

ANALIZA PARAMETRICĂ REOLOGICĂ A PROCESULUI DE COMPACTARE DINAMICĂ A PĂMÂNTURILOR ÎN REGIM CONTROLAT DE VIBRAȚII FORȚATE

Cornelia-Florentina DOBRESCU¹

¹Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Construcții, Urbanism și Dezvoltare Teritorială Durabilă – INCĐ ”URBAN-INCERC”

1. INTRODUCERE

În lucrare se prezintă rezultate elocvente ale cercetărilor efectuate pentru evidențierea capabilității și perfecționării soluțiilor tehnico-economice eficiente referitoare la stabilizarea pământurilor cu diferite materiale naturale durabile. În esență, se abordează domeniul cercetării mecanismului de modificare a caracteristicilor geotehnice ale pământurilor prin procedee mecanice și chimice, precum și dezvoltarea continuă a tehnologiilor de compactare prin vibrare au condus la reduceri importante ale investițiilor, concomitent la creșterea siguranței în exploatarea lucrărilor.

Modele reologice compuse capabile să descrie comportarea dinamică a pământurilor stabilizate au fost concepute de mai mulți cercetători și companii de echipamente. Astfel, modele vâscoelastioplastice, în funcție de teren au evidențiat o bună concordanță dintre experiment și ipotezele teoretice. Dintre acestea menționăm următoarele modele compuse: Bathlet, Ephremides, Dvorak-Peter, Hartmann, Voigt-Kelvin, Maxwell.

Regimul dinamic generat de ruloul vibrator compactor se caracterizează prin forța perturbatoare inerțială rotitoare $F(t) = m_0 r \omega^2 \sin \omega t$, amplitudine X_0 a vibrației ruloului $x(t) = X_0 \sin(\omega t - \varphi)$, pulsația vibrației $\omega = 2\pi f$, unde $m_0 r$ este momentul static al masei excentrice a vibratorului, f – frecvența vibrațiilor, φ – defazajul unghiurilor dintre forța $F(t)$ și deplasarea vibrației $x(t)$.

Compactarea este un proces fizico-mecanic, prin care, sub acțiunea unui lucru mecanic exterior, se realizează o redistribuire a particulelor solide prin eliminarea parțială a aerului și apei din pori. Într-un strat de pământ nesaturat supus compactării, îndesarea se face pe seama reducerii volumului porilor neocupați de apă. La pământurile saturate sau aproape de limita de saturație, compactarea nu este posibilă decât dacă se asigură eliminarea apei din porii pământului. În acest fel se explică faptul că stratele naturale de pământuri argiloase, care sunt de regulă saturate sau aproape saturate, se compactează foarte greu sau nu pot fi compactate. La executarea lucrărilor de compactare a pământului se urmărește reducerea volumului porilor care conduce la creșterea capacității portante a acestuia și la reducerea parțială a tasărilor.

2. MODELUL DINAMIC RULOUI VIBRATOR-PĂMÂNT

În figura 1 se prezintă schema dinamică alcătuită din corpul de masă m cu deplasări instantanee $x = x(t)$ numai pe verticală, componenta vâscoelastică a pământului cu constantele c și k (model Voigt-Kelvin) și sistemul de vibrare dat de rotația masei excentrice m_0 situată la distanța r de centrul de rotație. S-au utilizat următoarele notații: ω este pulsația mișcării vibratorii; c - constanta vâscoasă, în $N \cdot s / m$; k - rigiditatea pământului la o singură trecere cu ruloul vibrator, în N / m ; $Q(t) = Q_0 \sin(\omega t - \theta)$ este forța dinamică transmisă terenului fiind un indicator al eficienței de compactare.

Amplitudinea X_0 a deplasării $x(t)$ este de forma:

$$X_0(\omega, k) = \frac{m_0 r \omega^2}{\sqrt{(k - m \omega^2)^2 + c^2 \omega^2}} \quad (1)$$

Forța dinamică transmisă este dată de relația:

$$Q_0(\omega, k) = m_0 r \omega^2 \sqrt{\frac{k^2 + c^2 \omega^2}{(k - m \omega^2)^2 + c^2 \omega^2}} \quad (2)$$

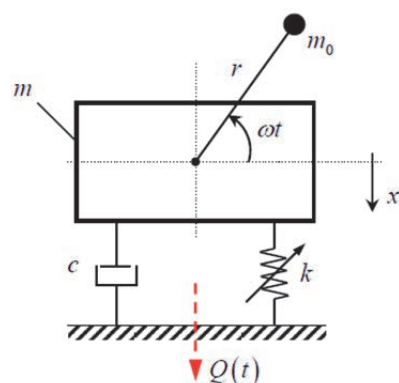


Fig. 1. Model dinamic.

