizarea cercetării cu aparatură simplă și ieftină, duce la reducerea volumului de manoperă și a timpului afectat prospecțiunii terenului prin alte metode.

Numai în ultimii 10 ani, Catedra de drumuri și fundații prin utilizarea sondajelor de penetrare dinamică la cercetarea terenului pentru elaborarea studiilor geotehnice a realizat economii de cca 320.000 lei la care se adaugă economii importante prin folosirea metodei la aprecierea capacității portante a piloților și la testarea calității lucrărilor de îmbunătățire ale terenurilor slabe de fundare pe o serie de amplasamente.

F. Aspecte privind dezvoltarea cercetării în viitor

Pe baza studiilor efectuate pînă în prezent, autorul consideră că în viitor trebuie cercetate următoarele aspecte:

- perfecționarea aparatului prin realizarea unui penetrometru dinamic cu con cu acționare mecanică care să funcționeze în variantele ușor, mijlociu și greu și echiparea acestui penetrometru cu dispozitiv automat de înregistrarea numărului de lovituri cu trasarea concomitentă a diagramei de penetrare ;

- lărgirea în continuare a domeniului interpretării datelor primare ale sondejului de penetrare cu accent deosebit pe aspectele interpretării cantitative prin stabilirea unor relații pentru calculul caracteristicilor fizico-mecanice la diverse categorii de terenuri;

- revizuirea actualelor instrucțiuni, elaborate în 1974, care urmează să cuprindă realizările la zi în domeniul aparatului utilizate pentru sondejele de penetrare dinamică și mai ales în domeniul interpretării datelor.

BIBLIOGRAFIE

1. ABRAMESCU, T., BOIAN, M., MARCU, A., : Studiu comparativ al unor metode de determinare a capacității portante a piloților prefabricați. A III-a Conf. de geotehnică și fundații, Timișoara 1975.
2. ANAGNOSTOPOULOS, A.G.: Evaluation of the Undrained shear strength from static cone Penetration Tests in a Soft Silty clay in Patras Greece. ESOPT, Stockholm, 1974.
3. ANTONESCU, I., : Determinarea greutății volumice a pământului cu ajutorul radioizotopilor. Rev. Hidrotehnica nr. 8/1958.
4. ANTONESCU, I.: Utilizarea radioizotopilor la determinarea umidității pământurilor. Rev. Hidrotehnica nr. 7/1958.
5. APPENDINO, M.: Interpretation of Results of Static Penetration Tests ESOPT, Vol. 2:1, Stockholm, 1974.
6. BALAN, M., DUȚU, I., : Procedeele mecanice de compactare și metode de verificare a calității compactării, folosite la îndesarea pământurilor macroporice sensibile la umezire, din zona Galați. A III-a Conf. de geotehnică și fundații, Timișoara 1975.
7. BEGEMANN, H., General raport. Central and Western Europe. ESOPT vol. 2:1 Stockholm 1974.
8. BOIAN, M., ABRAMESCU, T., ș.a.: The evaluation of the bearing capacity of precast piles by static penetration. Proc. of the 6th Europ. Conf. on SMFE, Wien, 1976.
9. BOLOMBY, H., : Dinamic penetration - rezistențe formule ESOPT, vol. 2:2, Stockholm, 1974.
10. BOTEA, E., MANOLIU, I.: Metodologia de calcul a capacității portante a piloților pentru faze preliminare de proiectare. Bul. de informare tehnică nr. 4, 1971, București.
11. BROMS, B., : General raport. Scandinavia. ESOPT Vol. 2:1. Stockholm 1974.
12. BROMS, B., : Introduction, ESOPT Stockholm, vol. 1, 1974.
13. BRONSTEIN, M.I.: The pressuremeter method of investigating soil properties and its theoretical basis. Proc. 8th ICSMFE, Vol. 1:1, Moscova, 1973
14. CAQUOT, A., KERISEL, J., : Tratat de mecanica pământurilor. Traducere din lb. franc. ed. 4-a 1966. Edit. tehnică, București.
15. CULIȚA, C., : Aprecierea caracteristicilor fizico-mecanice ale pământului prin încercarea cu penetrometrul indicator. Bul. de studii și cercetări INCERC- ISCAS nr. 2/1961.
16. CULIȚA, C., : Cercetarea terenurilor de fundare prin încercări de penetrare statică. Probleme actuale în tehnica fundațiilor în România București, 1967.
17. CULIȚA, C., : Stabilirea condițiilor de fundare pe baza încercărilor de penetrare statică. Studii și cercetări în construcții și economis construcțiilor nr. 2, București, 1969.
18. DAHLBERG, R., : Penetration testing in Sweden, ESOPT vol. 1. Stockholm 1974.
19. DANCEA, I.: Programarea la calculatoare numerice pentru rezolvarea problemelor cu caracter tehnic și de cercetare științifică. Editura Dacia, Cluj, 1973.

