# GHID PENTRU SISTEMATIZAREA, STOCAREA ŞI REUTILIZAREA INFORMAŢIILOR PRIVIND PARAMETRII GEOTEHNICI

**Indicativ GE 044-2001**

Cuprins


* Capitolul 1. Introducere
* Capitolul 2. Criterii ştiinţifice ce stau la baza metodei de sistematizare, stocare şi reutilizare a informaţiilor privind parametrii geotehnici
* Capitolul 3. Instrumente de lucru ale metodei de sistematizare şi stocare a informaţiilor geotehnice
* Capitolul 4. Exemplificarea sistematizării şi stocării informaţiilor geotehnice pe baza metodologiei propuse
* Capitolul 5. Principii pentru reutilizarea informaţiilor geotehnice pe baza analogiei pământurilor. prognozarea parametrilor geotehnici
* Capitolul 6. Concluzii
* Schema locgica a metodologiei propuse
* Bibliografie
* Anexa A: Corelaţiile dintre parametrii de plasticitate ai pământurilor coezive determinaţi prin diferite metode
* Anexa B
* Anexa C: Valori orientative ale parametrilor geotehnici
* Anexa D: Avantajele folosirii amprentelor si a diagramelor de stare


## 1. INTRODUCERE

**1.1.** Buna comportare a unei lucrări inginereşti de construcţii (clădire, drum, lucrare hidrotehnică etc.) depinde în mare măsură de cea a terenului de fundare sau a materialului din care este constituită lucrarea din materialul local (pământ sau rocă).

**1.2.** Modul cum aceste materiale răspund la solicitările statice sau dinamice aferente lucrărilor inginereşti este exprimat de parametrii geotehnici; aceştia din urmă sunt expresia cantitativă a comportării materialelor şi sunt luaţi în considerare la proiectarea şi realizarea diferitelor genuri de construcţii.

**1.3.** Experienţa a arătat că de cele mai multe ori valorile parametrilor geotehnici influenţează în mai mare măsură rezultatele estimărilor decât metodele de calcul folosite. Astfel de pildă în cazul analizei stabilităţii taluzurilor sau versanţilor diferenţele obţinute folosind diferite metode de calcul existente conduc la valori ale factorului de stabilitate, $F_s$, ce diferă cu 6-10% în timp ce variaţia parametrilor de forfecare f şi c consideraţi poate conduce la diferenţe considerabil mai mari. Aceeaşi constatare este valabilă şi pentru evaluarea capacităţii portante a terenului de fundare.

**1.4.** Această situaţie a condus ca încă de la începutul dezvoltării Geotehnicii să existe o preocupare permanentă privind identificarea şi clasificarea pământurilor şi rocilor tocmai în funcţie de comportarea lor sub acţiunea solicitărilor mecanice şi hidraulice generate de realizarea lucrărilor de construcţii.

Ca urmare a acestui fapt în diferite ţări s-au elaborat sisteme variate de identificare şi clasificare a pământurilor bazate pe încercări ce au drept obiect stabilirea compoziţiei lor granulometrice şi a domeniului de umidităţi (limitele $w_L$ şi $w_P$) în care materialul are o comportare plastică sau este tare. Datorită faptului că în vederea acestui scop se folosesc diferite aparate şi metode de încercare şi în special a caracterului subiectiv de interpretare a rezultatelor, există în prezent un mare număr de sisteme de identificare şi clasificare a pământurilor.

**1.5.** Astfel, în ceea ce priveşte granulozitatea, în unele ţări, inclusiv România, limita superioară a fracţiunii argilă este considerată a fi 5 mm pe când în ţările dezvoltate este admisă de regulă valoarea de 2 mm . De asemenea pentru stabilirea limitelor de plasticitate se folosesc diferite aparate (cu cupa Casagrande sau cu con) ceea ce evident conduce la obţinerea unor rezultate diferite. Chiar în laboratoarele din ţara noastră se folosesc în prezent aparate cu cupă (STAS 1913/4-76) a căror postamente nu au aceeaşi rigiditate şi care, pentru acelaşi pământ încercat conduc, la rezultate destul de diferite. Pe de altă parte criteriile ce separă diferitele feluri de pământuri (argile, prafuri, nisipuri, pietriş) au un caracter subiectiv şi diferă de la ţară la ţară sau chiar în interiorul aceleiaşi ţări. De pildă în SUA sunt folosite în prezent următoarele 4 sisteme de identificare şi clasificare a pământurilor: sistemul unificat propus de Casagrande (Societatea Americană pentru Încercarea Materialelor – ASTM), cel folosit de Asociaţia Americană pentru Autostrăzi (AASHO), Agenţia Federală pentru Aviaţie (FAA), Departamentul Agriculturii (USDA).

În acelaşi scop în ţara noastră este folosit STAS 1243-88*:* Terenul de fundare. Identificarea şi clasificarea pământurilor, în Anglia BS 1377-1990, în Franţa Ghid tehnic LCPC pentru terasamente (1992), în Germania DIN 19196-70 şi în Rusia SNiP 2.02.01-83.

Trebuie menţionat că Eurocode7: Fundaţii şi Ingineria Geotehnică nu cuprinde un sistem unitar de clasificare a pământurilor.

**1.6.** Datorită acestui fapt este foarte dificil transferul de informaţii privind comportarea pământurilor şi deci valorificarea experienţei anterioare, cuprinse în studiile şi publicaţiile geotehnice, în special cele conţinute în volumele celor 14 congrese internaţionale, 9 conferinţe naţionale şi alte numeroase manifestări de specialitate.

**1.7.** Acest impediment poate fi remediat prin folosirea unei metode de sistematizare, stocare şi reutilizare a informaţiilor privind parametrii geotehnici ca cea prezentată în cele ce urmează. Folosirea acestei metode facilitează crearea unei bănci de date pentru stocarea informaţiilor privind parametrii geotehnici.

[top]

## 2. CRITERII ŞTIINŢIFICE CE STAU LA BAZA METODEI DE SISTEMATIZARE, STOCARE ŞI REUTILIZARE A INFORMAŢIILOR PRIVIND PARAMETRII GEOTEHNICI

**2.1.** Criteriile ce stau la baza metodei de sistematizare, stocare şi reutilizare a informaţiilor privind parametrii geotehnici au în vedere faptul că modul de comportare al pământurilor, sub acţiunea solicitărilor hidraulice şi mecanice, depinde în principal de următorii factori:

- natura materialului constituent;
- starea sa de umiditate şi îndesare;
- existenţa unor eventuale legături diagenetice între particulele materialului constituent.

**2.2.** Pentru caracterizarea naturii pământului se recurge la o figură geometrică simplă, denumită amprentă, construită pe baza compoziţiei granulometrice şi a plasticităţii (pentru cazul pământurilor coezive). Orice modificare a naturii pământului considerat este reflectată de forma şi dimensiunea amprentei. S-a optat pentru acest mod de reprezentare a naturii pământului deoarece încercările pentru stabilirea granulozităţii şi plasticităţii pot fi efectuate în laboratoarele curente cu o dotare minimă, iar acest mod de reprezentare nu face apel la criterii subiective ci doar la elementele obţinute direct din aceste teste.

**2.3.** Pentru caracterizarea stării de umiditate şi îndesare şi a modificărilor ce intervin sub acţiunea solicitărilor hidraulice şi mecanice ale pământului considerat s-a renunţat la diagrama Proctor ($w,r_d$) (vezi STAS 1913/6-83), care prezintă dezavantajul că majoritatea curbelor de egali parametri fizici (densitatea umedă, r, grad de saturaţie, $S_r$, volumul specific V [$cm^3$/100 g], umiditate volumică, (q) sunt hiperbole echilaterale); prin inversiunea $V=100/r_d$ [$cm^3$/100 g] aceste curbe devin linii drepte, ceea ce uşurează reprezentarea numai a domeniului care interesează din diagrama de stare şi permite urmărirea variaţiilor de volum (contracţii/umflări) generate de modificările de umiditate şi de solicitările mecanice, statice sau dinamice. Variaţiile de volum de la un punct la altul al terenului provoacă de obicei diferenţe de tasare.

**2.4.** Metoda de stabilire a parametrilor geotehnici ţinând seama de natura şi starea de umiditate şi îndesare a pământurilor este aplicabilă atât materialelor saturate, care au porii plini cu apă (situaţia particulară când gradul de saturaţie $S_r = 1$) cât şi celor nesaturate (cazul general când $0 < S_r < 1$) şi când în pori se găseşte atât fază lichidă cât şi fază gazoasă. În acest din urmă caz datorită fenomenelor de interacţiune dintre cele trei faze constituente ale pământului apare un deficit de presiune în fluidul din pori, denumit sucţiune care poate ajunge, atunci când pământul argilos este uscat, la cca. 10.000 de bari ($h = 10^7$ cm coloană de apă sau $pF = \log_{10} h = 7$, indice sorbţional) (STAS 9180-72: Teren de fundare. Determinarea capacităţii de reţinere a apei la diferite sucţiuni). În general pământurile nesaturate au comportări specifice în sensul că parametrii geotehnici variază în limite foarte largi în funcţie de natura şi starea lor de umiditate şi îndesare; exemple de astfel de pământuri sunt cele cu structura sensibilă la umezire cum sunt loessurile (PSU) şi argilele capabile de umflări şi contracţii mari (PUCM), care fac obiectul următoarelor materiale cu caracter normativ: Normativ privind fundarea construcţiilor pe pământuri sensibile la umezire (proiectare, execuţie, exploatare), P7/2000, respectiv Cod de proiectare şi execuţie pentru construcţii fundate pe pământuri cu umflări şi contracţii mari (PUCM), NE 0001-96, Buletinul Construcţiilor, nr. 7/1996.

Gama pământurilor întâlnite în stare nesaturată, situate deasupra apei subterane este însă mult mai largă deoarece se caută şi frecvent se reuşeşte să se evite fundarea sub nivelul acesteia.

**2.5.** Metoda de sistematizare şi stocare a informaţiilor geotehnice prezentată în cele ce urmează constituie un instrument de lucru pentru prelucrarea datelor experimentale a unor studii privind tipurile caracteristice de pământ întâlnite frecvent în ţara noastră şi compararea lor cu materiale similare din alte ţări; în acest fel este posibilă preluarea experienţei valoroase obţinute până în prezent în domeniul Geotehnicii.

**2.6.** Prelucrarea datelor geotehnice prin metode statistice necesită un număr relativ important ($n > 9$) de rezultate ale încercărilor privind determinarea parametrilor geotehnici şi conduce la abateri reduse numai după ce s-a ţinut seama de principalii factori care determină comportarea pământurilor, adică natura şi starea lor de umiditate şi îndesare.

[top]

## 3. INSTRUMENTE DE LUCRU ALE METODEI DE SISTEMATIZARE ŞI STOCARE A INFORMAŢIILOR GEOTEHNICE

### 3.1. Amprentele pământurilor şi diagrama naturii. Criteriul de analogie a naturii

**3.1.1. Amprenta A**, care este bazată pe rezultatele încercărilor pentru stabilirea granulometriei şi plasticităţii pământurilor, are în cadranul I diagrama lui Casagrande ( $w_l$, $i_p$) iar în cadranul iii o porţiune din curba granulometrică (fig. 1); în cadranul II, consacrat activităţii pământului ($x_{2m}$, $I_P$ ) pot fi trasate dreptele de egal indice $I_A = I_P / x_{2m}$ definit de Skempton sau domeniile stabilite de Van den Merwe [81] de calificare a pericolului prezentat de argilele expansive pentru construcţii. Pe latura din dreapta a amprentei din cadranul IV pot fi marcate cu nişte repere senzitivitatea pământului coeziv, $S_t = s_{netulburat} / s_{tulburat}$ sau valoarea vb rezultată din încercarea cu albastru de metilen (fig. 2) [41].

Rezistenţele s pot fi determinate prin încercări de compresiune monoaxilă (STAS 8942/6-76) sau în mod expeditiv cu ajutorul penetrometrului de buzunar cu condiţia ca mostrele cu structură netulburată şi tulburată să aibă aceeaşi natură şi stare de umiditate (*w*, %) şi îndesare ($r_d$ sau $V = 100/r_d$).

**3.1.2.** Detalii privind modul de construcţie al amprentei sunt date din Anexa B1.

**3.1.3.** Modul cum au fost stabiliţi parametrii ($w_l$, $I_P$, $x_d$, log d) indicaţi în axele amprentei facilitează reprezentarea grafică a diferitelor corelaţii ca de pildă cea dintre umiditate (w) şi valorile indicelui sorbţional $pF = \log_{10} h$ (h – sucţiunea în cm coloană de apă) în cadranul I sau relaţia lui Allen – Hazen privind permeabilitatea nisipurilor uniforme în cadranul IV $k = (C \log d_{10}^2)^2$ ş.a.

**3.1.4.** Unul dintre avantajele esenţiale ale amprentei este acela că identificarea naturii pământului considerat este bazată direct pe rezultatele încercărilor de laborator şi nu se recurge la nici un criteriu subiectiv de stabilire a unor clase sau categorii de pământuri aşa cum se procedează în diferitele sisteme de clasificare din România [7], SUA [1], [69], Franţa [41], Marea Britanie [3] ş.a.

În schimb, dacă pe diagrama pentru amprentă sunt reprezentate domeniile corespunzătoare diferitelor clase a sistemelor de clasificare mai răspândite (STAS 1243-88; AASHO, ASTM, FAA, BS, clasificarea franceză – figura 2) prin suprapunerea amprentei pământului considerat peste aceste domenii se poate stabili imediat clasa corespunzătoare clasificării dorite. Acest fapt permite o mai bună valorificare a experienţei trecute. De pildă, aşa după cum rezultă din Tabelul 1, atunci când se cunoaşte categoria de pământ din Clasificarea Unificată din SUA, (ASTM), se pot stabili cu oarecare aproximaţie valorile probabile ale parametrilor fizico- -mecanici şi hidraulici ai pământului considerat. Tot aşa, din figura 3 se poate constata că pentru categoriile de pământuri coezive CZ1 la CZ11, prevăzute în STAS 1243/88, se pot stabili corelaţii cu alţi parametri mecanici cum este de pildă indicele portant californian CBR [%] = $f(I_P)$ pentru starea de saturaţie.

în figura 4 sunt reprezentate amprentele schematizate ale categoriilor de pământuri necoezive NEC1 la NEC7 indicate în STAS 1243-88 precum şi ariile relative corespunzătoare.

**3.1.5.** Deoarece orice schimbare a naturii pământului conduce la modificarea amprentei pământului este necesar să se recurgă la caracterizarea globală şi digitală folosind aria sa relativă: $A_r$ aria amprentei/aria cercului de referinţă şi diametrul $d_{90}$, ca indicator a prezenţei fracţiunilor grosiere. Cercul de referinţă trece prin punctele $w_l = 50\%$, $I_P = 50\%$, $x_d = 5\%$ şi $d = 1$ mm, adică are diametrul $D = 100$ şi aria 7854 $mm^2$.

**3.1.6.** cercetările au arătat că există o corelaţie practic liniară (fig. 5) între aria relativă $A_r$ şi aria specifică $A_{sp}$($cm^{-1}$) determinată din căldura de umezire (STAS 1913/9-86) a nisipurilor fine de Pătârlagele (NP), Văleni (NV) şi Litcov (NL), loessurile de Barboşi (LB), Medgidia (LM) şi Năvodari (LN), lutul de Bucureşti (B) şi argila grasă de Podari (AP) ale căror amprente sunt arătate în figura 6.

**3.1.7.** în cazul pământurilor coezive (fig. 7), în special cele active, porţiunea din curba granulometrică din cadranul III poate fi asimilată cu o dreaptă, aşa că amprenta devine un pentagon a cărei arie relativă este dată de relaţia:

$$A_r = \frac{(185 + I_P)(w_L + 0{,}5x_{2\mu} + 45)}{7854} \quad (1)$$

folosirea căreia poate scuti de reprezentarea grafică a amprentei. Dacă se ţine seama de corelaţia: $x_{2m} = 1{,}047 \cdot I_P + 6{,}23$ stabilită pe baza datelor lui Croney expresia ariei relative devine:

$$A_r = \frac{(185 + I_P)(w_L + 0{,}5235\, I_P + 48{,}115)}{7854} \quad (2)$$

care permite reprezentarea în diagrama lui Casagrande ($w_l$, $i_p$) a curbelor de egale valori $a_r$ (fig. 8).

Se remarcă din aceeaşi figură că există o bună concordanţă între curbele de egale valori $A_r$ şi cele corespunzătoare unghiurilor de frecare $F_c$ pentru starea saturată. În aceaşi figură sunt indicate domeniile propuse corespunzătoare unei clasificări unificate mai detaliate.