În figura 2 se prezintă familie de curbe ale amplitudinii $X_0(\omega, k)$ în funcție de variația curentă a lui ω și variația discretă a rigidității k . În acest mod se ilustrează faptul că după fiecare trecere cu ruloul vibrator stratul de pământ își mărește rigiditatea. Astfel, punctele de rezonanță se deplasează la valori mai ridicate ale pulsației cu vârfuri de rezonanță semnificativ mai mari.

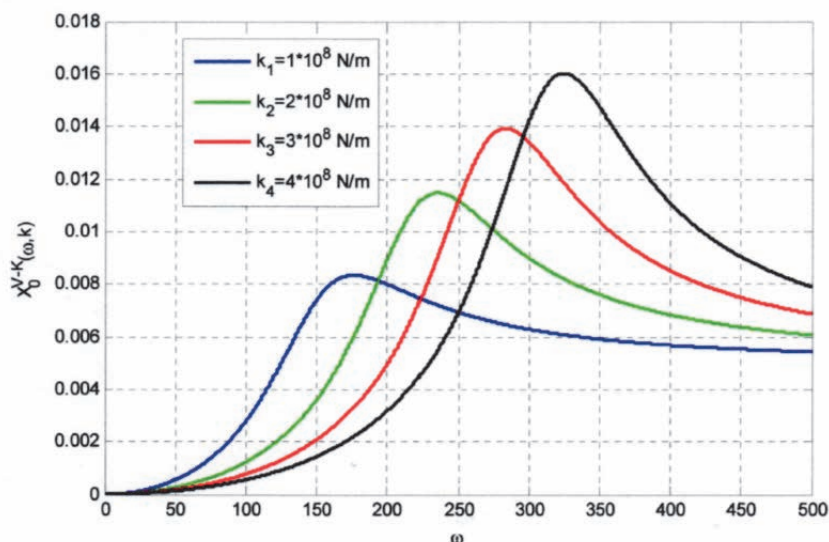


Fig. 2. Variația amplitudinii cu ω și k .

În figura 3 se prezintă familie de curbe ale forței maxime transmise în raport cu ω și k .

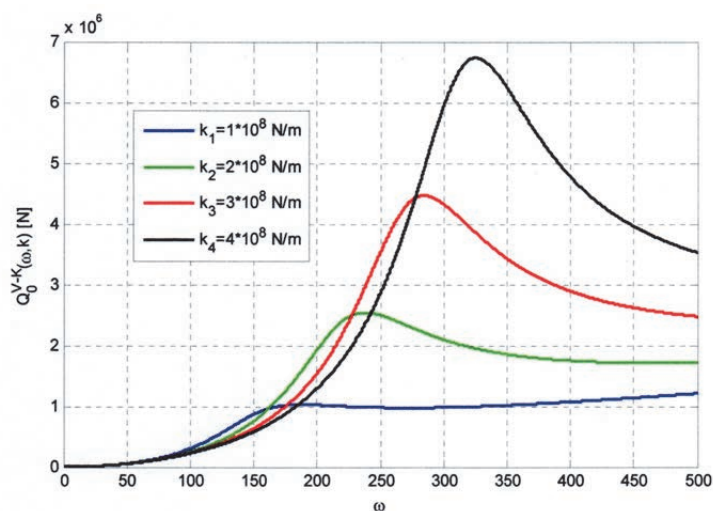


Fig. 3. Variația forței maxime transmise în funcție de ω și k .

Necesitatea compactării pământurilor din terenul de fundare al lucrărilor de construcții a apărut datorită posibilității de obținere, prin procesul de compactare, a unor caracteristici fizico-mecanice superioare, care conduce la creșterea capacității portante, a valorilor greutății volumice și a caracteristicilor mecanice (rezistență și deformabilitate) ale pământurilor.