20. DE BEER, E., : Dimensional analysis of the problem of the use of the Results of static sounding tests. ESOPT. Vol. 2:1. Stockholm, 1974.
21. DE BEER, E., : Influence of the parametre of the procedure of static sounding tests. ESOPT, Stockholm, 1974.
22. DE BEER, E., : Some exceptional sounding diagrams. ESOPT, Stockholm 1974, vol. 2:1.
23. DESAI, M. D., JAIN, G. R. S., ș.a.: Penetration testing in India, ESOPT vol. 1, Stockholm, 1974.
24. DIMA, Gh., SERBAN, V., ș.a.: Metode moderne de verificare a compactării terenurilor de fundare. A. III-a Conf. de Geotehnică și fundații, Timișoara, 1975.
25. DROZD, K., : The influence of moisture content in sand. ESOPT, Stockholm, 1974.
26. DURGUNOGLU, H. T., MITCHELL, J. K., : Influence of penetrometer characteristics on static penetration rezistence ESOPT, Stockholm, 1974.
27. EIDE, O., : Correlation between cone tip rezistence and field vane shear strength. ESOPT. Stockholm, 1974.
28. FOLQUE, J., : Penetration testing in Portugal, ESOPT, vol. 1 Stockholm 1974.
29. GAMSKI, C., : Appareil léger de pénétration en profondeur (Pénétre-tre G.C). Proc. 5th ICSMFE, Paris, 1961.
30. GARDENMEISTER, R., TAMMIRINNE, M.: Penetration testing in Finland, ESOPT, vol. 1, Stockholm, 1974.
31. GENEVOIS, R.: Static penetration tests and compressibility of soft normally consolidated clays. ESOPT, STOCKHOLM, 1974.
32. GEORGESCU, D., MARINESCU, C., BENEĂ, St.: Determinarea caracteristicilor mecanice ale rocilor. Editura tehnică București, 1972.
33. GIBBS, H. J., HOLTZ, W. G.: Research on determining the density of sands by spoon penetration testing. Proc. 4th ICSMFE London 1957.
34. GIELLY, J., LAREAL, P., SANGLERAT, G., : Correlations between in situ penetrometer tests and the compressibility characteristics of soil. In situ investigations in soil and rocks. Proc. of the Conf. organized by the British Geotechnical Society in London, 1969.
35. GÎDEA, A., : Cercetarea terenului cu aparatul de penetrare prin percute. Rev. construcțiilor și a mater. de construcții nr. 7/1961.
36. GÎDEA, A., : Rezultate obținute prin aplicarea metodei penetrării dinamice cu con. A III-a Conf. de geotehnică și fundații. Timișoara, 1975
37. GÎDEA, A., : Studiu privind încercarea de penetrare dinamică cu con IPROTIM 17239/b.
38. GÎDEA, A., GHITĂ, I., : Probleme specifice de fundare pe malul lacului de acumulare de la Porțile de Fier în orașele noi Orșova și Moldova. A. III-a Conf. de geot. și fundații, Timișoara, 1975.
39. GRUIA, A., : Unele aspecte privind testarea calității lucrărilor de consolidare ale terenurilor slabe de fundare prin metoda penetrării. Ses. științif. I. P. Cluj-Napoca, 28-29 oct. 1978.
40. GRUIA, A., KELLER, E., : Aspecte privind cercetarea terenurilor de fundare în laborator și la fața locului. Lucrări tehnico-științ. Constr. de drumuri și hidrotehnice. Ses. de comunic. organiz. în cadrul Festivalului național "Cântarea României". I. P. T. V. Timișoara, 1977.