| Simbol Clasificare unificata din SUA | Denumire pamant | Fractiuni granulometrice | | | | | | | g [kN / $m^3$] | n [%] | f [%] | c' [kPa] | k [m/s] | M [MPa] | $A_r$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | C [%] 2m | M [%] 60m | S [%] 2mm | G [%] | $W_L$ [%] | $W_P$ [%] | W [%] | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **GW** | Pietris curat neuniform | 00 | 02 | 26 | 72 | 00 | 00 | 02 | 17,0 | 24 | 35 | 00 | $10^{-04}$ | 100 | 0,1 - 0,2 |
| | | | | | | | | 08 | 23,0 | 36 | 45 | | | 200 | |
| **0,1 - 0,2GP** | Pietris curat uniform | 00 | 02 | 26 | 72 | 00 | 00 | 01 | 16 | 24 | 32 | 00 | $10^{-04}$ | 100 | ~ 0,00 |
| | | | | | | | | 05 | 22 | 40 | 44 | | | 200 | |
| **GM** | Pietris prafos cu putin fin | 02 | 08 | 30 | 60 | 17 | 13 | 03 | 18,5 | 20 | 32 | 00 | $10^{-07}$ | | 1,516 |
| | | | | | | | | 13 | 23,5 | 36 | 40 | | $10^{-06}$ | | |
| **GC** | Pietris argilos cu putin fin | 03 | 09 | 23 | 66 | 25 | 15 | 07 | 18,5 | 24 | 30 | 00 | $10^{-10}$ | | 1,775 |
| | | | | | | | | 15 | 22,5 | 40 | 38 | | $10^{-07}$ | | |
| **GM - ML** | Pietris prafos cu mult fin | 04 | 20 | 33 | 43 | 14 | 11 | 06 | 19 | 20 | 30 | 00 | $10^{-09}$ | | 1,460 |
| | | | | | | | | 23 | 24,0 | 40 | 40 | | $10^{-05}$ | | |
| **GM - GC** | Pietris argilos prafos | 06 | 22 | 30 | 42 | 19 | 13 | 07 | 19,5 | 21 | 30 | 00 | $10^{-07}$ | 20 | 1,629 |
| | | | | | | | | 15 | 23,5 | 35 | 36 | 04 | $10^{-05}$ | 150 | |
| **GC - CL** | Pietris argilos cu putin fin | 08 | 23 | 28 | 41 | 26 | 15 | 08 | 19,0 | 25 | 25 | 00 | $10^{-10}$ | | 1,872 |
| | | | | | | | | 20 | 23,0 | 39 | 33 | 06 | $10^{-07}$ | | |
| **GC - CH** | Pietris argilos cu mult fin | 10 | 23 | 29 | 38 | 57 | 23 | 10 | 17,5 | 30 | 24 | 00 | $10^{-10}$ | | 2,984 |
| | | | | | | | | 30 | 21,5 | 50 | 32 | 08 | $10^{-07}$ | | |
| **SW** | Nisip neuniform | 00 | 02 | 76 | 22 | 00 | 00 | 03 | 17,5 | 26 | 33 | 00 | $10^{-06}$ | | 0,3 - 0,5 |
| | | | | | | | | 23 | 21,5 | 46 | 43 | | | | |
| **SP** | Nisip curat uniform | 00 | 02 | 76 | 22 | - | - | 16 | 02 | 28 | 30 | 00 | $>10^{-08}$ | | 0,5 - 0,6 |
| | | | | | | | | 21 | 20 | 48 | 42 | | | | |
| **SM** | Nisip prafos cu putin fin | 02 | 09 | 75 | 14 | 26 | 22 | 10 | 17,5 | 27 | 31 | 00 | $10^{-09}$ | | 1,733 |
| | | | | | | | | 24 | 22,5 | 47 | 37 | | $10^{-05}$ | | |
| **SC** | Nisip argilos cu putin fin | 05 | 07 | 79 | 12 | 25 | 15 | 10 | 17,5 | 30 | 28 | 00 | $10^{-07}$ | | 1,800 |
| | | | | | | | | 30 | 21,5 | 50 | 36 | | $10^{-05}$ | | |
| **SM - ML** | Nisip prafos cu mult fin | 04 | 28 | 60 | 08 | 15 | 12 | 11 | 18,0 | 29 | 31 | 00 | $10^{-09}$ | | 1,484 |
| | | | | | | | | 29 | 22,0 | 47 | 37 | | $10^{-05}$ | | |
| **SM - SC** | Nisip argilos prafos | 09 | 32 | 45 | 14 | 19 | 13 | 07 | 19,0 | 22 | 28 | 00 | $10^{-09}$ | 20 | 1,666 |
| | | | | | | | | 23 | 23,0 | 42 | 34 | 10 | $10^{-05}$ | 150 | |
| **SC - CL** | Nisip argilos cu putin fin | 09 | 30 | 43 | 18 | 25 | 15 | 09 | 18,5 | 25 | 24 | 00 | $10^{-08}$ | | 1,850 |
| | | | | | | | | 29 | 22,5 | 47 | 32 | 10 | $10^{-10}$ | | |
| **SC - CH** | Nisip argilos cu mult fin | 12 | 31 | 54 | 03 | 57 | 23 | 20 | 16,5 | 39 | 24 | 00 | $10^{-11}$ | | 3,011 |
| | | | | | | | | 50 | 20,5 | 59 | 30 | 20 | $10^{-08}$ | | |
| **ML** | Praf | 06 | 64 | 29 | 01 | 30 | 26 | 11 | 16,5 | 32 | 29 | 00 | $10^{-09}$ | 06 | 1,877 |
| | | | | | | | | 53 | 21,5 | 62 | 37 | | $10^{-06}$ | 20 | |
| **CL - ML** | Argila prafoasa | 12 | 58 | 26 | 04 | 20 | 14 | 12 | 19,5 | 27 | 26 | 06 | $10^{-10}$ | 04 | 1,727 |
| | | | | | | | | 26 | 22,5 | 43 | 34 | 25 | $10^{-07}$ | 20 | |
| **CL** | Argila slaba | 20 | 61 | 16 | 03 | 33 | 17 | 15 | 18,5 | 33 | 23 | 10 | $10^{-10}$ | 02 | 2,252 |
| | | | | | | | | 49 | 21,5 | 49 | 31 | 30 | $10^{-07}$ | 20 | |
| **CH** | Argila grasa | 22 | 59 | 18 | 01 | 64 | 25 | 23 | 16,0 | 47 | 18 | 15 | $10^{-10}$ | 01 | 3,422 |
| | | | | | | | | 61 | 19,0 | 65 | 26 | 35 | $10^{-07}$ | 10 | |
| **OL** | Praf argilos organic | 08 | 70 | 21 | 01 | 42 | 29 | 35 | 15,5 | 49 | 21 | 06 | $10^{-10}$ | 01 | 2,294 |
| | | | | | | | | 61 | 18,5 | 65 | 29 | 15 | $10^{-07}$ | 10 | |
| **OH** | Argila organica | 12 | 70 | 17 | 01 | 71 | 40 | 46 | 14,0 | 58 | 18 | 06 | $10^{-10}$ | 01 | 3,355 |
| | | | | | | | | 90 | 17,0 | 74 | 26 | 15 | $10^{-07}$ | 05 | |
| **MH** | Praf micaceu | 10 | 66 | 25 | 00 | 68 | 38 | 63 | 14,0 | 60 | 18 | 00 | $10^{-10}$ | 01 | 3,230 |
| | | | | | | | | 93 | 17,0 | 47 | 30 | 10 | $10^{-07}$ | 05 | |
| **Pt** | | | | | | | | | | | | | | | |

Legenda:

C - argila

M - praf

S - nisip

G - pietris

$W_L$ - limita de curgere

$W_P$ - limita de framantare

g - greutatea specifica

n - porozitatea

f` - unghiul de frecare interna

c' - coroziunea

k - coeficientul de permeabilitate

M - modulul edometric

$A_r$ - aria relativa

**3.1.8**. Dacă se cunoaşte corelaţia dintre $w_L$ şi $I_P$ atunci aria relativă $A_r$ devine o funcţie parabolică de unul din aceşti parametri. Astfel, pentru corelaţia dată de dreapta liniei A din diagrama lui Casagrande: $I_P = 0,73(w_L - 20)$ se obţine:

$$A_r = 0,0002241 \cdot I_P^2 + 0,05327 \cdot I_P + 1,6044 \quad (3)$$

sau

$$A_r = 0,0001284 \cdot w_L^2 + 0,03375 \cdot w_L + 0,8781 \quad (4)$$

Pentru corelaţia lui Burland: $I_P = 0,83 \cdot (w_L - 19)$ se obţine:

$$A_r = 0,00022 \cdot I_P^2 + 0,0492556 \cdot I_P + 1,5809 \quad (3')$$

sau

$$A_r = 0,0001515 \cdot w_L^2 + 0,03512 \cdot w_L + 0,8588 \quad (4')$$

Pentru a înlătura dificultăţile legate de diferitele metode folosite pentru determinarea limitelor de plasticitate ($w_L$, $w_P$) şi deci a indicelui de plasticitate ($I_P = w_L - w_P$), în anexa A sunt date corelaţii între aceşti parametri care servesc la caracterizarea naturii pământurilor.

**3.1.10.** atunci când există date privind compoziţia mineralogică sau chimică se pot construi amprentele m (fig. 9a), respectiv ch (fig. 9b), care sunt mai sugestive decât prezentarea informaţiilor într-un tabel. se remarcă faptul că în amprenta m mineralele primare sunt reprezentate în partea stângă a figurii (fig. 9a), iar partea dreaptă este consacrată mineralelor secundare. de asemenea, în cadranul i al amprentei ch (fig. 9b) sunt reprezentate domeniile corespunzătoare gradului de lateritizare a pământurilor considerate.

**3.1.11.** în cazul pământurilor granulare grosiere, atunci când amprenta trece în cadranul ii, porţiunea respectivă de arie se consideră ca având semn negativ (fig. 4). În felul acesta aria relativă $A_r$ prezintă o variaţie continuă şi crescătoare de la valori negative pentru bolovănişuri şi pietrişuri ($A_r \approx -0,3$) până la argile forte active ($A_r > 5$).

**3.1.12.** Pentru stabilirea analogiei dintre pământuri se foloseşte diagrama naturii (log $d_{90}$, $a_r$) în care fiecărui material îi corespunde un punct (fig. 10). Pe această diagramă poate fi urmărită de pildă traiectoria modificării naturii în cazul amestecurilor a două pământuri sau atunci când materialul este tratat cu diferite substanţe.

Cu cât punctele din diagrama naturii corespunzătoare la diferite pământuri sunt mai apropiate între ele cu atât şi natura lor este mai asemănătoare; acest fapt poate fi exprimat prin coeficientul de analogie între două pământuri i şi j care reprezintă raportul dintre media valorilor $A_{ri}$ şi $A_{rj}$ şi distanţa $D_{i0} = D_{j0} = 0,5 \cdot D_{ij}$ faţă de distanţa dintre aceste puncte:

$$A_n = \frac{A_i + A_j}{D_{ij}} = \frac{A_i + A_j}{2\sqrt{(A_i - A_j)^2 + \left(\log \frac{d_{90_i}}{d_{90_j}}\right)^2}} \quad (5)$$

Atunci când cele două puncte i şi j coincid, $D_{ij} = 0$ coeficientul de analogie este infinit adică există o identitate din punct de vedere a naturii. Dacă este vorba de mai multe pământuri asemănătoare, adică de un grup de n puncte apropiate din diagrama naturii se poate defini un coeficient mediu de analogie a grupului:

$$A_n = \frac{\text{media valorilor } A_{ri}}{\text{media dist.} D_{i0} \text{ fata de centrul de greutate al punctelor}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i}{\sum_{i=1}^{n} D_{i0}} \quad (6)$$

unde $\sum D_{i0} / n$ reprezintă de fapt abaterea medie faţă de punctul (log $d_{90}$, $A_r$) corespunzător centrului de greutate al grupului de puncte considerate.

pe diagramele naturii pot fi trasate dreptele de egale valori ale coeficientului de analogie (fig. 10): de pildă, pentru grupul punctelor 4, 5, 6, 7, $D_{i0} = 0,325$ şi coeficientul de analogie este $A_n = 7,53$.

**3.1.13.** din reprezentarea în diagrama naturii a punctelor corespunzătoare diferitelor pământuri din ţară (fig. 11) a căror amprente sunt reprezentate în figura 6, rezultă că materialele asemănătoare ca natură se grupează, indiferent de amplasamantul din care provin; partea stângă şi de sus a diagramei naturii este consacrată pământurilor coezice, pe când partea dreaptă este rezervată pământurilor necoezice.

**3.1.14.** Atunci când din informaţiile privind natura pământului nu sunt date privind granulozitatea ci doar cele privind plasticitatea, pentru deducerea aproximativă a valorii lui $d_{90}$ se poate folosi următoarea corelaţie dintre $A_r$ şi $d_{90}$ stabilită pe baza prelucrării rezultatelor unui număr mare de încercări:

$$\log d_{90}\,(\text{mm}) = 3,12 - 0,35 \cdot A_r \quad (7)$$

valabilă pentru $A_r > 1$

**3.1.15.** Cercetări recente au arătat că plecând de la indicii fizici $w_L$, $I_P$, $x_{2m}$ şi utilizând modelul reţelelor neuronale pentru numeroase pământuri coezive din ţară şi străinătate diferenţele dintre ariile lor relative, $A_r$ prognozate şi cele calculate au fost sub 1%, dovedindu-se astfel că acest mod de caracterizare a naturii materialului este justificat.

**3.2. Diagrama de stare şi analogia stării**

**3.2.1.** Cea de a doua condiţie ca două pământuri să aibă o comportare similară este ca stările lor de umiditate şi îndesare să fie foarte apropiate.

**3.2.2.** pentru a caracteriza starea pământului considerat şi eventualele sale modificări, adică traiectoria stării, s-a adoptat o diagramă care are umiditatea w (%) în abscisă şi volumul specific v = 100/$r_d$ ($cm^3$/100 g) în ordonată (fig. 12), care prezintă faţă de diagrama proctor (w,$r_d$) (fig. 13) marele avantaj al linearizării curbelor de egali indici fizici (indicele porilor e, densitatea umedă ρ, umiditatea volumică q, grad de saturaţie $S_r$) şi permite punerea în evidenţă a modificărilor de volum DV/V).

**3.2.3.** Este de remarcat că în această diagramă stării de saturaţie ($S_r = 1$) în corespunde dreapta înclinată cu $45^0$ faţă de axele w şi V, fapt care uşurează reprezentarea numai a domeniului din diagramă care interesează; stabilirea acestui domeniu se face cu ajutorul relaţiei dintre volumul specific V, volumul specific al scheletului $V_s$ şi umiditatea de saturaţie:

$V = V_s + w_{sat}$ (9)

**3.2.4.** Pe o astfel de diagramă de stare pot fi reprezentate curbele de egali parametri hidrici (sucţiune, permeabilitate), sau mecanici (compresiune, rezistenţă) punându-se astfel în evidenţă influenţa stării de umiditate şi îndesare asupra valorilor lor.

**3.2.5.** În mod similar ca pentru natură poate fi definit un coeficient de analogie a stării:

$$A_{ns} = \frac{V_I + V_J}{D_{ij}} = \frac{V_I + V_J}{\sqrt{(\Delta w)^2 + (\Delta V)^2}} \quad (8)$$

unde $D_{ij}$ este jumătatea distanţei NN' dintre stările i şi j având cele două componente $Dw = 0,5\cdot(w_J - w_I)$ şi $DV = 0,5\cdot(V_I - V_J)$.

În cazul unui grup de stări apropiate *n*, se poate defini un coeficient mediu de analogie a stărilor pământului considerat:

$$A_{ns} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta V_i}{\sum_{i=1}^{n} D_{i0}} \quad (9)$$

unde $DV_i = V_i - V_s$, iar $\sum_{i=1}^{n} D_{i0}$ reprezintă abaterea medie faţă de punctul $(w_0, V_0)$ corespunzător centrului de greutate al grupului de n puncte.

**3.2.6.** Pe diagrama de stare pot fi trasate dreptele de egale valori ale indicilor fizici (densitatea umedă $r$ şi uscată $r_d$, umiditatea w şi gradul de saturaţie $S_r$ precum şi cele de volum $dv/v$; această formă a diagramei de stare (fig. 14) este utilă pentru confruntarea rezultatelor obţinute în laborator de diverşi operatori pentru încercări efectuate, din acelaşi tip de pământ.

**3.2.7.** Pe diagrama de stare din figura 14 este trasată cu linie întreruptă o curbă medie a stărilor optime de compactare care este situată între dreptele corespunzătoare gradelor de saturaţie $S_r = 0,8$ şi $S_r = 0,9$.

**3.3. Testarea metodei de prognozare a parametrilor geotehnici pe baza analogiei pământurilor**

**3.3.1.** Pentru a testa în ce măsură două pământuri care au amprente similare şi aceeaşi stare de umiditate şi îndesare au şi o comportare analogă s-au comparat rezultatele obţinute în urma unor încercări cu coloana rezonantă pentru determinarea modulilor dinamici $e_d$ şi $g_d$ a unui loess de vicksburg, sua [78] şi lut de sterrebeek, belgia [62]. aceste pământuri din două continente diferite au amprente foarte asemănătoare (fig. 15), practic acelaşi diametru $d_{90}$ şi în consecinţă un coeficient de analogie a naturii foarte ridicat:

$A_n = (1,930+1,751) / (1,930-1,751) = 20,564 > 20$ .

**3.3.2.** Pentru aceeaşi presiune de frecare ($s_3 = 40$ kPa) şi aceeaşi stare de umiditate (w = 20,4%) şi îndesare (V = 60,1 $cm^3$/100 g), adică un coeficient de analogie a stării $A_{ns} = \infty$, s-au obţinut pentru loess modulii dinamici $E_d = 105,9$ MPa şi $G_d = 39,7$ MPa, iar pentru lut $E_d = 88$ MPa şi $g_d = 10,1$ kpa (fig. 16), adică următoarele diferenţe relative faţă de valorile medii ale modulilor ($\overline{E_d} = 96,95$ MPa, $\overline{G_d} = 33,9$ MPa):

$$\frac{\Delta E_d}{\overline{E}_d} = \frac{8,95}{96,95} = 0,092 \text{ sau } 9,2\% ,$$

iar

$$\frac{\Delta G_d}{\overline{G}_d} = \frac{0,2}{39,9} = 0,005 \text{ sau } 0,5\% .$$

**3.3.3.** Acest rezultat încurajator a determinat continuarea cercetărilor în direcţia prognozării parametrilor geotehnici pe baza analogiei naturii şi stării pământurilor. Detalii privind construirea amprentelor şi a diagramelor de stare sunt date în Anexa B.

**3.3.4.** În cele ce urmează vor fi prezentate doar câteva din rezultatele unor cercetări recente privind această problemă insistându-se asupra estimării cantitative a influenţei naturii şi stării de umiditate (w, %) şi afânare (V, $cm^3$/100 g) asupra valorilor parametrilor geotehnici.

[top]

## 4. EXEMPLIFICAREA SISTEMATIZĂRII ŞI STOCĂRII INFORMAŢIILOR GEOTEHNICE PE BAZA METODOLOGIEI PROPUSE

**4.1. Parametrii hidraulici**

**4.1.1.** Parametrii hidraulici care interesează în Geotehnica Inginerească sunt: coeficientul de permeabilitate (k) pentru pământurile saturate (STAS 1913/6/76), respectiv cel de hidroconductivitate ($k_w$) pentru materialele nesaturate, capacitatea de reţinere a apei, adică curba de reţinere a apei (w, h) de către scheletul solid (STAS 9180-75) şi variaţia volumului specific (V) cu modificarea umidităţii (w) adică curba de contracţie–umflare (STAS 1913/12-88).

**4.1.2.** Cunoaşterea acestor parametri este necesară pentru estimarea circulaţiei apei prin pământ, stabilirea capacităţii de drenare a diferitelor materiale, stabilirea distribuţiei de echilibru a umidităţii sub construcţii şi îmbrăcăminţile impermeabile (drumuri, aeroporturi), prognozarea deformaţiilor datorate variaţiilor de umiditate, stabilirea înălţimii de ascensiune capilară (STAS 1913/8-82) şi aprecierea producerii degradărilor din îngheţ-dezgheţ (STAS 1709/1-90).

**4.1.3.** Cercetările teoretice şi experimentale ca şi constatările practice arată că parametrii (k), respectiv ($k_w$) depind de natura pământului (amprentă, $A_r$) şi starea sa de umiditate (w, %) şi afânare (V, $cm^3$/100 g); acest fapt, este rezultat din relaţia Kozeny-Carman, care dacă este exprimată cu ajutorul parametrilor din diagrama de stare (w, V) capătă forma simplă:

$$k_w = \frac{C}{V_s}\frac{w^\infty}{V} \quad \text{sau} \quad \log k_w = a + \alpha \log w - \log V \quad (10)$$

unde a = C / V şi $\alpha$ depind de natura pământului (teoretic $\alpha \gg 3$), w este umiditatea, iar V volumul specific. În figura 17 sunt reprezentate liniile de egale valori ale raportului $\overline{k}_w = \frac{k_w}{k_0}$, unde $k_0$ este permeabilitatea într-un punct de referinţă situat pe dreapta de saturaţie. Prin determinarea coeficienţilor de permeabilitate $k_1$, $k_2$ în două puncte ($w_1$ şi $w_2$) situate pe dreapta de saturaţie ($S_r = 1$) se pot scrie cele două ecuaţii cu două necunoscute, a şi $\alpha$ :

$\log k_1 = a + a \cdot \log w_1 - \log V_1$ (11)

$\log k_2 = a + a \cdot \log w_2 - \log V_2$

de unde rezultă valorile necunoscutelor a şi a :

$$\alpha = \frac{\log \frac{k_1}{k_2} + \log \frac{V_1}{V_2}}{\log \frac{w_1}{w_2}} \quad (12)$$

$a = \log k_1 - a \cdot \log w_1 + \log V_1$ . (13)

Rezultă că prin stabilirea coeficienţilor de permeabilitate a pământului considerat în două puncte din diagrama de stare (w, V) se poate aprecia, folosind relaţia (10), valoarea hidroconductivităţii ($k_w$) în orice alt punct al diagramei de stare.

**4.1.4.** tot din diagrama de stare (fig. 17) rezultă marea variabilitate a coeficientului ($k_w$) în funcţie de starea de umiditate. Această variabilitate a parametrului ($k_w$) este datorată în cea mai mare măsură variabilităţii sucţiunii (h), fapt care este pus în evidenţă de figura 18 unde în ordonată este arătat raportul $k_w$ / k) iar în abscisă umiditatea (w).