3. ÎNCERCĂRI DE LABORATOR

Comportarea reologică a pământurilor stabilizate bioactiv în procesul de compactare prin vibrare pentru structuri rutiere s-a stabilit printr-un program experimental bazat pe determinări de laborator privind determinarea caracteristicilor fizico-mecanice pe probe de pământ în stare naturală și stabilizate cu produse bioactive. Utilitatea obținerii unei stabilizări eficiente prin efectuarea de încercări de laborator este relevantă de faptul că acestea contribuie la evaluarea eficienței stabilizării terenului in situ și la obținerea de noi informații privind alegerea cantităților optime de stabilizator, precum și a rețetei optime în funcție de tipul de pamant natural.

În prezentul articol vor fi prezentate rezultatele încercărilor de laborator efectuate pentru determinarea rezistenței la compresiune prin încercarea la compresiune monoaxială, pe probe de pământ natural și stabilizat, netratate și tratate termic. Probele de pământ natural supuse încercărilor au fost preparate în laborator prin compactarea pământului la umiditatea optimă, iar probele de pamant stabilizat au fost prelevate din teren compactat prin vibrare în cadrul unor poligoane experimentale.

3.1. Condiționarea probelor

Epruvetele de pământ stabilizat netratate termic, prelevate din ștuțurile recoltate din amplasament, au fost menținute în condiții normale de laborator la temperatura de $+20^{\circ}\text{C}$ până la vârsta de 7 zile, fiind ulterior supuse încercării la compresiune monoaxială. Epruvetele de pământ stabilizat tratate termic s-au prelevat din probe compactate la umiditatea optimă, fiind păstrate 48-72 ore în condiții normale de laborator la temperatura de $+20^{\circ}\text{C}$ înainte de a fi expuse la ciclurile de îngheț-dezgeț. Durata minimă a ciclurilor de îngheț și dezgeț la care au fost supuse probele analizate a fost stabilită la 24 ore, respectiv durata maximă de 96 ore la temperatura de -10°C în frigider de laborator Liebherr. După fiecare ciclu de îngheț și dezgeț, s-au realizat măsurători privind variația parametrilor specifici probelor (masa, volum, densitate), cu scopul estimării modului în care ciclurile alternative de îngheț-dezgeț influențează comportarea pământurilor stabilizate, în special a parametrilor de rezistență.

3.2. Probe de compresiune monoaxială

Metoda utilizată a constat în aplicarea, asupra epruvetei de pământ, a unei încărcări axiale maraton crescătoare, pentru a stabili rezistența la compresiune monoaxială și deformația axială specifică. Viteza de deformare impusă a fost de 0,02 mm/min. Se precizează faptul că la determinarea rezistenței de compresiune monoaxială se utilizează epruvete cilindrice cu păstrarea raportului h/d egal de aproximativ 2 între înălțime(h) și diametru (d). Luând în considerare faptul că epruvetele cilindrice prelevate nu au avut dimensiunile prevăzute, s-au aplicat factori de corecție standard a rezistenței, conform specificațiilor din BS 1881, Part 120 .

Valorile rezistenței specifice la compresiune monoaxială obținute pentru probele de pământ netratate termic (tabelul 1) și supuse ciclurilor de îngheț-dezgeț (tabelul 2) au fost corectate cu factorii corespunzători raportului h/d . De asemenea, reprezentarea grafică din figura 4, pune în evidență o creștere considerabilă a rezistenței la compresiune obținută pe probe de pământ stabilizate bioactiv și tratate termic, comparativ cu cea obținută pe probe de pământ stabilizate și netratate termic.

În figura 4 este dată reprezentarea comparativă a rezistenței la compresiune monoaxială.

ANALIZA PARAMETRICĂ REOLOGICĂ A PROCESULUI DE COMPACTARE DINAMICĂ

Tabelul 1. Rezistențe la compresiune monoaxială (pământ stabilizat netratat termic)