41. HABETHA, E.: Penetration testing in Federal Republic of Germany. ESOPT, vol.1. Stockholm, 1974.
42. HAEFELI, R., FEHLMANN, H.B.: Measurements of soil compressibility "in situ" by means of the model pile tests. Proc. 4th ICSMFE London 1957.
43. HANNA, H.T.: Foundation instrumentation Londra 1973.
44. HAUSNER, H., SPERLING, G.: Experiences made with the penetrometer of VEB Berlin, ESOPT. Vol.2:2, Stockholm, 1974.
45. HEJNEN, W.J.: Penetration testing in Netherlands. ESOPT, vol.1. Stockholm, 1974.
46. HELENELUNG, K.V.: Length of driven piles. Ultimate bearing capacity of driven piles. ESOPT, Stockholm, 1974.
47. JAMBU, N.: Soil compressibility as determined by oedometer and triaxial tests. Europ. Baugrundtagung. Wiesbaden. Bd. I, 1963.
48. JAKY, I.: On the bearing capacity of piles Rotterdam, 1948.
49. KERISEL, J.: Foundations profondes en milieus sableux. Proc. V ICSMFE Paris 1961.
50. KISHIDA, M.: Stress distribution by model piles in sand Buld. Res. Inst. Min. Constr. Japan. 1964.
51. KODPEREN, C.H.: Measurements of the settlements of bored piles in Dutch soft soil. Sixth Europ. Conf. on soil Mech. and Found. Eng. Wien 1976.
52. KUMBASAR, V., TOGROL, E.: Penetration resistance of compacted cohesive soils. Proc 7th ICSMFE Mexico, 1969.
53. KUNZEL, E.: Der Prüfstab Bauwelt 27, 1936.
54. LADANY, B., EDEN, W.J.: Use of the deep penetration test in sensitive clays. Proc. 7th ICSMFE, Mexico, 1969.
55. LOUSBERG, M., CALEMBERT, L.ş.a.: Penetration testing in Belgium, ESOPT vol.1, Stockholm, 1974.
56. MAIOR, N., PAUNESCU, M.: Geotehnică și fundații. Ed. II-a Edit. didactică și pedagogică, București, 1973.
57. MEARDI, P.: Rapidly feasible high bearing capacity small diameter steel pile. Sixth Europ. Conf. on Soil Mech. and Foundation Engineering, Wien, 1976.
58. MELZER, K.: Sonderuntersuchungen in Sand. Technische Hochschule, Aachen, 1967.
59. MENZENBACH, E.: Die Anwendbarkeit von Sanden zur Prüfung der Festigkeitseigenschaften des Baugrundes 1959.
60. MEYERHOF, G.C.: Compaction of sands and bearing capacity of piles. Proc. ASCE Journal Soil Mech. Found. 1959.
61. MEYERHOF, G.C.: Discussionbeitrag. Proc. 4th ICSMFE, Vol. III, London, 1957
62. MEYERHOF, G.C.: General raport. Outside Europe, ESOPT, vol.2:1, Stockholm, 1974.
63. MEYERHOF, G.C.: Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soils. Journal of the Soil Mech. and Foundation American Society of Civil Engineering, January, 1956.
64. MURAMACHI, T., OGURO, I., MIYASHITA, T.: Penetration testing in Japan, ESOPT, vol. I. Stockholm, 1974.