**4.1.5.** capacitatea de reţinere a apei de către pământ depinde în primul rând de natura materialului, fapt care este ilustrat de curbele caracteristice ale unor pământuri din ţară (fig. 19). Astfel de curbe servesc la stabilirea capacităţii de drenare folosind diverse mijloace de drenare cum sunt: drenarea gravitaţională care corespunde aproximativ unei sucţiuni h » 300 cm coloană de apă, adică un indice sorbţional pF » log 300 = 2,5, drenarea cu ajutorul filtrelor aciculare, h » 800 cm $H_2O$ (pF = 2,9), drenare vegetală asigurată în mod curent de rădăcinile plantelor, h » 2000 cm $H_2O$ (pF 3,3), drenare prin electroosmoză, h » 3000 cm $H_2O$ (pF 3,5), drenarea corespunzătoare umidităţii de ofilire a plantelor, h = 1,5´ $10^4$ cm $H_2O$ (pF 4,2), drenarea prin evaporare datorită aerării, h > 3´ $10^4$ cm $H_2O$ (pF > 4,5) şi în fine cea corespunzătoare uscării în etuvă, h ≈ $10^7$ cm $H_2O$ (pF » 7) pentru pământurile coezive şi h ≈ $10^5$ cm $H_2O$ (pF » 5) pentru nisipuri.

**4.1.6.** În domeniul sucţiunilor mai mici ca $10^3$ cm $H_2O$ (pF < 3) forma curbei de reţinere este influenţată de starea de îndesare sau afânare, fapt care este ilustrat de figura 20 unde sunt reprezentate curbele de reţinere pentru loessul de Barboşi (Ba) şi Brăila (Br), lutul de Bucureşti (B) având diferite stări iniţiale de îndesare ($w_{sat}$ , $V_0$) precum şi nisipul fin de Văleni îndesat (NVî) şi afânat (NVa).

**4.1.7.** Marea variabilitate a sucţiunii în funcţie de starea de umiditate rezultă din figura 21 unde sunt trasate curbele de egale valori h (kPa) ale acestui parametru în diagrama de stare pe baza determinării curbelor de reţinere prin metoda aparatului cu membrană de presiune (STAS 9180-75).

**4.1.8.** curba de contracţie este arătată în cadranul i al diagramei de stare (w, v) (fig. 12), iar panta tangentei indică în ce măsură (a = tg b ) presiunea (p) aplicată pământului este transmisă în primul moment apei din pori modificând astfel sucţiunea iniţială (h) a apei din pori (u) atunci când pământul este neîncărcat (p = 0). Relaţia astfel obţinută:

$u = -h + a \cdot p$ sau $h = -u + a \cdot p$ (14)

stă la baza metodei de stabilire a distribuţiei de echilibru a umidităţii sub îmbrăcăminţile impermeabile.

din figura 12 rezultă că atâta vreme cât pământul rămâne saturat (h = 0) curba de contracţie (traiectoria stării) se confundă cu dreapta de saturaţie ($S_r$ = 1) înclinată la $45^0$ faţă de axele (w) şi (V) şi panta tangentei (tg b), adică coeficientul α = 1, când întreaga presiune este transmisă apei din pori; pe măsura scăderii umidităţii se ajunge într-un punct când curba de contracţie începe să se îndepărteze de dreapta ($S_r$ = 1) aşa că b < 45°, iar a = tg b < 1, iar pentru a = 0, adică întreaga presiune aplicată este transmisă scheletului mineral al pământului.

**4.1.9.** în figura 22 dreapta este arătată schema metodei de stabilire a distribuţiei de echilibru a umidităţii pe baza curbei de contracţie a şi a curbei de reţinere b a apei în raport cu axa umidităţii, w; în partea stângă a figurii sunt arătate tot curbele de reţinere c şi contracţie d dar exprimate în raport cu valorile coeficientului (a ) din axa absciselor negative; în cadranul C pe lângă curba de reţinere $h_a = f(a)$ este reprezentată dreapta:

$h_i = -u + a \cdot p = -a_w \cdot z + a \cdot p$ (15)

care indică variaţia sucţiunii cu distanţa (z) până la nivelul apei subterane (NAS). Pentru ca să nu existe migraţie a apei trebuie ca sucţiunile să fie egale ($h_a = h_2$), ceea ce corespunde punctului *c* de intersecţia curbei cu dreapta, rezultând în acest fel umiditatea de echilibru, ($w_i$).

**4.1.10.** Ascensiunea capilară ($h_c$) interesează în special problemele legate de efectele defavorabile ale îngheţului-dezgheţului. În figura 23 se arată influenţa naturii materialelor granulare, exprimată cu ajutorul ariei relative ($A_r$) şi a diametrului ($d_{90}$) (corespunzător la 90%), asupra distribuţiei de echilibru a umidităţii (w, %) deasupra nivelului apei subterane (NAS).

**4.2. Parametri mecanici**

**4.2.1.** Principalii parametri mecanici folosiţi în practică sunt modulul de compresibilitate M (MPa) şi parametrii rezistenţei la forfecare adică (unghiul de frecare, f ($^o$) şi coeziunea c (kpa)). reprezentând în diagrama de stare liniile de egale valori ale acestor parametri (figura 24 şi figura 25) se poate constata că şi ei depind în foarte mare măsură de modificările stării de umiditate (w) şi afânare (V). Folosind datele pentru argila prăfoasă din figura 25a s-au reprezentat curbele de egal factor de stablitate ($F_s$) valorile căruia sunt influenţate foarte mult în special de starea de umiditate, constatare care este în deplină concordanţă cu observaţiile privind alunecările de teren. Această constatare infirmă părerea, din păcate destul de răspândită, că parametrii mai sus amintiţi ar depinde doar de natura pământului considerat.

**4.2.2.** Studierea pământurilor nesaturate şi posibilitatea prognozării comportării poate fi făcută în cele mai multe cazuri cu aparatura cu care sunt dotate laboratoarele curente, în special cu edometrul. Pentru aceasta se recurge la încercările edometrice duble sau multiple. Este vorba de o încercare efectuată pe două sau mai multe mostre din acelaşi ştuţ sau monolit care iniţial au aceeaşi stare de umiditate (w) şi îndesare (V = 100 / $r_d$); una din mostre este supusă treptat unor presiuni din ce în ce mai mari (1, 10, 20, 50, 100, 200, 400, 600, 800, 1000 kPa) menţinând-o la aceeaşi umiditate (w ≈ const.) aşa că traiectoria stării va fi o linie verticală o-m pe care vor fi marcate stările finale de echilibru corespunzătoare diferitelor presiuni aplicate (fig. 27). Cea de a doua mostră este inundată încă de la început sub o presiune neglijabilă (1 kPa) aşa că, fiind o argilă expansivă se va umfla urmărind traiectoria O-N-N' ajungând aproape saturată ($S_r$ ≈ 0,9) după care, la aplicarea celorlalte trepte de presiune va urma o traiectorie frântă (N-P) situată în vecinătatea dreptei de saturaţie ($S_r$ = 1); pentru a putea trasa traiectoria este necesar ca după terminarea tasării sub fiecare treaptă să se stabilească starea de umiditate, $w_i$, şi volumul specific, $V_i$. Unind cu drepte punctele de pe cele două traiectorii de stare corespunzătoare aceloraşi presiuni rezultă un spectru care permite prognozarea traiectoriilor de stare probabile pentru situaţii neîncercate. Astfel, dacă de pildă se pleacă din punctul $A_0$ situat pe dreapta de 50 kPa şi unde umiditatea este $w_0$ şi se măreşte umiditatea până la $w_1$, traiectoria de stare va fi $A_0A'$ şi va rezulta umflarea +DV. Invers, dacă se menţine aceeaşi presiune dar se micşorează umiditatea până la $w_2$, traiectoria de stare va fi $A_0A''$ şi va rezulta contracţia -DV. Traiectoria BB' corespunde modificării atât a umidităţii de la $w_3$ la $w_4$ cât şi a presiunii p de la 100 la 400 kPa. Detalii privind reprezentarea în diagrama de stare a încercării edometrice duble sunt arătate în Anexa B.

Fig. 26. Curbe de egali factori de stabilitate $F_x$ şi egale pante b ale unui taluz având înălţimea H = 10,00 m

În mod similar în figura 28 sunt prezentate în diagrama de stare rezultatele unor încercări edometrice multiple pentru loessul de Galaţi; se remarcă faptul că prăbuşirea structurii macroporice are loc între umidităţile *w* = 22 şi 23%.

Acest mod de încercare şi reprezentare a rezultatelor încercării edometrice duble sau multiple este necesar pentru estimarea tasărilor sau umflărilor unui teren nesaturat care este supus nu numai unor presiuni ci şi unor variaţii de umiditate atunci când se modifică de pildă nivelul apelor subterane. Fără acest spectru problema nu poate fi rezolvată.

**4.2.3.** Influenţa deosebită pe care o are starea de umiditate (w) şi îndesare (V = 100 / $r_d$) este proprie şi altor parametri geotehnici care exprimă comportarea pământurilor.

Astfel, în figura 29 sunt reprezentate curbele de egală rezistenţă la compresiune simplă, $s_c$ (kPa) stabilită prin încercarea unor mostre cilindrice nefretate ($s_3$ = 0). Se observă, aşa cum era de aşteptat, că micşorarea umidităţii, w, şi a volumului specific, V, conduce la mărirea rezistenţelor $s_c$ argilei nisipoase a cărei natură este caracterizată de parametrii $A_r$ = 2,400; $I_P$ = 20%, $w_L$ = 40% şi $x_{2m}$ = 22%. O constatare importantă este aceea că variaţia lui $s_c$ în lungul liniei de saturaţie ($S_r$ = 1) şi a volumului constant *V* = 61 $cm^3$/100 g are un caracter logaritmic (log $s_c$).

.

Ţinând seama că raza de curbură a liniilor $s_c$ este foarte mare ele pot fi aproximate cu nişte drepte. În aceste condiţii rezultă că într-o reprezentare spaţială având drept plan de bază diagrama de stare (w, V) şi în ordonată log $s_c$ variaţia acestui parametru corespunde unui plan:

$$\log s_c = a - b\cdot w - c\cdot V \quad (16)$$

pentru determinarea căruia este suficient să se cunoască valorile log $s_c$ în trei puncte necolineare, aşa după cum se poate constata din figura 3.11.

Observaţii similare pot fi făcute şi pentru variaţia rezistenţei la forfecare nedrenată, $s_u$ (kPa) variaţia acestui parametru într-o reprezentare spaţială fiind dată tot de un plan:

$$\log s_u = a - b\cdot w - c\cdot V \text{ , } (17)$$

sub o formă generală. Funcţia corespunzătoare parametrului considerat (P) va fi dată de expresia:

$$P (w, V) = a - b\cdot w - c\cdot V \text{ . } (18)$$

Valorile constantelor a, b, c din relaţiile (16) şi (17) depind de natura pământului şi a parametrului geotehnic considerat.

**4.2.4.** Un parametru mecanic folosit pentru stabilirea capacităţii portante a infrastructurilor de transport este indicele californian CBR (%) care reprezintă raportul dintre rezistenţa pământului şi cea a unui macadam standardizat pentru o pătrundere de 2,54 sau 50,8 mm a unui dorn cu diametrul de 49,6 mm. Reprezentând în diagrama de stare datele unor încercări efectuate de Road Research Laboratory din Anglia pentru tipuri de pământuri a căror amprente sunt arătate în figura 31 (A – argilă grasă, $A_r$ = 4,35; *B* – argilă nisipoasă; $A_r$ = 2,19; *C* – nisip prăfos, $A_r$ = 1,645; *D* – nisip mare, $A_r$ = 0,776; *E* – nisip fin uniform, $A_r$ = 0,582; *F* - pietriş cu nisip, $A_r$ = 0,532) şi de INCERC (I – lut de Bucureşti, $A_r$ = 2,914; O – lut de Otopeni, $A_r$ = 3,582; L – loess de Feteşti, $A_r$ = 1,881) s-au putut trasa în diagrama de stare curbele de egale valori CBR.

**4.2.5.** Într-o reprezentare spaţială ce are ca plan de bază diagrama de stare (w, V) şi pe o axă perpendiculară log CBR punctele corespunzătoare variaţiei acestui parametru (p = log CBR) vor fi cuprinse într-un plan înclinat (w, V, p) faţă de bază în trei puncte: $P_1$ ($w_1$, $V_1$, log $CBR_1$), $P_2$ ($w_2$, $V_2$, log $CBR_2$), $P_3$ ($w_3$, $V_3$, log $CBR_3$) necolineare. Cele trei puncte se aleg astfel încât să limiteze domeniul care interesează şi în interiorul căruia se găseşte punctul corespunzător stării optime de compactare. Ecuaţia planului trece prin cele trei puncte şi este:

$$\begin{vmatrix} w - w_1 & V - V_1 & p - p_1 \\ w_2 - w_1 & V_2 - V_1 & p_2 - p_1 \\ w_3 - w_1 & V_3 - V_1 & p_3 - p_1 \end{vmatrix} = 0 . \quad (19)$$

Notând determinanţii minori corespunzători variabilelor w, V şi p cu $D_w$, $D_v$ şi $D_p$ ecuaţia planului devine:

$$w\cdot D_w - V\cdot D_V - p\cdot D_p - [w_1.D_w - V_1.D_V + p\cdot D_p] = 0$$

de unde:

$$p = \underbrace{\left[w_1 \frac{D_w}{D_p} - V_1 \frac{D_V}{D_p} + p_1\right]}_{a} - \underbrace{\frac{D_w}{D_p} w}_{b} - \underbrace{\left(\frac{D_w}{D_p}\right) V}_{c} \quad (20)$$

sau sub o formă generală:

$$\log CBR = a - b\cdot w - c\cdot V \quad (21)$$

relaţie care pune în evidenţă influenţa umidităţii w şi a volumului specific asupra parametrului considerat (CBR) (tab. 2); constantele a, b şi c depind de natura pământului.

**4.2.6.** Aceeaşi metodă poate fi aplicată ori de câte ori curbele de egal parametru din diagrama de stare pot fi aproximate, într-un anumit domeniu, cu nişte linii drepte, chiar dacă variaţia parametrului nu are un caracter logaritmic; în acest caz relaţia de mai sus capătă forma:

$$p (w,V) = a - b\cdot w - c\cdot V.$$

astfel de situaţii sunt reprezentările pentru modulul de compresibili-tate m (fig. 24), unghiul de frecare internă $f$ şi coeziunea c (fig. 25), rezistenţa la compresiune simplă $s_c$ (fig. 29) şi rezistenţa la forfecare nedrenată $s_u$ (fig. 30).

Tabelul 2

| Nr. | Pamant | $A_r$ | $d_{90}$ m | $x_{2m}$ (%) | $I_P$ (%) | $w_L$ (%) | Optim | | Coeficienti | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | w (%) | V ($cm^3$ / 100g) | a | b | c |
| 1 | A Argilă grasă | 4,350 | 36 | 52 | 42 | 75 | 26 | 64,43 | 4,900 | 0,056 | 0,0390 |
| 2 | O Lut de Otopeni | 3,582 | 42 | 42 | 42,8 | 57,5 | 17 | 56,50 | 10,213 | 0,1122 | 0,1170 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | I<br>Lut INCERC | 2,914 | 45 | 38 | 25,9 | 45 | 24,4 | 63,70 | 3,637 | 0,0436 | 0,0243 |
| 4 | B<br>Argilă nisipoasă | 2,190 | 105 | 23,5 | 11 | 31 | 16 | 55,80 | 6,167 | 0,1000 | 0,0632 |
| 5 | L<br>Loess de Feteşti | 1,881 | 70 | 10 | 15,2 | 30 | 16 | 55,90 | 10,910 | 0,2110 | 0,1130 |
| 6 | C<br>Nisip prăfos | 1,645 | 3000 | 7 | 3 | 24 | 13 | 52,42 | 7,340 | 0,1120 | 0,0880 |
| 7 | D<br>Nisip mare neuniform | 0,776 | 2500 | - | - | - | 10 | 50,00 | 8,256 | 0,0917 | 0,1153 |
| 8 | E<br>Nisip fin uniform | 0,582 | 316 | - | - | - | 13 | 61,27 | 4,686 | 0,0162 | 0,0540 |
| 9 | F<br>Pietriş cu nisip | 0,532 | 13200 | - | - | - | 8 | 48,45 | 9,209 | 0,1560 | 0,1300 |

**4.3. Parametri tehnologici**

**4.3.1.** Prin parametri tehnologici se înţeleg cei legaţi de anumite procedee de lucru, care au drept obiect îmbunătăţirea comportării pământurilor, cum sunt cele ce se referă la compactarea materialelor sau stabilizarea prin amestec. În cazul acestor procedee se urmăreşte de regulă creşterea eficienţei procedeului aplicat din punct de vedere al uşurinţei de execuţie, a creşterii rezistenţelor mecanice şi micşorării permeabilităţii materialului.

**4.3.2.** Compactarea este un procedeu curent folosit la lucrările de fundaţii, realizarea terasamentelor şi a lucrărilor din materiale locale (diguri, baraje). Rezultatele compactării depind de natura materialului şi de parametrii utilajului folosit în acest scop. Practica arată că atunci când natura pământurilor este apropiată de cea optimă şi se folosesc utilaje asemănătoare se obţin rezultate apropiate din punct de vedere al stării de îndesare finale.

**4.3.3.** Acest fapt este ilustrat de rezultatele unor încercări de compactare realizate în poligoane experimentale pe o gamă largă de pământuri a căror amprente sunt arătate în figura 33 şi care au arii relative ale amprentelor cuprinse între Ar = 0,522 (balast) şi Ar = 4,332 (argilă grasă). Rezultatele compactării folosind diverse utilaje (compactor cu cilindru lis de 2,75 şi 8 t, compactor picior de oaie de 4,5 şi 5 t, compactor cu pneuri de 12 t şi mai Diesel) pentru argilă grasă (Ar = 4,332), argilă (Ar = 2,99), praf (Ar =1,648), nisip (Ar = 0,558) şi balast (Ar = 0,552) sunt arătate în figura 32, figura 34, figura 35, figura 36, figura 37 şi figura 38. În figura 39 sunt reprezentate în diagrama de stare rezultatele unor compactări de teren cu diferite utilaje şi în laborator cu diferite energii (L = 30; 60 şi 100 tm/m$^3$) pentru loessul de Dobrogea; se observă că starea optimă de compactare se realizează pentru stări de umiditate cuprinse între $S_r$ = 0,8–0,9. Se mai remarcă faptul că există o dreaptă (CL) de corelaţie dintre logaritmul energiei de compactare L (tm/m$^3$) şi poziţia stării optime de compactare care poate fi folosită pentru estimarea energiei efective de compactare a diferitelor utilaje.

**4.3.4.** Amprentele şi diagramele de stare sunt utile şi pentru sistematizarea informaţiilor privind problemele legate de stabilizarea pământurilor prin realizarea de amestecuri sau adaosuri de diferite alte materiale. Astfel, pe figura 40-a sunt reprezentate domeniile din partea stângă a amprentei corespunzătoare diferitelor metode de stabilizare în funcţie de solicitările date de traficul rutier, precum şi corelaţiile dintre procentajul fracţiunii argilă ($x_{2m}$, %) şi valorile probabile ale limitei de curgere ($w_L$, %), frământare ($w_P$, %) şi indicele de plasticitate ($I_P$, %).