Cod probă	Rezistența specifică la compresiune monoaxială necorectată	Raport h/d	Factor de corecție (BS 1881, Part 120)	Rezistența la compresiune monoaxială corectată
	(σ , kPa)			(σ , kPa)
<i>Pământ stabilizat netratat termic</i>				
LOT1-SB-P1	351	1,36	0,89	312
LOT1-SB-P2	302	1,36	0,89	269
LOT1-SB-P3	331	1,36	0,89	295
<i>Media rezistenței la compresiune monoaxială necorectată = (330 kPa) Media rezistenței la compresiune monoaxială corectată = (294 kPa)</i>				
LOT1-S2-P1	290	0,90	1,41	261
LOT1-S2-P2	255	0,89	1,34	227
LOT1-S2-P3	282	0,89	1,33	250
<i>Media rezistenței specifice la compresiune monoaxială necorectată = 0,277 N/mm² (277 kPa) Media rezistenței specifice la compresiune monoaxială corectată = 0,247 N/mm² (247 kPa)</i>				
LOT2-SB-P1	399	0,89	1,34	355
LOT2-SB-P2	419	0,88	1,27	367
LOT2-SB-P3	394	0,89	1,32	350
<i>Media rezistenței specifice la compresiune monoaxială necorectată = (407 kPa) Media rezistenței specifice la compresiune monoaxială corectată = (360 kPa)</i>				
LOT2-PN	176	0,97	1,76	170
LOTA-SB-P1	411	0,86	1,20	353
LOTB-SB-P2	403	0,84	1,16	338

Tabelul 2. Rezistențe la compresiune monoaxială (pământ stabilizat supus ciclurilor de îngheț-dezgeț)

Cod probă	Rezistența specifică la compresiune monoaxială necorectată	Raport h/d	Factor de corecție (BS 1881, Part 120)	Rezistența specifică la compresiune monoaxială corectată
	(σ , kPa)			(σ , kPa)
<i>Pământ stabilizat supus ciclurilor de îngheț-dezgeț</i>				
LOT1-SB-P1-FT	635	0,87	1,26	552
LOT1-SB-P2-FT	606	0,86	1,20	521
LOT1-SB-P3-FT	617	0,85	1,18	524
<i>Media rezistenței specifice la compresiune monoaxială necorectată = (617 kPa) Media rezistenței specifice la compresiune monoaxială corectată = (531 kPa)</i>				
LOT1-S2-P1-FT	565	0,90	1,40	508
LOT1-S2-P2-FT	579	0,88	1,30	509
LOT1-S2-P3-FT	536	0,86	1,22	461
<i>Media rezistenței specifice la compresiune monoaxială necorectată = (555 kPa) Media rezistenței specifice la compresiune monoaxială corectată = (488 kPa)</i>				
LOT2-SB-P1-FT	819	0,88	1,30	720
LOT2-SB-P2-FT	773	0,88	1,28	676
LOT2-SB-P3-FT	795	0,87	1,24	692
<i>Media rezistenței specifice la compresiune monoaxială necorectată = (785 kPa) Media rezistenței specifice la compresiune monoaxială corectată = (688 kPa)</i>				
LOT2-PN-FT	149	0,87	1,25	129
LOTA-SB-P1-FT	1616	0,87	1,26	1406
LOTB-SB-P2-FT	1443	0,87	1,24	1248