65. MOUSSA, A.M., : Die Zusammendrückbarkeit von Sand. Mitteilungen, Inst. für Verkehrswasserbau, Grundbau und Bodenmechanik, T.H. Aschen, 1961.
66. NICOLAI, C., ș.a.: Penetration testing in Italy. ESOPT. vol. 1 Stockholm 1974.
67. OHDE, J., : Zur Theorie der Druckverteilung im Baugrund, Bauing. 20/1939
68. PALMER, D.J., STUART, J.C.: Some observations on the standard penetration test and a correlation of the test with a new penetrometer. Proc. 4-th ICSMFE, London, 1957.
69. PAPROTH, E., : Der Prüfstab Künzel, ein Gerät für Bodenuntersuchungen. Bautechnik, 21/1943.
70. PAPROTH, E., : Einfache Formel zur Vorausbestimmung der Tragfähigkeit von Sandpfehlern mit Hilfe der Sonde. Bautechnik nr. 9/1972.
71. PAUNESCU, M., : Folosirea vibrațiilor la executarea unor lucrări de fundații. Editura tehnică, București, 1966.
72. PAUNESCU, M., : Tehnici de fundare prin vibrare. A III-a Conf. de geot. și fundații, Timișoara, 1975.
73. PAUNESCU, M., GIDEA, A., GRUIA, A., : Despre factorii care influențează rezultatele penetrării dinamice cu con. Rev. Construcțiilor și materialelor de construcții nr. 8/1966.
74. PAUNESCU, M., GIDEA, A., GRUIA, A., : Penetrometrul static ușor. Rev. Constr. și mater. de construcții nr. 6/1965.
75. PAUNESCU, M., GIDEA, A., GRUIA, A., : Unele aplicații ale penetrării la calculul capacității portante a piloților. Rev. Constr. nr. 7/1973.
76. PAUNESCU, M., GIDEA, A., GRUIA, A., SCHEIN T., : Druck- und Rammsondierungen zur Berechnung der Tragfähigkeit von Pfehlern. Proc. 4th Conf. on Soil Mechanics, Budapest, Akadémiai Kiadó, 1971.
77. PAUNESCU, M., GRUIA, A., : Unele aspecte privind determinarea capacității portante a piloților prin metoda penetrării. A III-a Conf. de geotehnică și fundații Timișoara, 1975.
78. PAUNESCU, M., GRUIA, A., ROSU, C., : Experimentări de laborator și șantier cu aparatul de penetrare dinamică cu con. Referat cu concluzii. Plan de stat nemom. poz. B III 97. Contr. nr. 2805/27.02.1973.
79. PAUNESCU M., GRUIA, A., ROSU, C., : Unele aspecte privind cercetarea terenului de fundare "in situ" prin penetrare dinamică cu con. A III-a Conf. de geotehnică și fundații, Timișoara, 1975.
80. PAUNESCU, M., HAIDA, V., ș.a.: Lucrările de fundare a complexului școlar "Balta Verde" din Timișoara. Rev. Șantierul nr. 10/1972.
81. PAUNESCU, M., ROGNA, M., : Folosirea vibroînțepării și piloților de balast pentru compactarea în adâncime a unor terenuri de fundare. Șantierul, nr. 8/1972.
82. PAUNESCU, M., ROSA, S., ș.a.: Contribuții privind consolidarea terenurilor slabe de fundare prin piloți de balast multivibropresați. Rev. Construcții 2/1975.
83. PAUNESCU, M., SCHEIN, T., : Cercetări privind executarea piloților scurți turnați la fața locului prin vibrare. Bul. șt. și tehn. IPT Tom 15(29) 1970.
84. PAUNESCU, M., SCHEIN T., ș.a.: Fundații pe piloți turnați la fața locului. A II-a Conf. de geotehnică, București, 1971.
85. PAUNESCU, M., VASILONI, N., ș.a. - Câteva considerații asupra capacității portante a piloților scurți executați pe loc cu utilaje vibratoare. A III-a Conf. de geotehnică și fundații, Timișoara, 1975.

86. PLANTEMA, G., : Influence of density on sounding rezultats in dry moist and saturated sands. Proc. 4th ICSMFE vol.1. London 1967
87. PECK, R.B., HANSON, W., THORNBURN, E., : Foundation Engineering New-York John Wiley and Sons 1957.
88. PUECH, A., BIAREZ, J., ș.a. : Contribution to the study of static and dynamic penetrometers. ESOPT vol.2:2.
89. RAFIROIU, M., : Stabilizarea pământurilor la lucrări de drumuri și căi ferate. Ministerul Căilor Ferate. Centrul de documentare și publicații tehnice, București 1966.
90. RICCERI, G., PREVIATELLO, P., COLLESELLI, F. : Relationships between static penetration test rezults and mechanical properties of soil. ESOPT vol.2:2. Stockholm., 1974
91. RODIN, S., ASCE, M. : Experiences with penetrometers, with particular reference to the standard penetration test. Proc.V. ICSMFE Vol.I. Paris, 1961.
92. ROKAS, S. : Vlianie skoroski vdavlivania penetrometra na soprotivlenie grunta penetrații. Osnovania, fundamenti i mechanica gruntov nr.6/1964.
93. RUMSISKI, L.Z., : Prelucrarea matematică a datelor experimentale. Trad.din lb.rusă 1971. Ed.tehnică, București, 1974.
94. SANGLERAT, G., : La pénétrométre et la reconnaissance des sols. Dunod, Paris 1965.
95. SANGLERAT, G., : Penetration testing in France, ESOPT Vol.1. Stockholm, 1974.
96. SCHEIN, T., GRUIA, A., ș.a. : Aspecte privind consolidarea terenurilor de fundare cu coloane de balast pe platforma experimentală a Combinatului Petrochimic Năvodari. Lucr.tehnicștiințif. Construcții de drumuri și hidrotehnice. Ses.de comunic. organiz. în cadrul festiv. "Cântarea României", I.P."Traian Vuia" Timișoara, 1977.
97. SCHERIFF GAMAL, : Setzungsmessungen an Industrie-und Hochbauten und Ihre Auswertung, T.H.Aachen.
98. SCHULTZE, E., BIEDERMAN, B., : Pressuremeter, penetrometer and oedometer tests. Proc. 9th ICSMFE, vol.1. Tokyo, 1977.
99. SCHULTZE, E., KNAUSENBERGER, H. : Experiences with penetrometers. Proc. 4th ICSMFE vol.I. London 1957.
100. SCHULTZE, E., MELZER, K.J. : The determination of the density and the modulus of compressibility of non-cohesive soils by soundings. Proc. 6-th ICSMFE Vol.I. Montreal 1965.
101. SCHULTZE, E., MENZENBACH, E. : Standard Penetration test and compressibility of soil. Proc. 5-th ICSMFE Paris 1961.
102. SCHULTZE, E., MUHS, H. : Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten. Springer Verlag, Berlin 1967.
103. SCHWEITZER, I., : Controlul compactării terasamentelor. Ed. Transporturilor și Telecomunicațiilor, 1965.
104. SENNESET, K., Penetration testing în Norway. ESOPT vol.1. Stockholm 1974.
105. SILION, T. : Geologie, geotehnică și fundații, vol.II. Editura Institutului Politehnic Iași, 1973.
106. STANCULESCU, I., MARCU, A., POPESCU, M., : Referat privind domeniul de utilizare și modul de interpretare a măsurărilor efectuate cu aparate de penetrare asimilate în țară. I.C. București 1978.