**4.3.5.** în figura 40-b şi figura 40-d este arătată variaţia rezistenţei la compresiune simplă $s_c$ (daN/cm$^2$) în timp (zile) pentru variate adaosuri de ciment pentru diferite tipuri de pământuri, iar în figura 40-c traiectoria stării optime de compactare în funcţie de procentajele fracţiunii $x_{400m}$(%).

**Tabel sintetic cu starile optime de compactare pentru utilajele utilizate**

| Pamanturi | | | | | Cilindru compactor Lis | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $A_r$ | $d_{90}$ | | Incerc. Standard | 220 kg M | 2,8 t | 2,4 t D | 3,9 t D | 3,9 t T | 8,6 t F | 8,6 t S |
| Argila grasa 1946 - 1953 | 4,45 | 35 m | $w_{opt}$ | 22,5 | | 14,5 | | 25 | 26,4 | 17,5 | 16,7 |
| | | | $V_{min}$ | 60,24 | | 60 | | 62 | 64 | 55,8 | 56,2 |
| Argila grasa 1945 - 1966 | | 30 m | $w_{opt}$ | 21,56 | | | | | | | |
| | | | $V_{min}$ | 60,98 | | | | | | | |
| Argila grasa 1967 - prezent | | 30 m | $w_{opt}$ | 22,8 | | | | | | | |
| | | | $V_{min}$ | 61,73 | | | | | | | |
| Argila prafoasa 1946 - 1953 | | 123 m | $w_{opt}$ | 19,67 | | 15,3 | 19,1 | | | 17 | 17,2 |
| | | | $V_{min}$ | 59,17 | | 57,4 | 59,3 | | | 56,2 | 57 |
| Argila nisipoasa Nr. 1 - 1946 - 1953 | | 200 m | $w_{opt}$ | 14,67 | 19,6 | 16,2 | | | | 13,8 | 14,3 |
| | | | $V_{min}$ | 54,35 | 71,4 | 54,3 | | 18,1 | | 54 | 54 |
| Argilă nisipoasă Nr. 2 – 1954-1966 | | 100 m | $w_{opt}$ | 16,25 | | | | 56,8 | | | 15,4 |
| | | | $V_{min}$ | 56,18 | | | | | | | 53,1 |
| Argilă nisipoasă Nr. 3 – 1967-prezent | | 180 m | $w_{opt}$ | 15,3 | | | | | | | |
| | | | $V_{min}$ | 54,05 | | | | | | | |
| Nisip fin uniform | | 180 m | $w_{opt}$ | 14,67 | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1954-1966 | | | $V_{min}$ | 60,98 | | | | | | | |
| Nisip fin uniform 1967-prezent | | 200 m | $w_{opt}$ | 14,67 | | | | | | | |
| | | | $V_{min}$ | 58,48 | | | | | | | |
| Nisip cu unif. medie 1946 - 1953 | | 1,8 mm | $w_{opt}$ | 10 | 12,2 | 9,2 | 8,25 | | | 8 | 9,4 |
| | | | $V_{min}$ | 50,25 | 9,73 | 48,1 | 48,1 | | | 46,8 | 46,4 |
| Nisip cu unif. medie 1954 - 1966 | | 2 mm | $w_{opt}$ | 9,73 | | | | | | | |
| | | | $V_{min}$ | 49,26 | | | | | | | |
| Nisip cu unif. medie 1966 - prezent | | 3mm | $w_{opt}$ | 9,06 | | | | | | | |
| | | | $V_{min}$ | 47,39 | | | | | | | |
| Pietris nisipos 1946 - 1966 | | 5 cm | $w_{opt}$ | 8,83 | 11,1 | | 8,7 | | | | |
| | | | $V_{min}$ | 48,08 | 55,2 | | 46,6 | | | | |
| Pietris nisipos 1954 - 1966 | | 6 cm | $w_{opt}$ | 8,28 | | | | | | | |
| | | | $V_{min}$ | 47,85 | | | | | | | |
| Pietris nisipos 1967 - prezent | | 7 cm | $w_{opt}$ | 8,44 | | 8 | | | | 7,3 | 7,2 |
| | | | $V_{min}$ | 47,17 | | 46,8 | | | | 45,7 | 45 |
| | | | | | | | | | | | |

**Tabel sintetic cu starile optime de compactare pentru utilajele utilizate**

| Pamanturi | | | | | Compactor cu pneuri | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $A_r$ | $d_{90}$ | | Incerc. Standard | 1,4 t 250 kn / $m^2$ | 2,3 t 550 kn / $m^2$ | 5,1 t 620 kn / $m^2$ | 10,2 t 620 kn / $m^2$ | 10,2 t 970 kn / $m^2$ |
| Argila grasa 1946 - 1953 | 4,45 | 35 m | $w_{opt}$ | 22,5 | 22,6 | 20 | 20,2 | 19,1 | |
| | | | $V_{min}$ | 60,24 | 61,9 | 57 | 57,3 | 56,3 | |
| Argila grasa 1945 - 1966 | | 30 m | $w_{opt}$ | 21,56 | | | | | |
| | | | $V_{min}$ | 60,98 | | | | | |
| Argila grasa 1967 - prezent | | 30 m | $w_{opt}$ | 22,8 | | | | | |
| | | | $V_{min}$ | 61,73 | | | | | |
| Argila prafoasa 1946 - 1953 | | 123 m | $w_{opt}$ | 19,67 | | | | 18,1 | |
| | | | $V_{min}$ | 59,17 | | | | 61 | |
| Argila nisipoasa Nr. 1 - 1946 - 1953 | | 200 m | $w_{opt}$ | 14,67 | | | | | |
| | | | $V_{min}$ | 54,35 | | | | | |
| Argilă nisipoasă Nr. 2 – 1954-1966 | | 100 m | $w_{opt}$ | 16,25 | 17,4 | 15,2 | 15 | 15,4 | |
| | | | $V_{min}$ | 56,18 | 56 | 52,3 | 52,7 | 52,4 | |
| Argilă nisipoasă Nr. 3 – 1967-prezent | | 180 m | $w_{opt}$ | 15,3 | | | | | |
| | | | $V_{min}$ | 54,05 | | | | | |
| Nisip fin uniform 1954-1966 | | 180 m | $w_{opt}$ | 14,67 | | | | | |
| | | | $V_{min}$ | 60,98 | | | | | |
| Nisip fin uniform 1967-prezent | | 200 m | $w_{opt}$ | 14,67 | | | | | |
| | | | $V_{min}$ | 58,48 | | | | | |
| Nisip cu unif. medie 1946 - 1953 | | 1,8 mm | $w_{opt}$ | 10 | 10,5 | 9,4 | 10,1 | 9,4 | |
| | | | $V_{min}$ | 50,25 | 50,3 | 49,4 | 48,5 | 48,7 | |
| Nisip cu unif. medie 1954 - 1966 | | 2 mm | $w_{opt}$ | 9,73 | | | | | |
| | | | $V_{min}$ | 49,29 | | | | | |
| Nisip cu unif. medie 1966 - prezent | | 3mm | $w_{opt}$ | 9,06 | | | | | |
| | | | $V_{min}$ | 47,39 | | | | | |
| Pietris nisipos 1946 - 1966 | | 5 cm | $w_{opt}$ | 8,83 | 8 | 6,5 | 8,5 | 7,5 | |
| | | | $V_{min}$ | 48,08 | 46,8 | 46,2 | 46,2 | 46 | |
| Pietris nisipos 1954 - 1966 | | 6 cm | $w_{opt}$ | 8,28 | | | | | |
| | | | $V_{min}$ | 47,85 | | | | | |
| Pietris nisipos 1967 - prezent | | 7 cm | $w_{opt}$ | 8,44 | | | | | |
| | | | $V_{min}$ | 47,17 | | | | | |
| | | | | | | | | | |

**Tabel sintetic cu starile optime de compactare pentru utilajele utilizate**

| Pamanturi | Compactor picior de oaie | | | | | | | Cilindru vibrator picior de oaie | | | Tractor pe senile | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 11 t | 13,6 t | 6,8 t | 5,1 t | 5 t | 4,5 t | 4,3 t | 700 kg D | 4,3 T | 5,1 T | 6 T | 11 T |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | | | 21,8 | 23,4 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{min}$ | | | | | | | | | | | 61,7 | 61 |
| $w_{opt}$ | | 21,2 | 22,8 | 20,4 | 10,7 | 12,5 | 19 | | | | | |
| $V_{min}$ | | 58,2 | 61,2 | 62,6 | 55 | 54,6 | 62 | | | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | 27,7 | 17,5 | 21,8 | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | 67,7 | 59,6 | 58,8 | | |
| $w_{opt}$ | | | | | 13,4 | 14,5 | | | | | 18,3 | |
| $V_{min}$ | | | | | 52,6 | 54,8 | | | | | 59,3 | |
| $w_{opt}$ | | | | | 12,5 | 12,8 | | | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | 52,4 | 52,1 | | | | | | |
| $w_{opt}$ | 15 | 16,2 | | | | | | | | | | |
| $V_{min}$ | 55,8 | 53,5 | | | | | | | | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | 16,2 | 11,2 | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | 55 | 50,8 | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | | | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | 5,8 | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | | 59 | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | | | 10,6 | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | | | | 50,3 | |
| $w_{opt}$ | | 12,8 | | | | | | | | | | |
| $V_{min}$ | | 56 | | | | | | | | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | 73 | 8 | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | 46,7 | 47 | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | | | 7,5 | 8 |
| $V_{min}$ | | | | | | | | | | | 49,2 | 50 |
| $w_{opt}$ | | 8 | | | 8,4 | 6 | | | | | | |
| $V_{min}$ | | 47,7 | | | 49,4 | 50,1 | | | | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | 65 | 7 | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | 47,4 | 46,6 | | | |

**Tabel sintetic cu starile optime de compactare pentru utilajele utilizate**

| Pamanturi | Cilindru vibrator Lis | | | | | | | Maivibrator | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 220 kg M | 350 kg M | 990 kg M | 2,4 t D | 3,9 t T | 3,9 t | 8,6 t | comp. in sapat. strat 100 mm | comp. la supraf. strat 300 mm | comp. in sapat. strat 300 mm |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | | | |
| $w_{opt}$ | | 28 | | 12,2 | 20,4 | 21,2 | 22 | | | |
| $V_{min}$ | | 66,4 | | 60,8 | 57,5 | 58 | 59 | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | 27,9 | 23,6 | 25 |
| $V_{min}$ | | | | | | | | 65,4 | 64,2 | 74,5 |
| $w_{opt}$ | | | | 18 | | | | | | |
| $V_{min}$ | | | | 57,2 | | | | | | |
| $w_{opt}$ | 18,5 | | | | | | | | | |
| $V_{min}$ | 65,2 | | | | | | | | | |
| $w_{opt}$ | | 15,6 | 15,6 | | 14,4 | 16,1 | 14,7 | | | |
| $V_{min}$ | | 61,7 | 60,3 | | 51,4 | 53,2 | 52,8 | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | 13 | 14,3 | 18 |
| $V_{min}$ | | | | | | | | 54 | 52,8 | 59 |
| $w_{opt}$ | | 13 | | | | | | | | |
| $V_{min}$ | | 58,8 | | | | | | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | | | |
| $w_{opt}$ | 10,8 | 8 | 9,7 | 7,6 | 7,6 | 7 | 8 | | | |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{min}$ | 49,6 | 48,8 | 49 | 46,7 | 45,8 | 45,1 | 46,1 | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | | | |
| $w_{opt}$ | 7,5 | 7,5 | 6,5 | 5,5 | 5 | 5,2 | 5,2 | | | |
| $V_{min}$ | 47 | 47 | 46 | 45 | 43,7 | 43,9 | 43,9 | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | | | |

**Tabel sintetic cu starile optimee de compactare pentru utilajele utilizate**

| Pamanturi | Compactor cu placa vibranta | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 80 kg 450 kg / $m^2$ | 80 kg 410 kg / $m^2$ | 140 kg | 150 kg | 180 kg | 670 kg | 710 kg | 1,5 t | 2 t | 240 kg |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | 22,6 | 14 | | 18,2 | |
| $V_{min}$ | | | | | | 59,7 | 61 | | 69,2 | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | 15 | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | | 53,4 | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | | | |
| $w_{opt}$ | | | 18,2 | 18,5 | 19,2 | 15,6 | 15 | | | |
| $V_{min}$ | | | 62 | 59,8 | 64,7 | 53,1 | 52 | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | 8,8 | 11 | 9 | 9,5 |
| $V_{min}$ | | | | | | | 48,2 | 51,2 | 49 | 49,8 |
| $w_{opt}$ | | | | | | 8 | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | 46,1 | | | | |
| $w_{opt}$ | 8,9 | 10,2 | 8 | 8,5 | 8,5 | | | | | |
| $V_{min}$ | 50 | 50,8 | 48,1 | 48 | 51 | | | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | 6 | 5,4 | 7 | 6,5 | 9 |
| $V_{min}$ | | | | | | 44,2 | 43,9 | 46,4 | 45,4 | 48,7 |
| $w_{opt}$ | 10,6 | 10,2 | 8,4 | 9,8 | 9,6 | | | | | |
| $V_{min}$ | 49,3 | 48,8 | 48 | 48,5 | 48,4 | | | | | |

**Tabel sintetic cu starile optime de compactare pentru utilajele utilizate**

| Pamanturi | Compactor Diesel | | | | | | Maimecanic | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100 kg 18 lovit. | 100 kg 15 lovit. | 100 kg 19 lovit. | 100 kg 22 lovit. | 100 kg 26 lovit. | 600 kg 22 lovit. | maiuri multiple | echip. 2 lov. de 12,1 kJ/$m^2$ | echip. 5 lov. de 12,1 kJ/$m^2$ | echip. 4 lov. de 15,5 kJ/$m^2$ | echip. 7 lov. de 8,3 kJ/$m^2$ |
| $w_{opt}$ | 15,6 | 17 | 19,5 | 21 | 22 | 14,9 | | | | | |
| $V_{min}$ | 53,2 | 54,8 | 60 | 58,6 | 60 | 55,1 | | | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | 23,2 | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | 60,8 | | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $w_{opt}$ | 12 | | | | | 15,2 | | | | | |
| $V_{min}$ | 54,2 | | | | | 56,4 | | | | | |
| $w_{opt}$ | 11,8 | 10,7 | 14 | 13,6 | 14,5 | 12 | | | | | |
| $V_{min}$ | 52,4 | 51,9 | 54 | 54,6 | 56 | 54 | | | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | 18,2 | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | 57,6 | | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | | | | |
| $w_{opt}$ | 7,2 | | | | | 10,8 | | | | | |
| $V_{min}$ | 48,4 | | | | | 49,4 | | | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | 8,7 | 11,8 | 8,8 | 10,2 | 8,6 |
| $V_{min}$ | | | | | | | 48,2 | 49,7 | 49,7 | 48,2 | 47,7 |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | | | | |
| $w_{opt}$ | 5,3 | | | | | 6,4 | | | | | |
| $V_{min}$ | 45,8 | | | | | 46,5 | | | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | 6,1 | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | 46 | | | | |
| $w_{opt}$ | | | | | | | | | | | |
| $V_{min}$ | | | | | | | | | | | |

[top]

## 5. PRINCIPII PENTRU REUTILIZAREA INFORMAŢIILOR GEOTEHNICE PE BAZA ANALOGIEI PĂMÂNTURILOR. PROGNOZAREA PARAMETRILOR GEOTEHNICI

### 5.1. Principii generale

**5.1.1.** Experienţa acumulată în decursul timpului în legătură cu valorile parametrilor geotehnici oferă posibilitatea estimării, cu oarecare aproximaţie, a aceloraşi parametri pentru pământuri asemănătoare ca natură şi stare de umiditate şi îndesare (vezi § 3.3).

**5.1.2.** În general, în trecut s-a ţinut seama numai de natura pământurilor, caracterizată cu ajutorul curbelor granulometrice sau a limitelor şi indicilor de plasticitate ($w_L$, $I_P$). Astfel, în figura 41 sunt arătate domeniile delimitate de curba granulometrică privitoare la metodele de îmbunătăţire a pământurilor (a) şi la coborârea nivelului apelor subterane (b); suprapunând peste aceste domenii amprenta pământului considerat se poate stabili imediat ce procedee pot fi aplicate cu succes. pe acelaşi principiu s-au stabilit domenii privitoare la sensibilitatea la îngheţ (fig. 42), pericolul de lichefiere a pământurilor (fig. 43) şi aplicabilitatea procedeului de vibroflotaţie pentru îndesarea materialelor granulare (fig. 44) ş.a.

**5.1.3.** Detalii suplimentare privind valorile orientative ale parametrilor geotehnici probabili şi comportarea diferitelor categorii de pământuri ca teren de fundare sau atunci când sunt utilizate ca materiale locale, sunt date în Anexa C.

**5.1.4.** Trebuie menţionat că indicaţiile unor astfel de diagrame au doar un caracter strict orientativ deoarece iau în considerare doar granulozitatea pământului şi nu ţin seama de starea sa de umiditate şi îndesare, care, aşa cum s-a văzut în capitolele precedente, influenţează în mod hotărâtor valorile parametrilor geotehnici. Chiar atunci când se ia în considerare şi starea nu se poate renunţa la încercări de teren şi laborator care să confirme sau să infirme valorile parametrilor prognozaţi.

### 5.2. Prognozarea parametrilor hidraulici

**5.2.1.** insuficienta dotare a laboratoarelor din ţară cu aparatură pentru determinarea sucţiunii face necesară folosirea unor metode aproximative pentru determinarea curbei caracteristice de reţinere a apei de către pământ pe baza analogiei de natură şi stare cu alte pământuri pentru care s-au stabilit astfel de curbe (fig. 19).

**5.2.2.** În acelaşi scop pot fi folosite curbe de reţinere pentru pământuri având diferite valori ale indicelui de plasticitate $i_p$ (%) (fig. 45) şi pentru care s-au calculat cu relaţia din Cap. 3 valorile ariilor relative $A_r$ ale amprentelor. Aceste curbe trebuie însă corectate în domeniul sucţiunilor mici pF < 3 (h < $10^3$ cm $H_2O$) astfel încât să pornească din punctul de pe axa umidităţilor, care corespunde umidităţii de saturaţie ($w_{sat}$). Tot pentru această corectare se pot folosi curbele caracteristice în domeniul sucţiunilor mici din figura 46 sau setul de 19 curbe de reţinere din figura 47 a căror amprente sunt arătate în figura 48 unde sunt indicaţi în tabel (b) şi indicii ce caracterizează natura fiecărui material ($A_r$,$d_{90}$, $w_L$, $I_P$) precum şi corelaţia dintre $A_r$ şi $d_{90}$ (c).

De asemenea, pentru punctele necesare trasării curbelor de reţinere a apei de către pământ se poate recurge la corelaţiile lineare din cadranul I al amprentelor din figura 49 dintre indicele de plasticitate $I_P$ şi umidităţile w corespunzătoare indicilor sorbţionali pF2 (h = $10^2$ cm $H_2O$), pF3 (h = $10^3$ cm $H_2O$). În acelaşi cadran sunt arătate şi curbele de egal unghi de frecare internă,$F$ ($^o$) pentru pământurile saturate.

Atunci când se cunoaşte aria relativă, $A_r$, se pot deduce cu ajutorul corelaţiilor de la baza figurii 45 umidităţile w corespunzătoare indicilor sorbţionali pF0, pF1, pF2, pF3 şi pF4, adică 5 puncte ale curbei caracteristice.

### 5.3. Prognozarea parametrilor mecanici

**5.3.1.** Aşa cum s-a văzut şi în § 3.3 atunci când pe lângă natura pământului se cunoaşte şi starea sa de umiditate şi îndesare prognozarea parametrilor geotehnici pe baza analogiei dintre diferite pământuri similare, devine mult mai precisă.