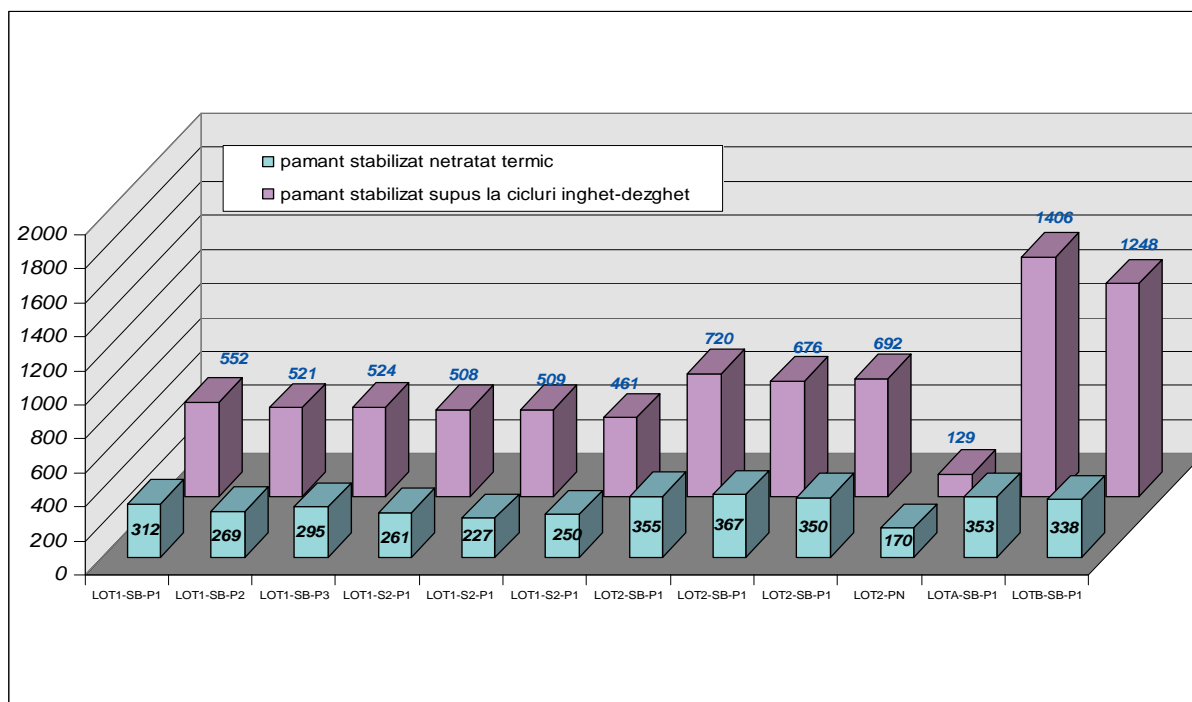


Fig. 4. Rezistența la compresiune monoaxială, în kPa. Probe naturale și stabilizate

4. CONCLUZII

a) Valorile caracteristicilor de rezistență obținute pentru probele netratate termic cât și pentru probele supuse la cicluri de îngheț-dezghet, evidențiază o creștere a rezistenței la compresiune prin îngheț-dezghet (cu excepția probelor de pământ natural, unde se observă o scădere a rezistenței).

b) Prin raportarea la epruvetele de pământ stabilizat expuse ciclurilor de îngheț-dezghet, se observă o tendință pronunțată de creștere semnificativă și uniformă de 43-55% a caracteristicilor de rezistență pentru probele recoltate din lotul 1 și lotul 2, respectiv de 72-75% pentru cele corespunzătoare lotului A/B. Excepție face proba de pământ natural, care manifestă o sensibilitate la îngheț-dezghet prin scăderea rezistenței cu aproximativ 32%.

c) Pământurile stabilizate cu produse bioactive supuse ciclurilor succesive de îngheț-dezghet prezintă o stabilitate ridicată, care se datorează agentului bioactiv de stabilizare, care umple porii pământului cu o masă care gelifică și se întărește în timp, obținându-se astfel creșterea rezistențelor și impermeabilizarea masivului de pământ tratat.

d) Regimul de vibrații trebuie reglat astfel încât forța maximă transmisă și amplitudinea vibrațiilor să fie în regim de postrezonanță cu stabilitate parametrică asigurată.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Harichane K. et. al. *Use of Natural Pozzolana and Lime for Stabilization of Cohesive Soils*, Geotechnical and Geological Engineering Journal, Vol. 29, nr. 5, pp. 759-769 (2011).
- [2] Isaac K.P., Veeraragavan B. *Soil Stabilization Using Bio-Enzyme for Rural Roads*. Presented at the IRC Seminar "Integrated Development of Rural Arterial Road Networks for Socio-Economic Development", New Delhi 5-6 December 2003.
- [3] Johnes D. *Development of Performance-Based Tests for Non-Traditional Road Additives*. Transport Research Record 1989. Low Volume Roads, National Research Council, Washington D. C., p. 142, 2007.
- [4] Manoliu I. *Fundații și procedee de fundare*. Editura Didactica și Pedagogica, București (1977).
- [5] Paunescu M. *Îmbunătățirea terenurilor slabe în vederea fundării directe*. Editura Tehnica (1980).
- [6] Raduinea N., Paun Ec., *Folosirea pământului stabilizat pentru îmbunătățirea terenurilor slabe de fundare*. Referat INCERC (1986).

**RHEOLOGICAL PARAMETERIZED ANALYSIS OF DYNAMIC SOILS
COMPACTION PROCESS UNDER CONTROLLED FORCED
VIBRATIONS REGIME**

Cornelia-Florentina DOBRESCU¹

¹INCERC Bucharest

Abstract: The paper presents results of research conducted both in the laboratory and on site "in situ", to highlight the conditions for achieving the performance and efficiency of dynamic compaction. For each layer of natural soil or with added natural or mineral aggregate rheological characterization and efficiency in dynamic regime compaction will be done after a number of passes with the compactor vibrator. Finally, results obtained on composite rheological models will be presented, which can describe as objectively as possible forced vibration compaction process.