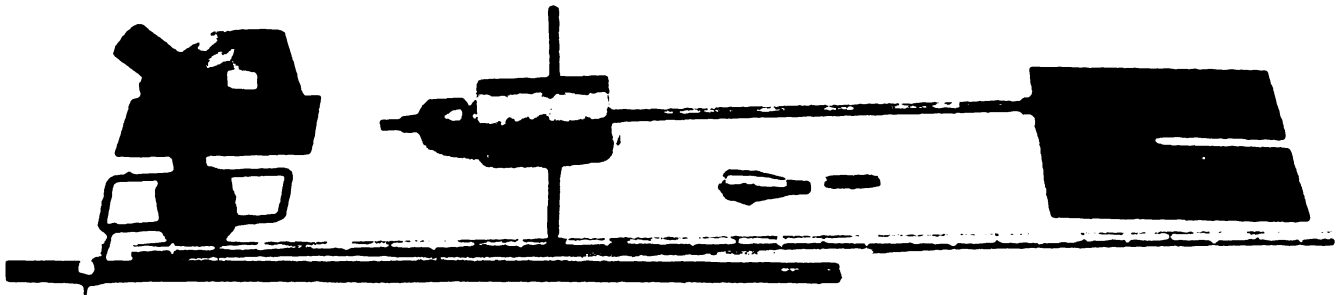
107. STEFANOFF, G., BEIKOFF, M., : Penetration testing in Bulgaria. ESOPT vol.1. Stockholm, 1974.
108. TASSIOS, T.P., ANAGNOSTOPOULOS, A.G., : Penetration testing in Greece. ESOPT, vol.I. Stockholm, 1974.
109. TERZAGHI, K., PECK, R.B., : Mecanique des sols appliquée aux travaux publics et au bâtiment. Dunod, Paris, 1961.
110. TERZAGHI, K., PECK, R.B.: Soil mechanics in engineering practice Second Edition New York 1967.
111. THOMAS, D., : Static penetration in London clay. Geotechnique, vol. XV nr.2, 1965 London.
112. TOMLINSON, M.J.: Proiectarea și executarea fundațiilor, Traducere după ed.II-a din lb. engleză 1969. Ed. tehnică, București, 1973.
113. TROFIMENKOV, J.G.: Penetration testing in URSS. ESOPT Vol.1. Stockholm, 1975.
114. TROFIMENKOV, J.G.: General raport: Eastern Europe. ESOPT. Vol.2:1 Stockholm, 1974.
115. TROFIMENKOV, J.G., Vorobkov, L.N.: Polevîie metodî issledovania stroitelnih gruntov. Stroizdat, Moskva 1974.
116. TROFIMENKOV, J.G. ș.a.: Development of methods to determine the bearing capacity of piles. Proc.8-th ICSMFE Vol.2:1, Moskva, 1973.
117. URIEL, O.A. ș.a.: Test results concerning the influence on the cone angle is the dynamic penetration rezistence. ESOPT, vol.2:2 Stockholm, 1974.
118. VERDEYEN, J., ROISIN, V., NUYENS, J., : La mecanique des sols. Dunod, Paris, 1968.
119. WOLSKI, W., : Penetration testing in Poland, ESOPT, vol.1, Stockholm 1974.
120. WEBB, D.L.: Penetration testing in South Africa. ESOPT. Vol.1. Stockholm, 1974
121. WU TSAI, K., SCHMID, W.: Penetrometer method for determining soil parameters. Proc.7-th ICSMFE Vol.I. Mexico, 1969.
122. x^xx : DIN 4017-Baugrund, Grunddruckberechnungen von lotrecht mit-tig belasteten Frachgründungen. Richtlinien. 1965
123. x^xx : DIN 4094/1 - Baugrund, Ramm-und Drucksondiergeräte. Abmessungen und Arbeitsweise der Geräte. 1974.
124. x^xx : DIN 4094/2 - Baugrund, Ramm-und Drucksondiergeräte. Anwendung. 1965.
125. x^xx : Metodî issledovania mehaniceski stroistve gruntov v usloviah estestvenovo zaleganîa. Dnepropetrovsk, 1962.
126. x^xx : Static and dynamic sounding tests. General program Borros Specialists in geotechnical equipment. Buletin 6/1975.
127. x^xx : Interpretation of results of static penetration tests. Group discussion ESOPT vol.2:1, Stockholm, 1974.
128. x^xx : Interpretation of results of dynamic penetration tests. Group discussion ESOPT, vol.2:1. Stockholm, 1974.
129. x^xx : Instrucțiuni tehnice pentru efectuarea încercării de penetra-re statică și interpretarea rezultatelor în vederea stabilirii condițiilor de fundare a construcțiilor indicativ C159-73. Bulet. Construcțiilor nr.1/1974.