**5.3.2.** În ceea ce priveşte compresibilitatea pământurilor problema este relativ simplă căci existenţa în laboratoarele curente a edometrelor permite stabilirea cu suficientă precizie a curbei de compresiune (eventual umflare, Anexa B) şi în consecinţă a parametrilor cum sunt modulul de deformaţie (M = $Dp$ / $De$), coeficientul de compresiune (a = $De$ / $Dp$), coeficientul de compresiune volumică ($m_v$ = a / (1+e) = 1 / M) pentru diferite intervale de încărcare ($Dp$) (STAS 8942/1-89); aceste valori pot fi comparate cu cele ale unor pământuri similare ca natură (§ 3.1) şi stare (§ 3.2). Valori orientative pentru aceşti parametri pot fi în tabelul 1 şi în tabelele din Anexa C.

**5.3.3.** În ceea ce priveşte stabilirea parametrilor rezistenţei la forfecare, determinarea lor este mai complicată, deoarece chiar în cazul particular al pământurilor saturate ($S_r = 1$) intervine presiunea pozitivă a apei din pori ($u_w$), iar rezistenţa la forfecare este dată de relaţia:

$$t = c' + (s - u)\operatorname{tg} F \quad (21)$$

(STAS 8942/282; STAS 8942/5-75).

În cazul general al pământurilor nesaturate, intervenind sucţiunea ($u_a - u_w$) adică presiunea negativă a apei din pori, rezistenţa la forfecare creşte aşa după cum se poate vedea din figura 50:

$$t_f = c' + (s_f - u_a)_f \operatorname{tg} F' + (u_a - u_w)_f \operatorname{tg} F^b , \quad (22)$$

unde c' este ordonata în origine a suprafeţei de cedare Mohr-Coulomb şi unde presiunea normală $(s_f - u_a)_f$ şi sucţiunea matriceală $(u_a - u_w)_f$ sunt nule; $u_a$ şi $u_w$ sunt presiunile aerului (a) şi apei (w) din pori; $F'$ – unghiul de frecare internă pentru presiuni normale ($s_a - u_a$) variabile; $F^b$ – unghiul care indică creşterea rezistenţei la forfecare în raport cu sucţiunea matricială ($u_a - u_w$).

**5.3.4.** În cazul pământurilor saturate pentru o orientare asupra valorilor parametrilor rezistenţei la forfecare c şi $F$ în funcţie de aria relativă a amprentelor, $A_r$, pentru materialele coezive (CZ) şi necoezive (NEC) menţionate în STAS 8318-77 poate fi utilă diagrama din figura 51 care are unghiul de frecare internă $F$ în abscisă şi coeziunea c în ordonată.

**5.3.5.** prognozarea indicelui de capacitate portantă californian cbr poate fi făcută stabilind mai întâi analogia dintre natura pământului considerat şi cea a pământurilor pentru care există studii şi publicaţii referitoare la acest parametru (fig. 33) sau în exemplul din tabelul 3.

**5.3.6.** Analogia naturii poate fi stabilită prin compararea formei şi a dimensiunii amprentelor, respectiv a valorilor ariilor lor relative, $A_r$ şi a diametrului, $d_{90}$.

Tabelul 3

| Pământ | $A_r$ | Plasticitate | | Stare | | CBR (%) | | Datele din literatură |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $I_P$ (%) | $w_L$ (%) | w (%) | V ($cm^3$/100g) | Laborator | Teren | |
| CH1 – Argilă grasă | 4,020 | 42 | 69 | 24,8 | 65,70 | 8,9 | 7,9 | Croney (1977) |
| CH2 – Argilă | 3,490 | 37 | 59 | 25,1 | 65,02 | 3,9 | 3,0 | |
| CL1 – Argilă prăfoasă | 2,266 | 14 | 37 | 19,5 | 57,22 | 2,0 | 12 | |
| | | | | 19,0 | 58,34 | 5,0 | 11 | |
| | | | | 16,1 | 60,02 | 22,0 | 22 | |
| CL2 – Argilă nisipoasă | 2,042 | 12 | 30 | | 65,70 | 2,2 | 3,1 | |

de pildă argila grasă a din figura 33 are aria relativă $A_r = 4,35$, iar argila grasă din figura CH1 din Tabelul 3 are $A_r = 4,02$ aşa încât coeficientul lor de analogie a naturii lor este:

$$A_n = \frac{\sum_{i=1}^{2} A_i}{\sum_{j=1}^{2} D_i} = \frac{4,35 + 4,02}{4,35 - 4,02} = 26,16 > 20 \quad (23)$$

La starea de umiditate şi îndesare a argilei CH1 (w = 24,8%; V = 67,7 $cm^3$/100 g) şi valoarea CBR = 8,9 (laborator) din Tabelul 3 şi figura 52 corespund în diagrama de stare din figura 32A valorile: (w = 26%; V = 64,43 $cm^3$/100 g, CBR = 8,5) aşa că rezultă un coeficient de analogie a stării considerând că volumul specific al scheletului mineral $V_s$ = 37 $cm^3$/100 g.

$$A_n = \frac{\sum_{i=1}^{2} \Delta V}{\sum_{j=1}^{2} D_i} = \frac{65,7 - 37,0 + 64,43 - 37,0}{\left[(65,7 - 64,43)^2 + (26,0 - 24,8)^2\right]^{1/2}} = 32,12 ,$$

adică cele două pământuri au şi stări apropiate.

În această situaţie diferenţa relativă a valorilor CBR în raport cu media lor este:

$$\frac{CBR_A - CBR_{CH1}}{CBR_{medie}} = \frac{8,9 - 8,5}{8,7} = 0,046 \text{ sau } 4,6\% .$$

**5.3.7.** În cazul când există o bază de date prognozarea parametrilor geotehnici poate fi făcută folosind reţelele neuronale. Modelul neuronal folosit pentru o argilă grasă având aria relativă a amprentei, $A_r = 4,22$ a avut variabilele de intrare umiditatea *w* (%) şi volumul specific *V* ($cm^3$/100 g) iar de ieşire valoarea CBR. Din valorile obţinute în urma a 39 încercări CBR de laborator, din care 26 au fost folosite în procesul de antrenare şi 13 în cele de testare, valoarea maximă a erorii absolute a fost de 0,23, ceea ce este acceptabil pentru acest parametru.

**5.4. Prognozarea parametrilor tehnologici**

**5.4.1.** Printre procedeele tehnologice folosite pentru îmbunătăţirea pământurilor fără îndoială că cel de compactare este cel mai frecvent folosit. Eficacitatea procedeului depinde de natura pământului ($A_r$), starea de umiditate (w, %) în momentul operaţiunii, energia dezvoltată de utilajul de compactare şi poate fi exprimată prin starea de îndesare finală:

$$\left(V_{min} = \frac{100}{P_{dmax}}\right).$$

**5.4.2.** Sintetizând rezultatele (datele) obţinute pe mii de încercări de compactare s-a putut obţine abaca din figura 53 cu care, plecând de la natura pământului ($A_r$) se poate obţine (1-2) umiditatea optimă ($w_{opt}$), apoi (3-4) volumul specific minim, $V_{min}$. Este interesant de observat că deşi s-a luat în considerare doar natura pământului ($A_r$), valorile probabile obţinute cu ajutorul abacei pentru starea optimă ($w_{opt}$ = 24,5% ; $V_{min}$ = 65,8 $cm^3$/100 g) pentru argila grasă (CH, $A_r$ = 3,71) sunt apropiate de valorile medii reale ($w_0$ = 24,5%, V = 66,4 $cm^3$/100 g).

În mod similar pentru argila slabă CL ($A_r$ = 2,19) valorile medii obţinute pe mii de încercări de teren $w_{opt}$ = 17% şi $V_{min}$ = 56,8 $cm^3$/100 g sunt apropiate faţă de cele date de abacă, $w_{opt}$ = 17,1% şi $V_{min}$ = 57,0 $cm^3$/100 g.

**5.4.3.** O prognozare mai precisă poate fi făcută dacă, pe lângă natura pământului, se are în vedere şi tipul de utilaj folosit. Pentru aceasta s-au prelucrat rezultatele unor încercări sistematice în poligoane experimentale efectuate în trei perioade de timp (1946-1953; 1954-1966; 1967-1991) pe o gamă largă de pământuri (15 tipuri), mergând de la argilă grasă ($A_r$ = 4,58; $d_{90}$ = 30 µ) la pietriş nisipos ($A_r$ = 0,85; $d_{90}$ = 7 cm) a căror amprente sunt arătate în figura 54 (pe baza datelor lui Parsons) [75]. Punctele corespunzătoare din diagrama naturii (log $d_{90}$; $a_r$ ) (fig. 55) sunt dispuse în cinci grupuri (I la V) de pământuri similare compactate cu 10 categorii de utilaje ( A – cilindru compactor lis; B – compactor cu pneuri; C – compactor picior de oaie; D – cilindru vibrator lis; E – cilindru vibrator picior de oaie; F – compactor cu placă vibrantă; G – mai vibrator; H – compactor Diesel; I – mai mecanic; J – tractor cu şenile) cu diferite caracteristici, rezultatele compactării fiind arătate în tabelul sintetic din Anexa D.

De asemenea, aceste rezultate sunt prezentate şi sub formă grafică, ca diagrame de stare, de felul celor arătate în figura 56, în care sunt marcate punctele corespunzătoare stărilor optime sau efectele numărului de treceri a diferitelor tipuri de utilaje (fig. 57).

[top]

## 6. CONCLUZII

**6.1.** Evaluarea parametrilor geotehnici trebuie să ţină seama că valoarea lor depinde în principal de natura şi starea de umiditate şi îndesare a pământului. În cazul pământurilor nesaturate nu există o corespondenţă biunivocă între starea de umiditate şi cea de îndesare.

**6.2.** O caracterizare sintetică a naturii pământului este indicat a fi făcută cu ajutorul amprentelor deoarece pe lângă avantajele arătate în Anexa D permite stabilirea de analogii între diferite tipuri de pământuri. În ceea ce priveşte încercările ce contribuie la stabilirea naturii pământului considerăm că este necesar ca pe lângă stabilirea limitei de curgere cu cupa Casagrande să fie introdusă în ţara noastră metoda cu înfigerea conului care fac obiectul standardului britanic BS 1377-75 (§ 2.5), precum şi stabilirea unor corelaţii între cele două metode corespunzătoare aparaturii utilizate în ţara noastră.

**6.3.** Pentru reprezentarea variaţiei stării de umiditate şi îndesare a pământurilor este indicat ca în locul diagramei Proctor (w, $r_d$) să fie folosită diagrama (w, V = 100 / $r_d$ ) care pe lângă avantajul esenţial că liniile de egali parametri fizici sunt nişte drepte, permite stabilirea variaţiilor de volum DV care de obicei conduc şi la variaţii de tasare ale terenului.

**6.4.** Folosirea conjugată a amprentelor şi a diagramelor de stare permite o mai bună valorificare a experienţei trecute privind comportarea pământurilor şi pe această bază prognozarea comportării unor pământuri similară ca natură şi stare.

**6.5.** Starea de umiditate a pământurilor nesaturate are un caracter dinamic şi complex guvernat de existenţa sucţiunii, care este factorul motor al migraţiei apei din pori. Astfel sucţiunea este cea care are tendinţa de a reţine apa din pori şi se opune acţiunii mijloacelor de drenare folosite. Pentru a evalua mişcarea apei în pământurile nesaturate şi a stabili umidităţii de echilibru a două corpuri hidrofile intrate în contact direct sau sub îmbrăcăminţile impermeabile (§ 4.6) este necesară cunoaşterea relaţiei sucţiune-umiditate.

Această relaţie poate fi stabilită pe cale experimentală dar în ţară nu există în prezent aparatură funcţională de acest fel decât la un singur laborator (ISPIF). În consecinţă este necesară dotarea celorlalte laboratoare principale din ţară cu aparatură pentru determinarea sucţiunii. Ţinând seama de această situaţie în lucrarea de faţă se indică metode indirecte de stabilire a relaţiei sucţiune-umiditate.

**6.6.** Modul de aplicare a principiilor de sistematizare a informaţiilor geotehnice menţionate mai înainte sunt exemplificate prin folosirea lor pentru prognozarea parametrilor hidraulici, mecanici şi tehnologici care exprimă comportarea pământurilor.

**6.7.** Se arată astfel influenţa naturii şi stării pământului pentru mai multe pământuri din ţară şi străinătate prin reprezentarea în diagrama (w, *V*) a curbelor de egale valori a parametrilor geotehnici; plecând de la constatarea că în anumite domenii curbele de egale valori ale parametrilor, p, au un caracter cvasiliniar s-a putut exprima influenţa stării de umiditate, (w, %) şi îndesare, (V $cm^3$/100 g) sub o formă analitică:

log p = a - b·w - c·V ,

unde constantele a, b şi c depind de natura pământului.

**6.8.** S-a pus de asemenea în evidenţă influenţa naturii şi stării asupra compactării cu diferite utilaje precum şi posibilitatea de a prognoza rezultatele ce pot fi obţinute ţinând seama de analogia dintre diferitele pământuri. Considerăm că acest mod de abordare a problemei compactării pământurilor trebuie să se găsească în materiale cu caracter normativ privind această temă ce vor fi elaborate în viitor.

**6.9.** La verificarea rezultatelor încercărilor pentru stabilirea parametrilor geotehnici trebuie testată concordanţa dintre indicii fizicii privind starea de umiditate şi îndesare a pământurilor folosind diagrama din figura 14.

**6.10.** Rezultatele prognozării parametrilor geotehnici cu metodele prezentate în proiectul de ghid au un caracter informativ şi ca atare nu elimină necesitatea efectuării încercărilor prevăzute în standardele în vigoare dar în schimb permite sesizarea unor eventuale erori prin constatarea unor neconcordanţe dintre parametrii determinaţi pentru pământul considerat şi alte materiale similare ca natură şi stare.

**6.11.** În încheiere trebuie menţionat că metoda de sistematizare a informaţiilor geotehnice prezentată în lucrare reprezintă baza creierii unei bănci de date privind parametrii ce exprimă comportarea pământurilor din ţară.

[top]

### SCHEMA LOGICĂ A METODOLOGIEI PROPUSE

Schema logica a metodologiei propuse

[top]

### BIBLIOGRAFIE

1. ASTM (1999); *Annual Book of ASTM Standards* – Volume 04.08.
2. BS-1377 (1975); *Methods of test for civil engineering purposes*. *British Standards Institution*
3. BS-5930 (1981); *Code of practice for site investigations*, London
4. BS-6031 (1981); *Code of practice for earthworks*, London
5. BS-8004 (1986); *Code of practice for foundations,* London
6. NE001 (1996); *Cod de proiectare şi execuţie pentru construcţii fundate pe pământuri cu umflări şi contracţii mari,* Buletinul Construcţiilor, nr. 7
7. STAS 1243-88 – *Teren de fundare. Clasificarea şi identificarea pământurilor*
8. STAS 3950-81 – *Geotehnică. Terminolgie, simboluri şi unităţi de măsură*
9. STAS 9180-73 – *Teren de fundare. Determinarea capacităţii de reţinere a apei de către pământurile la diferite sucţiuni*
10. STAS 1912/14-7475 – *Teren de fundare. Determinarea caracteristicilor de compactare. Încercarea prin rulare în laborator*
11. STAS 1913/15-75 – *Teren de fundare. Determinarea greutăţii volumice*
12. STAS 8942/5-75 – *Teren de fundare. Determinarea rezistenţei la forfecare, prin compresiune triaxială, pe probe neconsolidate, nedrenate la pământuri coezive*
13. STAS 8942/6-*75* – *Teren de fundare. Încercarea pământurilor la compresiune monoaxială*
14. STAS 1913/6-*75* – *Teren de fundare. Determinarea permeabilităţii în laborator*
15. STAS 1913/3-*76* – *Teren de fundare. Determinarea densităţii pământurilor*
16. STAS 1913/1-*82* – *Teren de fundare. Determinarea umidităţii*
17. STAS 1913/8-82 – *Teren de fundare. Determinarea înălţimii capilare în pământurile necoezive. Metoda coloanei de pământ*
18. STAS 8942/2-82 – *Teren de fundare. Determinarea rezistenţei pământurilor la forfecare, prin încercarea de forfecare directă*
19. STAS 1913/13-83 – *Teren de fundare. Determinarea caracteristicilor de compactare. Încercarea Proctor (M-SR-3/86)*
20. STAS 1913/5-85 – *Teren de fundare. Determinarea granulozităţii*
21. STAS 1913/4-86 – *Teren de fundare. Determinarea limitelor de plasticitate*
22. STAS 1913/9-86 – *Teren de fundare. Determinarea căldurii maxime de umezire a pământurilor*
23. STAS 1913/12-88 – *Teren de fundare. Determinarea caracteristicilor fizice şi mecanice ale pământurilor cu umflări şi contraţii mari*
24. STAS 8942/1-89 – *Teren de fundare. Determinarea compresibili-tăţii pământurilor prin încercarea în edometru*
25. STAS 8942/3-90 – *Teren de fundare. Determinarea modulului de deformaţie liniară prin încercări pe teren cu placa*
26. * * * *Calculul fundaţiilor şi Ingineria Geotehnică* – Eurocode 7. Exemple de calcul (1997), editat de Manoliu, I. şi Marcu, A.
27. * * * *Clay fills* (1982) – The institution of Civil Engineers, London
28. * * * D2325 – *Test method for capillary moisture relationship for coarse and medium textured soils by porous-plate apparatus. ASTM*
29. * * * D3152 – *Test method for capillary moisture relationship for fine-textured soils by pressure-membrane apparatus. ASTM*
30. * * * – *Guidelines for the design and construction of flexible pavements incorporating geotextiles in marine environmental* (1995)
31. * * * – *International Symposium on Subdrainage in Road Pavements and Subgrades* (1998), Committee C12, AIPCR-PIARC, Granada, Spain
32. * * * – *La réglementation française et étrangere on géotechnique* (Actes des journées d'etude organisées les 16 et 17.12.1986). Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris
33. * * * – *Réalisation des remblais et des couches de forme* (1992). Guide technique, LCPC-SETRA, Paris
34. * * * – *Resilient moduli of soils: Laboratory conditions* (1989). Geotechnical Special Publication 24, ASCE, New York
35. * * * – *Unsaturated soils: recent developments and applications* (1993). Civil engineering european courses. 15-17 June, 1993, Barcelona
36. * * * – *Untersuchungimethoden des Bodenstrukturzustandes* (1988). Deutskher Landwirtshaftsverlag, Berlin
37. * * * – *West European methods for soil structure determination* (1967). The State Faculty of Agricultural Science, Ghent, Belgium
38. * * * – *Water and its conduction in soils* (1958). International Symposium, Special Report 40, Highway Research Board, Washington
39. * * * (1972) – *CP 101 Foundations and substructures for non-industrial buildings of not more than four storeys*. London, Buckingham. E (1907), Studies on the movement of soil moisture. Dept. Agr. Bureau of Soils Bull. 38, pp. 1-61
40. * * * (1990) – *Methods of test for soils for civil engineering purposes*. British Standard Institution, London
41. * * * (1992) – *Réalisation des remblais et des couches de forme.* Fascicule I et II, SETRA 7, LCPC Paris
42. * * * (1994) – *Engineering characteristics of arid soils*. Editors Fookes P.G., Parry, R.H.G., A.A. Balkema, Rotterdam
43. * * * (1995) – *Unsaturated soils - Sols non saturés*. Alonso, E.E., Delage, P. Editors, v. 1,2,3, A.A. Balkema, Rotterdam
44. * * * (1995) – *Unsaturated soils.* Special publications no. 39, ASCE (Huston, S.L., Wray, W.K. Editors)
45. * * * DIN 18.122 T.1 (1976) – Baugrund: Untersuchung von Bodenproblem Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen); Bestimmung der Fliess-und Ausrollgrenze
46. * * * *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties* (1965). American Society of Agronomy Madison Wisconsin, USA
47. * * * P7 (1999) – *Normativ privind proiectarea, executarea şi exploatarea construcţiilor fundate pe pământuri sensibile la umezire*. Redactarea 1-a
48. * * * Proceedings of the 1st (Texas, 1965), 2nd (Texas, 1969), 3rd (Haifa, 1973), 4th (Denver, 1980), 5th (Adelaide, 1984), 6th (New Delhi, 1987), 7th (Dallas, 1992) International Conference on Expansive Soils
49. Andrei, S. (1967) – *Apa în pământurile nesaturate*. Editura Tehnică Bucureşti
50. Andrei. S (1977) – *Proprietés hydrauliques et mécaniques des sols non saturés.* Revue Française de Géotechnique, no. 2, pp. 49-78