- 130.x^x : Instrucțiuni tehnice pentru proiectarea, executarea și recepționarea lucrărilor de fundații pe piloți scurți, executați pe loc prin vibrație, indicativ C₁₆₁₋₇₃. Bulet. Construcțiilor nr.1/1974.
- 131.x^x : Instrucțiuni tehnice pentru folosirea penetrării dinamice cu con la cercetarea terenurilor, indicativ C₁₇₆₋₇₅. Bulet. construcțiilor nr.1/1976.
- 132.x^x : Instrucțiuni tehnice pentru stabilirea unor caracteristici ale pământurilor prin încercări cu penetrometru dinamic cu con. Contract 8192/1974.
- 133.x^x : Studii și cercetări privind compactarea nisipului de pe platforme Combinatului Petrochimic Năvodari cu piloți de balast. Referat de specialitate privind asistența tehnică la execuția și testarea consolidării cu piloți de balast. Contract nr. 8104/1976.
- 134.x^x : Asistență tehnică privind execuția și urmărirea eficienței lucrărilor de compactare de adâncime și suprafață prin diferite metode. Referat cu concluzii. Poz.plan VIII-B-49/1977. Contract 10108/1977.
- 135.x^x : Metode și aparatură pentru studii geotehnice și pentru încercări de verificare și control de calitate a lucrărilor de consolidare a terenurilor de fundare. Subtema: Penetrarea dinamică cu acționare mecanică. Referat cu concluzii. Poz.plan VIII-B-49 1977. Contract 10119/1977.