51. Andrei. S. (1992) – *Geotechnical engineering design*. Spiru Haret University, Bucharest
52. Andrei, S. (1995) – *Comportarea pământurilor nesaturate*. Drumuri şi Poduri, no. 30, pp. 22-25 şi no. 31, pp. 28-30
53. Andrei, S. (2000) – *Prognozarea parametrilor geotehnici*. A 9-a Conferinţă Naţională de Geotehnică şi Fundaţii, Cluj-Napoca, v. 1, p. 2.24
54. Andrei. S., Athanasiu, C. (1979) – *Test data systematization and stockage to predict the parameters describing the behaviour of unsaturated soils.* Proc. Europ. Conf. Soil Mech., Brighton, v. 1, pp 91-94
55. Andrei. S., Athanasiu, C. (1981) – *Sistematizarea, stocarea şi reutilizarea informaţiilor geotehnice*. Revista Construcţiilor, no. 7, pp. 35-48
56. Andrei. S., Boboc, J. (1997) – *Dicţionar englez-român de geotehnică şi fundaţii, geologie, hidrogeologie, geofizică, foraj, minerit.* Editura Conspress, Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti
57. Andrei. S., Manea, S. (1992) – *Systematization, stockage and reuse of data regarding soil stabilization*. Proc. Europ. Conf. Soc. Mech., Helsinki, v. 2, pp. 875-878
58. Andrei. S., Manea, S. (1995) – *Moisture and volume changes in unsaturated soils.* 1st International Conference on unsaturated soils, v. 2, pp. 945-951, Paris
59. Andrei. S., Manea, S. (1997) – *Concepţii noi în stabilirea parametrilor ce determină comportarea pământurilor*. Construcţii hidrotehnice în secolul XXI, pp. 133-141
60. Andrei. S., Păunescu, D., Deacu, D. (1999,a) – *Sistematizarea informaţiei geotehnice cu ajutorul reţelelor neuronale*. Ediţia a VI-a a Zilelor Academice Timeşene, v. 2, pp. 534-543. Ed. MIRTON
61. Andrei. S., Păunescu, D., Şerban, V. (1999,b) – *Influenţa naturii stării pământurilor asupra valorilor parametrilor geotehnicii rutiere*. Ed. a VI-a a Zilelor Academice Timeşene, v. 2, pp. 524 -533, Editura MIRTON
62. Brull, A. (1983) – *Effets méchaniques de l'eau interstitielle*. Centre de Recherches Routière, Bruxelles
63. Casagrande, A. (1948) – *Soil classification*. Transactions ASCE
64. Fall, D.A. (2000) – *A numerical model for rapid determination of plasticity of fine-grained soils*. Ground Engineering, September, pp. 43-45
65. Escario. V., Saez, J. (1989) – *The shear strength of partially saturated soils.* Geotechnique, v. 36, no. 3, pp. 453-456
66. Fredlund, D.G., Rahardjo, H. (1993) – *Soil mechanics for saturated soils.* John Wiley & Sons, New York
67. Fredlund, D.G. (1998) – *The practice of unsaturated soils mechanics*. Geotechnical Hazards, A.A. Balkema, Rotterdam
68. Hilf, J.V. (1981) – *A rapid method of construction control for embankment of cohesive soils*. Bureau of Reclamation, USDA, Denver, USA
69. Howard, A.K. (1994) – *The revised ASTM standard on the Unified Soil Classification System.* Geotehnical Testing Journal, v. 7, no. 4, pp. 216-222
70. Kezdi, A. (1974) – *Handbook of soil mechanics*. Soil physics, Akademiai Kiado, Budapest
71. Mitchell, J.K. (1993) – *Fundamentals of soil behaviour*. John Wiley, New York
72. Oblemenco, Gh., Andrei, S. (1996) – *Bănci de date geotehnice; aspecte legate de crearea şi utilizarea lor*. A 8-a Conferinţă Naţională de Geotehnică şi Fundaţii, v. 1, pp. 347-352, Iaşi
73. Orr, T., Farell, E.R. (1999) – *Geotechnical design to Eurocode 7*. Springer-Verlag, London
74. Pandian, N.S., Nagarag, T.S. (1997) – *Reexamination of compaction characteristics of fine-grained soils.* Geotechnique, v. 44, no. 2, pp. 363-366
75. Parsons, A.W. (1992) – *Compaction of soils and granular materials.* A review of research performed at the Transport Research Laboratory. Her Majesty's Stationary Office, London
76. Road Research Laboratory (1981) – *Soil Mechanics for Road Engineers*. Her Majesty's Stationary Office, London
77. Rogers, C.D.F., Dijkstra, T., Smalley, I.J. (1993) – *Key lecture: Classification of arid soils for engineering purposes: An engineering approach.* Engineering characteristics of arid soils, pp. 99-131, A.A. Balkema, Rotterdam
78. Skoglund, G.R., Marcuson, W.F. (1976) – *Evaluation of resonant column devices.* Journal Geot. Eng. Div. ASCE, vol. 132, May, GT11
79. State, I. (2000) – *Contribuţii la sistematizarea, stocarea şi reutilizarea informaţiilor geotehnice*. Teză de doctorat, Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti
80. Terracina, F. (1958) – *Variabilité des caracteristiques s'état de sols. Représentation graphique*. Revue Générale des Routes Aérodromes, no. 278
81. Van der Merwe, D.H. (1975) – *Current theory and practice for building on expansive clays.* 6th Regional Conference for Africa, v. 2, Durban
82. Winterkorn, F.H., Fang, H.Y. (1975) – *Foundation engineering handbook.* Van Nostrand Reinhold Company, New York


[top]

**ANEXA A**

## CORELAŢIILE DINTRE PARAMETRII DE PLASTICITATE AI PĂMÂNTURILOR COEZIVE DETERMINAŢI PRIN DIFERITE METODE

**A.1.** Dintre diferitele metode elaborate în decursul anilor pentru determinarea limitei superioare de plasticitate (curgere), $w_1$, cele mai frecvent folosite sunt stabilite cu ajutorul cupei Casagrande ($w_1$) sau cu conuri de diferite forme şi greutăţi.

**a.2.** în cazul aparatului cu cupă o influenţă deosebită asupra rezultatelor finale o are rigiditatea postamentului pe care cade cupa (fig. A1) şi care, conform standardului britanic (BS 1377-1990) trebuie să fie 21-25.

**a.3.** dintre aparatele cu con mai folosite, este cel indicat de standardul britanic 1377-1990 ce are conul de 80 g şi unghiul la vârf de $30^0$ (fig. A2) şi pentru care limita de curgere este definită ca umiditatea pastei ($w_L^B$) de pământ pentru care conul pătrunde sub greutatea proprie pe 20 mm.

**a.4.** în unele ţări din estul europei este folosit conul cu două bile balansoare (fig. A3) care are greutatea de 76 g; în acest caz limita de curgere este umiditatea pastei ($w_L^V$) pentru care conul pătrunde sub greutatea proprie pe 10 mm.

**A.5.** Cercetările au arătat că există o bună corelaţie între limita de curgere determinată cu cupa ($w_L$) şi cea cu con ($w_l^b$) (fig. A4) ce poate fi exprimată analitic de ecuaţia liniară:

$$w_L = 1{,}07 \cdot (w_L^B) - 4{,}3$$

sau

$(w_L^B) = 0,935 \cdot w_L + 4,02$ (A1)

$$w_L = \frac{328\ w_L^V}{329 - w_L^V} \text{ sau } w_L^V = \frac{324\ w_L}{w_L + 528} \quad \text{(A2)}$$

pentru care coeficientul de corelaţie este r = 0,87.

Pentru valori ale limitei de curgere, $w_L$ = 20-100% poate fi acceptată corelaţia liniară reprezentată de dreapta B figura A5 ce are ecuaţia:

$(w_L^V) = 0,71 \cdot w_L + 6,9 \approx 0,7 - w_L + 7$

sau

$w_L = 1,4 \cdot (w_L^V) - 10.$ (A3)

**A.6.** Cercetările au arătat că între limitele de curgere $w_L$ şi $(w_L^B)$ există corelaţia reprezentată de curba A din figura A5, care este exprimată analitic de relaţia:

**A.7.** De asemenea, s-a stabilit recent că există o corelaţie foarte strânsă (r = 0,981) între valorile indicelui de plasticitate $I_P$, când limita de curgere este stabilită cu cupa şi atunci când se foloseşte conul, $(I_P^B)$, aşa că se poate considera că practic aceşti indici sunt egali, $i_p \approx i_b$ (fig. A6).

[top]

**ANEXA B**

**1. AMPRENTA**

**1.1. Modul de construcţie al amprentei „A"**

amprenta „a" este o figură geometrică construită într-un sistem de patru axe coordonate, prin reunirea abacei de plasticitate (diagrama casagrande) reprezentată în cadranul i si a curbei de granulozitate reprezentată în cadranul iii (fig. B1).

Pe axa absciselor pozitive se prezintă limita superioară de plasticitate ($w_L$), iar pe axa ordonatelor pozitive, valorile indicelui de plasticitate ($I_P$).

În Cadranul I se reprezintă punctul ($P_1$) de coordonate ($w_L$) şi ($I_P$). În acest cadran se trasează dreptele A – ecuaţie $I_P = 0,75$ ($w_L$ - 20%) şi B – ecuaţie $w_L$ = 50%, ce dau posibilitatea stabilirii domeniilor corespunzătoare pământurilor cu granulaţie fină.

În Cadranul III granulozitatea pământului se reprezintă prin curba sa granulometrică, însă în poziţie rotită cu $90^0$ în sens contrar acelor de ceasornic. Astfel, pe axa absciselor negative ($x_d$), sunt marcate procentajele corespunzătoare diametrelor echivalente (d), iar pe axa ordonatelor, la scară logaritmică, diametrele.

Datorită impreciziilor ce apar în trasarea curbei granulometrice în porţiunile de la capete, pentru trasarea amprentei în Cadranul III se reţine numai porţiunea cuprinsă între procentajele de 10% şi 90%, limitată de punctele ($P_3$) – pentru pământuri necoezive şi ($P_{90}$) (a se vedea figura B1). În cazul argilelor şi prafurilor amprenta va fi limitată de orizontala corespunzătoare diametrului echivalent $d = 2 \cdot m$ (punctul $P_{2m}$), limita analizelor prin sedimentare în laboratoarele curente. În Cadranul II se reprezintă punctul ($P_{2m}$) având abscisa egală cu procentajul particulelor cu diametrul mai mic ca 2 m (0,002 mm) şi ordonata egală cu indicele de plasticitate ($i_p$) (fig. B1).

Cadranul II poate fi separat prin drepte de egali indici de activitate, $I_A = I_P / x_{2m}$ punctul ($P_2$) indicând direct indicele de activitate al pământului respetiv.

În Cadranul IV se reprezintă punctul ($P_4$) de abscisă ($w_L$) şi având ordonata corespunzătoare procentajului de 10% din curba granulometrică pentru pământurile necoezive sau cea corespunzătoare diametrului echivalent de 2m, pentru materialele coezive.

Prin unirea punctelor – $P_1$, $P_2$, $P_{90}$, $P_3$ sau $P_{2m}$ şi $P_4$ – se obţine o figură geometrică – amprentă – având 5 laturi, din care una, cea corespun-zătoare curbei granulometrice, este curbă. Forma şi dimensiunea amprentei „A" caracterizează natura pământului considerat.

În cazul pământurilor neplastice ($w_L = 0$ şi $I_P = 0$) punctele ($P_1$) şi ($P_2$) se confundă cu originea (O), iar punctul ($P_4$) este situat chiar pe axă, amprenta limitându-se în general doar la Cadranul III.

Pentru a facilita interpretarea amprentei, pe diagramă se trasează un cerc de referinţă, având centrul în originea axelor de coordonate şi rază egală cu 50%.

Pentru a obţine garanţia unor amprente de formă identică pentru acelaşi pământ trebuie precizat raportul dintre scara absciselor pozitive şi scările celorlalte axe.

Se recomandă alegerea raportului astfel încât la (log 10 = 1) pe axa ordonatelor negative corespunde 50% pe celelalte axe.

Se precizează că efectuarea de comparaţii şi stabilirea de analogii între alcătuirile pământurilor pe baza amprentelor este raţională numai în măsura în care pentru determinarea granulozităţii şi plasticităţii pământurilor au fost folosite metode standardizate ce conduc la rezultate identice sau foarte apropiate (vezi Anexa A).

**1.2. Exemplu de construire a amprentei „A"**

Pentru un pământ s-au determinat în laborator următoarele caracteristici:

· Din analiza granulometrică

| Diametru | 2 m | 5 m | 10 m | 20 m | 40 m |
|---|---|---|---|---|---|
| Procentaj | 30 | 43 | 55 | 71 | 90 |

· Limitele de plasticitate:

– Limita de curgere $w_L = 80\%$

– Limita de frământare $w_P = 30\%$

– Indicele de plasticitate $I_P = 50\%$

· Masa specifică $r_s$ = 2,70 g/cm$^3$, deci volumul specific $V_s = 100 / r_s = 37$ cm$^3$/100 g.

Cu aceste date s-a construit amprenta din figura B1, astfel:

– punctul $P_1$ de coordonate ($w_L$ = 80%, $I_P$ = 50%);

– în cadranul III porţiunea de curbă granulometrică mărginită de punctul $P_{90}$ corespunzător procentului de 90%, diametrului 1 mm şi punctul $P_{2m}$ corespunzător diametrului de 0,002 mm (2m);

– punctul $P_4$ situat pe dreapta orizontală corespunzătoare la 2m şi având abscisa $w_L$ = 80% ;

– prin unirea punctelor $P_1$, $P_2$, $P_{90}$, $P_{2m}$, $P_4$ şi $P_1$ a rezultat amprenta pământului considerat în cazul de mai jos, argila roşie de Constanţa;

– construirea amprentei este indicat a se face pe hârtie milimetrică pe care în prealabil se marchează axele, dreptele şi marcajele menţionate în continuare.

Pentru $w_L$, $I_P$ şi $x_d$ se adoptă de obicei scara 100% = 10 cm, iar pentru diametrul echivalent (d) se foloseşte o scară logaritmică în aşa fel încât pentru schimbarea ordinului de mărime, de pildă de la 0,1 cm la 1 cm sau de la 1 μ la 10 μ, corespund 5 cm (2,5 cm) adică 50% pe celelalte trei axe (vezi fig. B1).

Corespondenţa între număr şi logaritmul său zecimal este:

| Numărul | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Logaritmul zecimal | 0 | 0,3 | 0,47 | 0,6 | 0,7 | 0,78 | 0,84 | 0,9 | 0,95 | 1 |

Se marchează apoi, de sus în jos, pe axa ordonatelor negative valorile corespunzătoare diametrelor de 1 cm = 10 mm (în originea axelor de coordonate), 5, 2, 1 mm, 500, 200, 100, 50, 20, 10, 5 şi trasându-se eventual linii orizontale corespunzătoare limitelor de separaţie dintre fracţiunile principale. Pentru separarea fracţiunilor în majoritatea ţărilor europene se foloseşte însă scara bazată pe numerele 2 şi 6 deoarece în felul acesta domeniile subdivizibile (f – fin; m – mediu; g – grosier) sunt practic egale.

De asemenea, în cadranul I se trasează dreptele corespunzătoare ecuaţiilor:

*A* ¦ $I_P = 0{,}73(w_L - 20)$

*B* ¦ $w_L$ = 50%

ce separă domeniile CH, CL, MH, ML din clasificarea unificată (Casagrande).

Aceste simboluri au următoarea semnificaţie:

CH – argilă grasă;

CL – argilă slabă;

MH – praf argilos;

ML – praf nisipos.

În cadranul II se trasează dreptele $I_P$ = 12, 23, 32, 50%, respectiv $x_d$ = 12, 17, 26, 50%, precum şi $I_A$ = 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 ce servesc la separarea domeniilor neactiv (n), puţin activ (p.a), activ (a), foarte activ (f.a) şi extrem de activ (e.a) stabilite pe baza observaţiilor privind degradările construcţiilor.

Aria relativă a amprentei este dată de raportul:

$$A_r = \frac{\text{aria amprentei}}{\text{aria cercului de referinţă}} = \frac{A}{\overline{A}},$$

adică, pentru pământul considerat:

$$A_r = \frac{(185 + I_P)(w_L + 0{,}5\,x_{2\mu} + 45)}{7854} = \frac{(185 + 50)(80 + 0{,}5 \cdot 30 + 45)}{7854} = 4{,}189 \cdot$$

Aria relativă exactă este ceva mai mică deoarece trebuie scăzută porţiunea parabolică haşurată din figura B1,a:

$$\Delta A = \frac{2}{3} \cdot 90 \cdot 5 = 300\ mm^2,$$

aşa că diferenţa ariei relative va fi:

$$\Delta A_r = \frac{\Delta A}{7854} = 0{,}0382,$$

iar $A_r$ = 4,189 - 0,038 = 4,151, deci o diferenţă la a doua zecimală.

din abaca cu curbele de egale valori $a_r$ (fig. 6) rezultă pentru $w_L$ = 80% şi $I_P$ = 50% aria relativă aproximativă $A_r \approx 4{,}3$ deci o diferenţă de 0,15 care se datorează gradului de aproximaţie a corelaţiei dintre $I_P$ şi $x_{2m}$ (Croney).

Din cele de mai sus rezultă că argila grasă roşie de Constanţa este un pământ argilos, extrem de activ, care poate prezenta umflări şi contracţii mari pentru variaţii însemnate de umiditate. Acest fapt este confirmat şi de valoarea indicelui de activitate:

$$I_A = \frac{I_P}{x_{2\mu}} = \frac{50}{30} = 1{,}62 > 1{,}25 \cdot$$

La Catedra de Geotehnica si Fundatii de la Facultatea de Hidrotehnica a Universitatii Tehnice de Constructii din Bucuresti exista un program automat pentru trasarea amprentei A , care da direct aria relativa $A_r$.

**2. DIAGRAMA DE STARE**

**2.1. Modul de construcţie al diagramei de stare**

Diagrama de stare este un sistem de reprezentare ce are în abscisă umiditatea (w) iar în ordonată volumul specific (V), volumul corespunzător la 100 g fază solidă, sistem elaborat şi folosit la început de Haines (1923) în Ştiinţa Solului, Norton (1952) în Ceramică şi Terracina (1955) în Geotehnică.

Faţă de sistemul atât de uzitat al lui Proctor (1933) (w, $r_d$), diagrama de stare (w, V = 100 / $r_d$) prezintă o serie de avantaje datorate în principal posibilităţii de a urmări direct variaţiile de volum, respectiv modificarea stării de îndesare a unui pământ în raport cu starea de umiditate, în timpul diferitelor solicitări mecanice, termice, hidrice etc.

totodată, faptul că în diagrama de stare majoritatea indicilor curent folosiţi pentru a exprima starea de umiditate şi îndesare apar sub forma unor familii de drepte (în reprezentarea proctor familii de hiperbole echilaterale), permite reprezentarea şi citirea directă fără calcule a eventualelor modificări a acestor indici (fig. B1,b).

pentru a alege parametrii cei mai semnificativi este necesară mai întâi o analiză comparativă a reprezentării proctor şi reprezentării haines-norton-terracina, ce se deosebesc prin parametrul reprezentat în ordonată, densitatea uscată ($r_d$) în primul caz şi volumul specific aparent (v) exprimat în procente sau volumul corespunzător la 100 grame de schelet în cel de-al doilea caz (fig. B.1). Aceşti doi parametri sunt legaţi prin relaţia evidentă:

$$\rho_d = \frac{1}{V} \text{ sau } \rho_d = \frac{100}{V} \quad \text{(B.1)}$$

care devine, atunci când volumul porilor se reduce la zero:

$$\rho_s = \frac{100}{V_s} ,$$

unde $V_s$ este volumul specific al scheletului.

Relaţiile ce rezultă pentru principalii indici ce exprimă raporturile dintre faze pot fi deduse dacă se face referire la figura B1.

Pentru a stabili limita domeniului de existenţă a pământului corespunzătoare stării de saturaţie, este necesar să se exprime umiditatea de saturaţie:

$$w_{sat} = \frac{n \cdot \rho_w}{(1-n)\,\rho_s} \cdot 100 = \frac{e \cdot \rho_w}{\rho_s} \cdot 100 \quad \text{. (B.2)}$$

Dacă se ţine seama de relaţiile:

$$r_d = (1-n) \cdot r_s \quad \text{(B.3)}$$

$$\rho_d = \frac{\rho_s}{1+e} \quad \text{, (B.3')}$$

se obţin expresiile indicilor corespunzători porozităţii în reprezentarea:

Proctor

$$n = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s} \quad (\rho_s = \text{constant}) \qquad \text{(B.4)}$$

Haines-Norton-Terracina

$$n = 1 - \frac{V_s}{V} \quad (V_s = \text{constant}) \qquad \text{(B.4')}$$

adică:

liniară (între n şi $r_d$)

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 \qquad \text{(B.5)}$$

(relaţia liniară)

hiperbolică (între n şi $r_d$)

$$e = \frac{V}{V_s} - 1 \qquad \text{(B.5')}$$

(relaţia liniară)

Înlocuind aceste relaţii în expresia umidităţii de saturaţie (B.1) se obţine:

$$w_{sat} = \frac{\rho_w \cdot 100}{\rho_s}\left(\frac{\rho_s}{\rho_d} - 1\right) = \rho_w\left(\frac{100}{\rho_d} - \frac{100}{\rho_s}\right) \text{, (B.6)}$$

$w_{sat} = r_w \cdot (V - V_s)$ , (B.6')

adică:

o hiperbolă echilaterală

ce trece prin punctul:

$$\begin{cases} w = 0 \\ \rho_d = \rho_s \end{cases}$$

şi este

asimptotă la dreptele

$w_{sat} = -\rho_s \frac{100}{\rho_s}$ (când $\rho_s \to \infty$)

şi $\rho_d = 0$ (când $w_{sat} \to \infty$)

o dreaptă

ce trece prin punctele:

$$\begin{cases} w = 0 \\ V = V_s \end{cases} \quad \begin{cases} w_{sat} = -\rho_w \\ V = 0 \end{cases} \quad \frac{100}{\rho_s} = -\rho_s \cdot V_s$$

Dreapta de saturaţie poate fi trasată cu uşurinţă pentru orice domeniu.

De pildă pentru:

V = 100 $cm^3 \cdot r_w = 1$ se obţine:

$w_{sat} = V - V_s$

În aceste condiţii starea de egală saturaţie $\left(S_r = \frac{w}{w_{sat}}\right)$ poate fi exprimată prin relaţiile:

$$w = S_r \cdot w_{sat} = S_r \cdot \rho_w \left(\frac{100}{\rho_d} - \frac{100}{\rho_s}\right), \text{ (B.7)}$$

$$W = S_r \cdot r_w \cdot (V - V_s) \text{ (B.7')}$$

| o familie de hiperbole echilaterale | un fascicol de drepte |
|---|---|
| ce trece prin punctul: | |
| $\begin{cases} w = 0 \\ \rho_d = \rho_s \end{cases}$ | $\begin{cases} w = 0 \\ V = V_s \end{cases}$ |
| şi sunt asimptote la familia de drepte: | şi cu panta |
| $w = -S_r \ \rho_w \frac{100}{\rho_s} \ (\rho_d \to \infty)$ | $\frac{dV}{dw} = S_r \rho_w$ |
| şi la axa absciselor: | $\frac{dV}{dw} = S_r = 1$ pentru saturaţie |
| $r_d = 0 \ (w \to \infty)$ | completă (dreaptă la $45^0$) |

Umiditatea volumică $\theta[\%] = \frac{V_w}{V} \ 100$ adică raportul dintre volumul apei ($V_w$) şi volumul total (V), noţiune utilizată în problemele de inflitraţii, poate fi exprimată în cele două sisteme în felul următor:

$$\theta = \frac{V_w}{V} \cdot 100 = \frac{\frac{w}{\rho_w}}{\frac{100}{\rho_d}} \cdot 100 = \frac{w}{\rho_w} \rho_d \text{ ; (B.8)}$$

$$\theta = \frac{w}{\rho_w} \cdot \frac{100}{V} \text{ , (B.8')}$$

de unde rezultă că egala umiditate volumică (q = constant) corespunde la:

| | |
|---|---|
| $\rho_d = \frac{\theta}{\rho_w} \cdot \frac{1}{w}$ | $V = \frac{100}{\theta \cdot \rho_w} w$ |
| o familie de hiperbole echilaterale asimptote la axele de coordonate: | o familie de drepte ce trec prin originea axelor |
| $r_d = 0 \ (w \to \infty)$ | $\begin{cases} w = 0 \\ V = 0 \end{cases}$ |
| $w = 0 \ (r_d \to \infty)$ | şi cu panta: |
| | $\frac{dV}{dw} = \frac{100}{\theta \cdot \rho_w}$ (B.9) |

Egala masă volumică (ρ = constant) adică raportul dintre masa totală şi volum poate fi stabilită plecând de la expresia:

$$\rho = \rho_d \left(1 + \frac{w}{100}\right) \text{ (B.10)}$$

de unde:

| | |
|---|---|
| $\rho_d = \frac{\rho}{1 + \frac{w}{100}}$ (B.11) | $V = \frac{100}{\rho} \left(1 + \frac{w}{100}\right)$ (B.11') |
| adică o familie de hiperbole echilaterale asimptote la axa absciselor: | adică o familie de drepte ce trec prin punctul |
| $r_d = 0 \ (w \to \infty$ | $\begin{cases} w = -100 \\ V = 0 \end{cases}$ |
| şi la dreapta verticală: | ce întâlnesc axa ordonatelor în puncte corespunzătoare lui: |
| $w = -100 \ (r_d \to \infty)$ | $\rho_d = V = \frac{100}{\rho_d}$ (B.12) |
| | şi cu pantele invers proporţionale cu: |
| | $\frac{dV}{dw} = \frac{1}{\rho}$ (B.12') |

Faptul că în toate cazurile, cu excepţia porozităţii (n), *i*ndicilor curent folosiţi pentru a exprima starea de umiditate sau îndesare le corespund familii de drepte în reprezentarea Haines-Norton-Terracina şi familii de hiperbole echilaterale, în reprezentarea Proctor nu mai lasă nici o îndoială asupra cărei reprezentări trebuie optat.

Un avantaj esenţial al diagramei de stare îl constituie faptul că permite trasarea unor drepte de egală variaţie a volumului $\left(\delta = \frac{\Delta V}{V}\right)$ şi în felul acesta se uşurează considerabil urmărirea schimbării stării de îndesare a pământului.

Într-adevăr, pe baza schemei din figura B1 şi a observaţiei că pentru starea de saturaţie (dreapta înclinată la $45^0$) variaţiile de volum sunt egale cu variaţiile de umiditate ($DV = DV_{sat}$) volumul final (V') poate fi exprimat în funcţie de volumul iniţial (V) sub forma:

$$V' = V \pm \Delta V = V = V\left(1 \pm \frac{\Delta V}{V}\right) = V(1 \pm \delta) = V_s + w_{sat}(1 \pm \delta) \quad \text{(B.13)}$$

care reprezintă un fascicol de drepte ce trec prin punctul B ($w_{sat} = -V_s$; V = 0) şi au panta:

$$\frac{dV'}{dw_{sat}} = 1 \pm \delta \text{ , (B.13')}$$

unde semnul (+) corespunde umflărilor, iar semnul (-) tasărilor.

Pe aceste baze în diagrama de stare pot fi trasate de o parte şi de alta a dreptei de saturaţie dreptele de egale umflări (+d) sau egale contracţii (-d).

în concluzie, fiecare punct (n) din diagramă corespunde unei anumite stări de îndesare (v) şi umiditate (w) (fig. B1). Ca urmare a diferitelor solicitări mecanice, hidrice, termice, starea de umiditate şi îndesare a pământului se modifică, locul succesiv al punctului (N) descriind o traiectorie sau urmă a stării. Proiecţiile pe orizontală şi verticală a drumului stării reprezintă componentele schimbării de stare, adică tocmai modificările stării de umiditate (Dw) şi a volumului (DV).

**2.2. Exemplu de reprezentare şi interpretare în diagrama de stare a rezultatelor unei încercări edometrice duble**

Pentru argila roşie a cărei amprentă este reprezentată în figura B1,a încercarea edometrică dublă pe o mostră având densitatea scheletului mineral $r_s$ = 2,7 g/cm$^3$, umiditatea iniţială $w_0$ = 8% şi densitatea umedă r = 1,565 g/cm$^3$, adică densitatea uscată $r_d$ = 1,449 g/cm$^3$, s-au obţinut rezultatele indicate în Tabelul B1.

Masa uscată a mostrei a fost $M_d$ = 111,528 g, iar volumul iniţial $W = \frac{\pi D^2}{4} H = \frac{\pi 7^2}{4} 2 = 76,969$ aşa că rezultă următoarea corespondenţă

| Înălţimea H (cm) | Aria, A [cm$^2$] | Volumul v = A H [cm$^3$] | Masă schelet $M_d = v \cdot r_d$ | V = 100 / $r_d$ [cm$^3$/100 g] |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 38,485 | 76,969 | 111,528 | 69,00 |
| H | 38,485 | 38,485H | 111,528 | V |

Tabelul B.1

| **Starea de umiditate** | **Presiunea,P[kPa]** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **5** | **10** | **20** | **50** | **100** | **200** | **400** | **600** | **800** | **1000** |
| | **Înălţimea mostrei, H (mm)** | | | | | | | | | |
| Iniţială, w = constant = 8% | 20,00 | 19,77 | 19,42 | 18,90 | 18,55 | 18,17 | 17,97 | 17,77 | 17,56 | 17,39 |
| După inundare w [%] | 21,10 | 20,93 | 20,49 | 19,94 | 18,78 | 17,91 | 16,12 | 16,12 | 15,71 | 15,36 |
| w ]%] | 30,80 | 30,60 | 29,40 | 29,00 | 26,90 | 24,50 | 18,00 | 18,00 | 17,10 | |
| **Starea de umiditate** | **Volumul specific, V [cm$^3$/100 g]** | | | | | | | | | |
| Iniţială, w = constant = 8% | 69,00 | 68,20 | 67,00 | 65,20 | 64,00 | 62,70 | 62,00 | 62,70 | 61,30 | 60,00 |
| După inundare w [%] | 72,80 | 72,20 | 70,70 | 68,80 | 64,80 | 61,80 | 59,20 | 55,60 | 54,20 | 53,00 |

Ţinând seama de cele de mai sus rezultă volumul specific, V (cm$^3$/100 g): $V = 69 \frac{H}{2} = 34,50\, H\, cm$ sau V = 3,45 H (mm); într-adevăr pentru situaţia iniţială, când H = 20 mm, V = 3,45·20 = 69 cm$^3$/100 g.

Cu ajutorul relaţiei stabilite V = 3,45 H se stabilesc valorile V (cm$^3$/100 g) corespunzătoare lui H (mm) trecându-se rezultatele în ultimele două linii ale tabelului de mai înainte care, asociate cu valorile corespunzătoare ale umidităţilor, w (%) se reprezintă în diagrama de stare (w, V). Pentru construirea diagramei de stare se aleg scările:

w = 10% - 10 cm şi V = 10 $cm^3$/100 g – 10 cm.

Se trasează apoi dreapta de saturaţie ($S_r$ = 1) folosind relaţia:

$V = V_s + w$ ,

care are panta $\frac{\Delta V}{\Delta w} = 1$ şi care întâlneşte axa ordonatelor în punctul:

$V_s = \frac{100}{\rho_s} = \frac{100}{2,70} = 37,00$ $cm^3$/100 g.

Se ţine seama că pentru:

$w_{sat}$ = 10% V = $V_s + w_{sat}$ = 47,00 $cm^3$ / 100g;

$w_{sat}$ = 20% V = 57,00 $cm^3$ / 100g.

Prin unirea acestor puncte se obţine dreapta de saturaţie după care se pot trasa cu uşurinţă dreptele de egal grad de saturaţie ($S_r$ = 0,9; 0,8; 0,7 .....) ţinând seama de relaţia:

$w = S_r \cdot w_{sat}$ .

în continuare, în figura B1-b, pe verticala w = 8% se marchează punctele aferente valorilor $I_P$ corespunzătoare diferitelor presiuni (p) aplicate şi valorile umidităţilor (w) corespunzătoare. Prin unirea punctului $V_P$ cu punctul $V'_P$ se obţine traiectoria modificării de stare a probei prin umezire sub presiunea (p). Familia de traiectorii astfel obţinute pentru diferite presiuni (p = 5, 10, 20, 50, 100, 200, 400, 600, 800, 1000 kPa) permite prognozarea modificărilor de stare ce vor interveni prin modificări ale umidităţii (w) sau ale presiunii (p) chiar şi pentru alte condiţii decât cele pentru care s-a făcut încercarea.

De asemenea folosind spectrul traiectoriilor de stare se poate stabili presiunea de umflare care corespunde traiectoriei pentru care nu apar variaţii de volum (DV = 0); în cazul din figura B1-b această presiune este de 150 kPa şi este marcată cu linie-punct (–·–·–).

| x | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| log x | 0 | 0,17609 | 0,30103 | 0,39794 | 0,47712 | 0,60206 | 0,69897 | 0,77815 | 0,84510 | 0,90309 | 0,95424 | 1,00000 |

**CORELATIA V ($cm^3$ / 100g) = 100 / $r_d$ (Mg / $cm^3$)**

| $r_d$ | $V = \frac{100}{\rho_d}$ | $r_d$ | $V = \frac{100}{\rho_d}$ | $r_d$ | $V = \frac{100}{\rho_d}$ | $r_d$ | $V = \frac{100}{\rho_d}$ | $r_d$ | $V = \frac{100}{\rho_d}$ | $r_d$ | $V = \frac{100}{\rho_d}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,451 | 68,97 | | | | | 2,222 | 45,00 | | | 2,85 | 35,09 |
| 1,449 | 69,00 | | | | | | | | | | |
| 1,44 | 69,44 | 1,700 | 58,82 | 1,92 | 51,28 | 2,20 | 45,45 | 2,45 | 40,82 | 2,84 | 35,21 |
| | | 1,695 | 59,00 | | | | | | | | |
| 1,43 | 69,93 | 1,69 | 59,17 | 1,94 | 51,54 | 2,19 | 45,66 | 2,44 | 40,98 | 2,83 | 35,34 |
| 1,429 | 70,00 | | | | | | | 2,439 | 41,00 | | |
| 1,42 | 70,42 | 1,68 | 59,52 | 1,93 | 51,81 | 2,18 | 45,87 | 2,43 | 41,15 | 2,82 | 35,46 |
| | | | | 1,923 | 52,00 | 2,174 | 46,00 | | | | |
| 1,41 | 70,92 | 1,67 | 59,88 | 1,92 | 52,08 | 2,17 | 46,08 | 2,41 | 41,32 | 2,81 | 35,59 |
| 1,408 | 71,00 | 1,667 | 60,00 | | | | | | | | |
| 1,400 | 71,43 | 1,66 | 60,24 | 1,91 | 52,35 | 2,16 | 46,30 | 2,41 | 41,49 | 2,80 | 35,71 |
| 1,39 | 71,94 | 1,65 | 60,61 | 1,90 | 52,63 | 2,15 | 46,51 | 2,40 | 41,67 | 2,79 | 35,84 |
| 1,389 | 72,00 | | | | | | | | | | |
| 1,38 | 72,46 | 1,64 | 60,98 | 1,89 | 52,91 | 2,14 | 46,72 | 2,39 | 41,84 | 2,78 | 35,97 |
| | | 1,639 | 61,00 | 1,887 | 53,00 | | | 2,381 | 42,00 | | |
| 1,37 | 72,99 | 1,63 | 61,35 | 1,88 | 53,19 | 2,13 | 46,95 | 2,38 | 42,02 | 2,77 | 36,10 |
| | 73,00 | | | | | 2,128 | 47,00 | | | | |
| 1,36 | 73,52 | 1,62 | 61,73 | 1,87 | 53,48 | 2,12 | 47,17 | 2,37 | 42,19 | 2,76 | 36,23 |
| | 74,00 | 1,613 | 62,00 | | | | | | | | |
| 1,35 | 74,07 | 1,61 | 62,11 | 1,86 | 53,76 | 2,11 | 47,39 | 2,36 | 42,37 | 2,75 | 36,36 |
| | | | | 1,852 | 54,00 | | | | | | |
| 1,34 | 74,63 | 1,60 | 62,50 | 1,85 | 54,05 | 2,10 | 47,62 | 2,35 | 42,55 | 2,74 | 36,50 |
| 1,333 | 75,00 | | | | | | | | | | |
| 1,33 | 75,19 | 1,59 | 62,89 | 1,84 | 54,35 | 2,09 | 47,85 | 2,34 | 42,74 | 2,73 | 36,63 |
| | | 1,587 | 63,00 | | | 2,083 | 48,00 | | | | |
| 1,32 | 75,76 | 1,58 | 63,29 | 1,83 | 54,64 | 2,08 | 48,08 | 2,33 | 42,92 | 2,72 | 36,76 |
| 1,316 | 76,00 | | | | | | | 2,326 | 43,00 | | |
| 1,31 | 76,92 | 1,57 | 63,69 | 1,82 | 54,95 | 2,07 | 48,31 | 2,32 | 43,10 | 2,71 | 36,90 |
| | | 1,563 | 64,00 | 1,818 | 55,00 | | | | | | |
| 1,30 | 76,92 | 1,56 | 64,10 | 1,81 | 55,25 | 2,06 | 48,54 | 2,31 | 43,29 | 2,70 | 37,04 |
| 1,299 | 77,00 | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,29 | 77,52 | 1,55 | 64,52 | 1,80 | 55,55 | 2,05 | 48,78 | 2,30 | 43,48 | 2,69 | 37,17 |
| 1,282 | 78,00 | | | | | 2,041 | 49,00 | | | | |
| 1,28 | 78,13 | 1,54 | 64,91 | 1,79 | 55,87 | 2,04 | 49,02 | 2,29 | 43,67 | 2,68 | 37,31 |
| | | 1,538 | 65,00 | 1,786 | 56,00 | | | | | | |
| 1,27 | 78,74 | 1,53 | 65,34 | 1,78 | 56,18 | 2,03 | 49,26 | 2,28 | 43,86 | 2,67 | 37,45 |
| 1,266 | 79,00 | | | | | | | 2,273 | 44,00 | | |
| 1,26 | 79,37 | 1,52 | 65,79 | 1,77 | 56,50 | 2,02 | 49,50 | 2,27 | 44,05 | 2,66 | 37,59 |
| | | 1,515 | 66,00 | | | | | | | | |
| 1,25 | 80,00 | 1,51 | 66,23 | 1,76 | 56,82 | 2,01 | 49,75 | 2,26 | 44,25 | 2,65 | 37,74 |
| | | | | 1,754 | 57,00 | | | | | | |
| 1,24 | 80,65 | 1,50 | 66,67 | 1,75 | 57,14 | 2,00 | 50,00 | 2,25 | 44,44 | 2,64 | 37,89 |
| 1,235 | 81,00 | 1,493 | 67,00 | | | | | | | | |
| 1,23 | 81,30 | 1,49 | 67,11 | 1,74 | 57,47 | 1,99 | 50,25 | 2,24 | 44,64 | 2,63 | 38,02 |
| 1,22 | 81,97 | 1,48 | 67,57 | 1,73 | 57,80 | 1,98 | 50,51 | 2,23 | 44,84 | 2,62 | 38,17 |
| 1,220 | 82,00 | 1,471 | 68,00 | 1,724 | 58,00 | | | 2,222 | 45,00 | | |
| 1,21 | 82,64 | 1,47 | 68,02 | 1,72 | 58,14 | 1,97 | 59,76 | 2,22 | 45,04 | 2,61 | 38,31 |
| 1,205 | 83,00 | | | | | 1,961 | 51,00 | | | | |
| 1,20 | 83,33 | 1,46 | 68,49 | 1,71 | 58,48 | 1,96 | 51,02 | 2,21 | 45,25 | 2,60 | 38,46 |

[top]

**ANEXA C**

## VALORI ORIENTATIVE ALE PARAMETRILOR GEOTEHNICI

Stabilirea valorilor orientative ale parametrilor geotehnici ce exprimă comportarea pământurilor sunt acţiunea solicitărilor hidraulice sau mecanice este făcută pe baza caracterizării naturii pământurilor aşa cum este făcută de Sistemul unificat de clasificare, USCS, propus de Casagrande încă din 1948 şi ţinând seama de perfecţionările ulterioare.