C U P R I N S

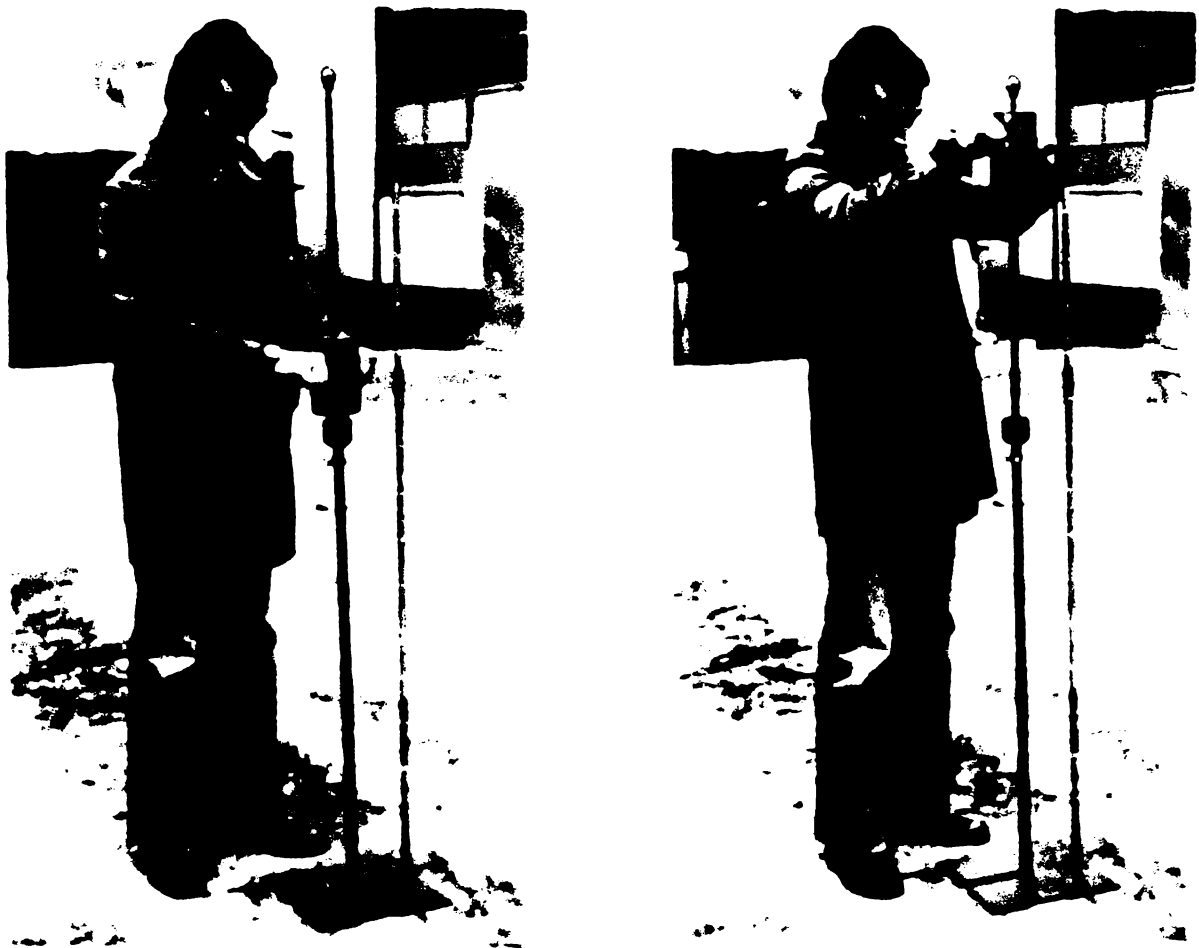
PREFATA	1
Cap.1. ASPECTE PRIVIND CERCETAREA TERENULUI DE FUNDARE "IN SITU"	
1.1.Importanța cercetării terenului de fundare în situ	2
1.2.Incercarea pământurilor cu placa de încărcare	4
1.3.Incercarea de forfecare a pământurilor la fața locului	6
1.4.Cercetarea terenului prin metode radiometrice	8
1.5.Cercetarea terenului prin metoda presiometrică	10
1.6.Metode geofizice de prospectare a terenului	13
1.7.Cercetarea terenurilor prin metoda penetrării	14
Cap.2. CONSIDERATII TEORETICE ASUPRA CERCETARII TERENULUI DE FUNDARE PRIN METODA PENETRARII CU CON	
2.1.Fundamentarea teoretică a sondajului de penetrare cu con	47
2.2.Factorii care influențează rezultatele penetrării	61
2.3.Aspecte privind interpretarea rezultatelor încercărilor de penetrare	76
2.4.Aspecte privind corelația dintre penetrarea statică și dinamică cu con	93
2.5.Cîteva concluzii privind cercetarea terenului prin sondaje de penetrare statică și dinamică	95
Cap.3. STUDII EXPERIMENTALE PRIVIND TESTAREA TERENULUI DE FUNDARE PRIN METODA PENETRARII DINAMICE CU CON	
3.1.Aspecte generale privind încercările de laborator și teren	97
3.2.Studii experimentale asupra unor factori de influență	103
3.3.Studii experimentale privind posibilitatea de reduce- re a volumului lucrărilor clasice de investigație a terenurilor de fundare	120
3.4.Studii experimentale privind testarea calității lu- crărilor de îmbunătățire ale terenurilor slabe de fundare prin metoda penetrării dinamice cu con	128
3.5.Studii experimentale privind stabilirea corelației dintre penetrarea dinamică și penetrarea statică	135
3.6.Studii experimentale privind aprecierea capacității portante a piloților	137
3.7.Aspecte generale cu privire la încercările expe- rimentale	141