În această clasificare fiecare categorie de pământ este caracterizată printr-un simbol reprezentat prin primele două litere majuscule ale cuvintelor din limba engleză care desemnează natura sa: G (gravel = pietriş), S (sand = nisip), M (mö = praf), C (clay = argilă), O (organic), Pt (peat = turbă), W (well graded = neuniform sau continuu), P (poor graded = uniform sau discontinuu), H (high = ridicat, mare), L (lean = sărac, coborât) (vezi Tabelul C1). În acelaşi tabel pe lângă criteriile de separare a diverselor categorii de pământuri şi denumirea lor în limba română mai sunt date indicaţii privind comportarea pământurilor atunci când sunt compactate în condiţii optime (Proctor normal, $r_{dmax} = 100 / V_{min}$ ), compresiunea sau umflarea, drenarea şi permeabilitatea, comportarea materialului pentru rambleu sau ca teren de fundare, strat de bază sau de formă sau ca drum temporar atunci când este tratat, precum şi valoarea aproximativă a ariei relative a amprentei, $A_r$.

Atunci când pământurile sunt alcătuite din amestecuri din două din clasele arătate în Tabelul C1 se foloseşte un simbol alcătuit din reunirea a patru litere majuscule aşa cum se poate constata în Tabelul 1.

Indicaţii privind starea optimă de compactare ($w_{opt}$ , $V_{min}$) menţionată în Tabelul C1 pot fi găsite în diagrama de stare (w, V) din figura C1 unde deasupra punctului corespunzător este indicat simbolul pământului iar dedesubt aria relativă a amprentei, $A_r$.

Tabelul C1

| **Clase principale** | | **Simbol** | **Criterii de laborator** | | **Denumirea pământului** | **$A_r$** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **< 0,074 mm** | **Cerinţe suplimentare** | | |
| PĂMÂNT cu granulaţie mare (peste 50% rămâne pe sita No 200 (> 0,074 mm) | PIETRIS (peste ½ din fracşiunea mare rămâne pe sita No 4 (> 4,76 mm) | GW | 0 - 5[1)] | $\frac{d_{60}}{d_{10}} > 4, \frac{d_{30}^2}{d_{60} \cdot d_{10}} = 1...3$ | Pietrişuri neuniforme, pietrişuri nisipoase | 0,1 |
| | | GP | 0 - 5[1)] | Nu corespund cerinţelor granulometrice de mai sus | Pietrişuri uniforme sau cu granulaţie discontinuă, pietrişuri nisipoase | 0,2 |
| | | GM | ≥ 12 | $I_P$ < 4 sau sub linia A | Pietrişuri prăfoase, pietrişuri cu nisip şi praf | 1,5 |
| | | GC | ≥ 12 | $I_P$ < 7 şi deasupra liniei A | Pietrişuri argiloase, pietrişuri cu argilă şi nisip | |
| | NISIP (peste ½ din fractiunea mare trece prin sita No 4 (> 4,76 mm) | SW | 0 - 5[1)] | $\frac{d_{60}}{d_{10}} > 4, \frac{d_{30}^2}{d_{60} \cdot d_{10}} = 1...3$ | Nisipuri neuniforme, nisipuri cu pietriş | 1,4 |
| PĂMÂNT cu granulaţie mare (peste 50% rămâne pe sita No 200 (> 0,074 mm) | NISIP (peste ½ din fractiunea mare trece prin sita No 4 (> 4,76 mm) | SP | 0 - 5[1)] | Nu corespund cerinţelor granulometrice de mai sus | Nisipuri uniforme sau cu granulaţie discontinuă, nisipuri cu pietriş | 0,7 |
| | | SM | ≥ 12 | $I_P$ < 4 sau sub linia A | Nisipuri prăfoase, nisipuri cu praf şi pietriş | 1,7 |
| | | SC | ≥ 12 | $I_P$ < 7 sau sub linia A | Nisipuri argiloase, nisipuri cu argilă şi pietriş | 1,8 |
| PĂMÂNT cu granulaţie fină (peste 50% trece prin sita No | Compresibilitate | ML | Domeniu din diagrama de plasticitate | | Prafuri, nisipuri foarte fine, nisipuri cu argilă şi pietriş | 1,9 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 200) (> 0,074 mm) | redusă:$w_L$ < 50% | CL | Domeniu din diagrama de plasticitate | Argile cu plasticitate redusă, argile prăfoase sau nisipoase | 2,2 |
| | | OL | Domeniu din diagrama de plasticitate, plus sau minus culoare organiă | Prafuri organice şi argile cu plasticitate redusă | 2,3 |
| | Compresibilitate mare:$w_L$ < 50% | MH | Domeniu din diagrama de plasticitate | Prafuri micacee, prafuri diatomitice, cenuşi vulcanice | 3,2 |
| PĂMÂNT cu granulaţie fină (peste 50% trece prin sita No 200) (< 0,074 mm) | Compresibilitate mare: $w_L$ > 50% | CH | Domeniu din diagrama de plasticitate | Argile foarte plastice şi argile nisipoase | 3,4 |
| | | OH | Domeniu din diagrama de plasticitate, plus sau minus culoare organică | Prafuri organice şi argile cu plasticitate ridicată | 3,5 |
| Pământuri cu materie organică fibroasă | | Pt | Materie organică fibroasă; va arde sau în curs de carbonizare | Turbă, turbă nisipoasă sau argiloasă | |

[1)] Pentru pământurile cu fracţiunea < 0,074 cuprinsă între 5 şi 12 se foloseşte simbolul dublu GW-GC sau SW-SC.

Tabelul C2

| Simbol | Compactibilitate: utilaje convenabile | $r_d$ (t / $m^3$) Proctor normal V ($cm^3$ / 100g) | Compresibilitate si expansiune (umflare) | Drenare si permeabilitate | Comportare ca material | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Material pentru rambleu | Fundatia naturala a drumului | Strat de baza, forma | Drum temporar | |
| | | | | | | | | Tratat impotriva prafului | Cu tratament bituminos |
| GW | Bună: tractor cu şenile, compactor pe pneuri, cilindru lis sau vibrato | 2,0 ÷ 2,16<br>50 ÷ 60 | Neglijabila | Buna, permeabil | Foarte stabil | Excelent | Bun | Mediu la slab | xcelent |
| GP | Bună: tractor cu şenile, compactor pe pneuri, cilindru lis sau vibrator | 1,84 ÷ 2,00<br>54 ÷ 50 | Neglijabila | Buna, permeabil | Destul de stabil | Excelent la bun | Slab la mediu | Slab | Mediu |
| GM | Bună: compactor pe pneuri sau rulou uşor cu came (picior de oaie) | 1,92 ÷ 2,16<br>52 ÷46 | Mica | Slaba, semipermeabil | Destul de stabil | Excelent la bun | Mediu la slab | Slab | Slab la mediu |
| GC | Bună la medie: compactor pe pneuri sau cu came (picior de oaie) | 1,84 ÷ 2,08<br>54 ÷ 48 | Mica | Buna, permeabil | Destul de stabil | Bun | Bun la mediu | Excelent | Excelent |
| SW | Bună: tractor cu şenile, compactor pe pneuri sau rulou vibrator | 1,76 ÷ 2,08<br>57 ÷ 48 | Neglijabila | Buna, permeabil | Foarte stabil | Bun | Mediu la slab | Mediu la slab | Bun |
| SP | Bună: tractor cu şenile, compactor pe pneuri sau cilindru vibrator | 1,60 ÷ 1,92<br>63 ÷ 52 | Neglijabila | Buna, permeabil | Destul de stabil daca este indesta | Bun la mediu | Slab | Slab | Slab la mediu |
| SM | Buna: compactor pe pneuri sau rulou cu came (picior de oaie) | 1,76 ÷ 2,00<br>57 ÷ 50 | Mica | Slaba, impermeabil | Destul de stabil daca este indesat | Bun la mediu | Slab | Slab | Slab la mediu |
| SC | Buna la medie: compactor cu pneuri sau rulou cu came | 1,68 ÷ 2,00<br>60 ÷ 50 | Mica la medie | Slaba, impermeabil | Destul de stabil | Bun la mediu | Mediu la slab | Excelent | Excelent |
| ML | Buna la medie: compactor cu pneuri sau rulou cu came | 1,52 ÷ 1,91<br>66 ÷52 | Mica la medie | Slaba, impermeabil | Slabă stabilitate, necesar îndesare mare | Mediu la slab | Nefolosibil | Slab | Slab |
| GL | Buna la medie: compactor cu pneuri sau rulou cu came | 1,52 ÷ 1,92<br>66 ÷ 52 | Medie | Nedrenabil, impermeabil | Stabilitate bună | Mediu la slab | Nefolosibil | Slab | Slab |
| OL | Medie la slaba: rulou cu came sau compactor cu pneuri | 1,28 ÷ 1,60<br>78 ÷ 63 | Medie la mare | Slaba, impermeabil | Instabil, de nefolosit | Slab | Nefolosibil | Neconvenabil | Neconvenabil |
| MH | Medie la slaba: rulou cu came sau compactor cu pneuri | 1,12 ÷ 1,52<br>89 ÷ 66 | Medie la mare | Nedrenabil, impermeabil | Slabă stabilitate, de nefolosit | Slab | Nefolosibil | Foarte slab | Foarte slab |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CH | Medie la slaba: rulou cu came | 1,28 ÷ 1,68<br>78 ÷ 60 | Foarte mare | Nedrenabil, impermeabil | Stabilitate medie, se înmoaie prin umflare | Slab la foarte slab | Nefolosibil | Foarte slab | Neconvenabil |
| OM | Medie la slaba: rulou cu came | 1,04 ÷ 1,60<br>96 ÷ 63 | Mare | Nedrenabil, impermeabil | Instabil, de nefolosit | Foarte slab | Nefolosibil | Neconvenabil | Neconvenabil |
| Pt | Slabă, ineficace | - | Foarte mare | Medie la slabă drenare | Nu trebuie folosit | Nu trebuie folosit | Nefolosibil | Neconvenabil | Neconvenabil |

[top]

**ANEXA D**

## AVANTAJELE FOLOSIRII AMPRENTELOR SI A DIAGRAMELOR DE STARE

**D.1. Utilitatea folosirii amprentelor**

Folosirea amprentelor prezintă următoarele avantaje în raport cu sistemele clasice de caracterizare a pământurilor:

-reuneşte într-o singură imagine expresivă principalele informaţii privind alcătuirea pământurilor (distribuţia pe dimensiuni a particulelor şi a golurilor dintre ele, plasticitatea şi activitatea pământurilor, compoziţia chimică sau mineralogică);

-nu face apel la criterii arbitrare de clasificare dar permite, prin suprapunerea peste diagrame pe care sunt reprezentate domeniile corespunzătoare diferitelor clase din fiecare sistem de clasificare (ex.: STAS 1242-65; SNiP II-15-74; Sistemul Unificat ASTM, AASHO, FFA etc.) să se cunoască care este clasa în care se încadrează pământul considerat;

-permite estimarea pericolului manifestării unor fenomene nefavorabile (îngheţ, lichefiere) sau a aplicabilităţii diferitelor procedee de îmbunătăţire sau de desecare a pământului considerat;

-permite identificarea rapidă a pământului studiat şi stabilirea de asemănări cu alte pământuri studiate anterior şi a căror comportare este mai bine cunoscută; în acest scop este definită aria relativă $A_r$ a amprentei şi diametrul $d_{90}$ (care corespunde procentajului de 90%) care constituie coordonatele diagramei naturii (log $d_{90}$, $A_r$ ) şi se calculează coeficientul de analogie, $A_n$, a două pământuri i şi j cu relaţia $A_n = \frac{A_{ri} + A_{rj}}{2D_{ij}}$, unde $D_{ij}$ este distanţa dintre punctele i şi j, sau a unor pământuri grupate (i la n) în jurul unui centru de greutate (O); în felul acesta este facilitată acţiunea de cunoaştere aprofundată a tipurilor de pământuri caracteristice unui anume teritoriu, raionarea geotehnică, stabilirea de corelaţii şi prognozarea comportării noilor pământuri întâlnite (vezi Tabelul 1 în care sunt date caracteristicile geotehnice a principalelor categorii de pământuri din Clasificarea Unificată din SUA şi Anexa C);

-facilitează reprezentarea şi studierea sistemelor mixte alcătuite din pământ şi alte materiale poroase negranulare (ex.: geotextile);

-permite reprezentarea în diagrama de alcătuire a unor corelaţii ce leagă parametrii cuprinşi în axe cu alţi parametrii utili (ex.: corelaţiile pentru argilele senzitive, corelaţia dintre diametrul efectiv şi permeabilitate ş.a.).

**D.2. Utilitatea folosirii diagramelor de stare**

Folosirea diagramelor de stare (w, V) prezintă următoarele avantaje în raport cu alte sisteme de reprezentare a stării, de pildă sistemul Proctor (w, $r_d$ ), diagrama ternară Kézdi (v, s, l):

-permite urmărirea simultană a modificării stării de umiditate şi îndesare (volumul V) şi ca atare sunt convenabile pentru studierea pământurilor în stare nesaturată când nu mai există o corespondenţă biunivocă între umiditate (w) şi îndesare (V sau $r_d$ );

-majoritatea curbelor de egal indice (grad de umiditate $S_r$, indicele golurilor e, masa volumică $r$, umiditatea volumică $q$, egală variaţie de volum $DV$ / V) devin linii drepte şi ca atare se facilitează reprezentarea numai a domeniului care interesează;

-permite reprezentarea curbelor de contracţie-umflare (w, V) şi stabilirea coeficientului de compresiune $a$ care indică măsura în care presiunea exterioară este preluată de apa din pori;

-permit reprezentarea domeniilor de existenţă specifice diferitelor pământuri în stare naturală ca şi a modificărilor de stare datorate solicitărilor mecanice sau hidraulice; de pildă reprezentarea în diagrama de stare a unor încercări edometrice duble sau triple, permite trasarea unor curbe de echilibru al stării pentru diferite presiuni normale (w, V, p = constant) şi pe această bază prognozarea, prin interpolare, a modificărilor de stare aferente altor condiţii decât cele încercate;

-facilitează reprezentarea sugestivă a semnificaţiei diferiţilor indici sau criterii geotehnice, utilizaţi pentru sesizarea unor comportări specifice (ex.: pământuri sensibile la umezire sau pământuri capabile de umflări şi contracţii mari ş.a.);

-permit reprezentarea curbelor de egali parametri hidraulici (sucţiune, h, hidroconductivitate, $k_w$ ), termici (conductivitate, $l$) sau mecanici (rezistenţă la întindere, $s_t$, sau compresiune, $s_c$, modulul de deformaţie edometric, M, coeziune, c şi frecare internă $F$, indicele portant californian CBR ş.a.) punându-se astfel în evidenţă ponderea pe care o au modificările stării de umiditate ($Dw$) sau de îndesare ($DV$) asupra acestor parametri;

-permit reprezentarea curbelor de echilibru a stării pentru diferite presiuni normale (w, V, p = constant) în timpul forfecării şi pe această bază modificărilor de volum (dilatanţă sau contractanţă) aferente procesului;

-facilitează reprezentarea rezultatelor încercărilor de compactare în laborator sau pe teren, folosind diferite utilaje sau energii de compactare, aflarea condiţiilor de îndesare optimă ca şi stabilirea anumitor corelaţii între parametrii ce condiţionează procesul;

-demostrează că este eronată părerea, din păcate destul de răspândită, că valoarea parametrilor geotehnici depinde numai de natura pământurilor neglijându-se astfel influenţa stării de umiditate şi îndesare.

**D.3. Folosirea conjugată a amprentelor şi a diagramelor de stare**

Folosirea conjugată a amprentelor şi a diagramelor de stare oferă posibilitatea de a ţine seama de principalii factori care determină comportarea pământurilor. Astfel amprenta oferă o imagine de ansamblu atât asupra plasticităţii (cadranul I) cât şi asupra granulozităţii (cadranul III), precum şi asupra activităţii (cadranul II) şi a sensitivităţii (cadranul IV).

Diagrama de stare (w, V = 100 g / $r_d$ ) în care majoritatea indicilor fizici prezintă o variaţie liniară, spre deosebire de diagrama Proctor (w, $r_d$ = 100 / *V*) unde curbele de egali indici (e, $r$, $S_r$, $q$) sunt familii de hiperbole echilaterale, este mai uşor de reprezentat şi are avantajul că permite urmărirea variaţiilor de volum ($DV$) şi deci a tasărilor-umflărilor

pământului.

Sistematizarea şi sintetizarea informaţiilor geotehnice cu ajutorul amprentelor şi implicit a ariei relative, $A_r$ şi a diametrului, $d_{90}$ , care reprezintă coordonatele diagramei naturii (log $d_{90}$; $A_r$ ) permite stabilirea de analogii ($A_n$) între naturile pământurilor, ceea ce constituie prima condiţie a unei comportări similare.

Cea de a doua condiţie necesară pentru o comportare analogă este apropierea cât mai mare a stării de umiditate şi îndesare care poate fi evaluată cu ajutorul coeficientului de analogie, $A_{ns}$.

Folosirea metodei de sistematizare bazată pe amprente şi diagrame de stare facilitează constituirea unor bănci de date geotehnice.

[top]