Cap.4. CONTRIBUTII PRIVIND APLICAREA PENETRĂRII DINAMICE CU CON LA CERCETAREA TERENURILOR	
4.1. Contribuții privind prelucrarea rezultatelor penetrării dinamice cu con	143
4.1.1. Stabilirea dependenței dintre numărul de lovituri N_{10} și indicele de consistență I_c , respectiv modulul de deformație edometric M , în cazul argilelor prăfoase din Timișoara	144
4.1.2. Stabilirea dependenței dintre gradul de îndesare I_D și numărul de lovituri N_{10} , la nisipuri mijlocii și fine	153
4.1.3. Stabilirea dependenței dintre adâncimea critică h_{cr} și diametrul conului, d' la nisipuri mijlocii și fine	156
4.1.4. Stabilirea unor corelații între numărul de lovituri N_{10} și rezistența pe con R_p .	158
4.1.5. Prelucrarea statistică a unor sondaje de penetrare dinamică cu con	169
4.1.6. Prelucrarea automată a datelor primare ale sondaju- lui de penetrare statică	171
4.2. Aspecte privind îmbunătățirea aparatului de penetrare dinamică	173
4.2.1. Penetrometru dinamic ușor cu acționare manuală	173
4.2.2. Penetrometre dinamice cu con cu acționare mecanică	174
4.2.3. Experimentarea penetrometrelor pentru omologare	177
4.3. Contribuții privind extinderea metodei penetrării di- namice cu con în țara noastră prin elaborarea instruc- țiunilor C _{176/75} .	178
4.4. Unele aspecte cu privire la contribuțiile autorului la aplicarea în țara noastră a sondajelor de penetrare dinamică cu con la cercetarea terenurilor	180
Cap.5. CONCLUZII FINALE	183
BIBLIOGRAFIE	197



Penetrometrul dinamic ușor, PDU

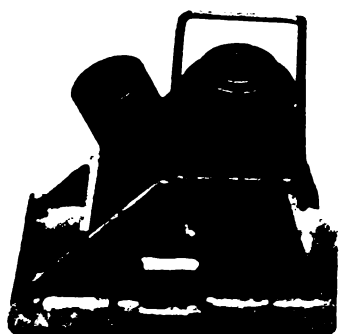
Părți componente: extractor cu dispozitiv de prindere; berbec cu tijă de ghidaj; placă de bază; tijă gradată; con; corn filetat de legătură dintre tronsoane de tije; tijă cu indicator de adâncime.



Aspecte din timpul efectuării unui sondaj de penetrare cu penetrometrul dinamic ușor, PDU.



Aspecte din timpul recuperării colanului de tije. 1-U
A-recuperare cu extractorul cu con și bile; B-recupera-
re cu dispozitivul manual cu con și bile; C-recuperare
manuală.



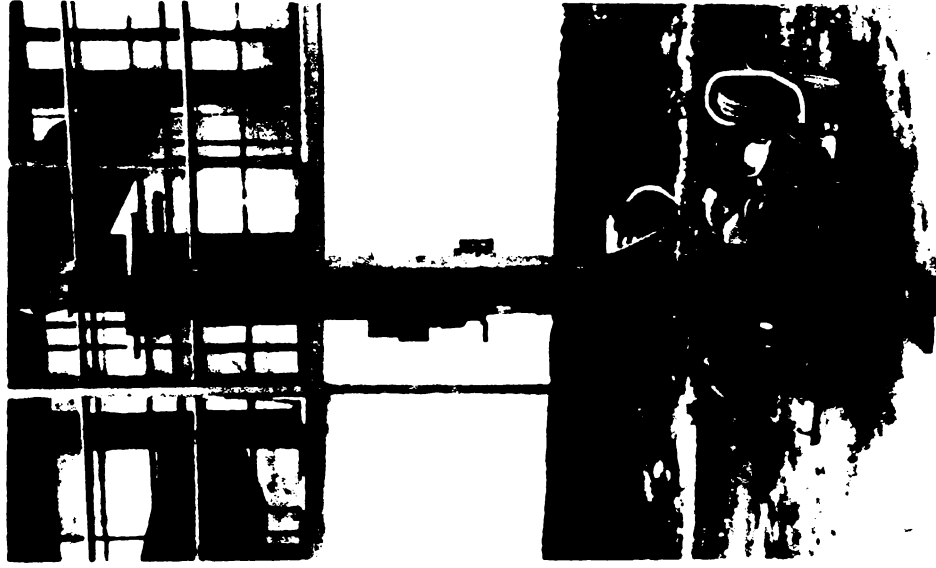
Extractor cu con și bile pentru coloană de tije #32 și #22



Penetrometrul dinamic ușor cu acționare mecanică echipat cu motor electric



Penetrometru dinamic cu actiunare mecanică
în varianta PDU echipat cu motor electric.



Penetrometru dinamic cu actiunare mecanică
în varianta PDM echipat cu motor termic și
motor electric