



## **UN PROCEDEU DE VERIFICARE A COMPACTĂRII TERASAMENTELOR PRIN FOLOSIREA CILINDRULUI COMPACTOR VIBRATOR**

Andrei POGANY, Sorin ZDRENGHIA

### **EIN VERFAHREN FÜR ÜBERPRÜFEN DER BODENVERDICHUNG DURCH DIE VERWENDUNG DER VIBRATIONSWALZE**

Die vorliegende Arbeit behandelt ein neues Meßprinzip der Bodenverdichtung. Aus dem Bewegungsverhalten einer zur Verdichtung des Bodens eingesetzten Vibrationswalze auf die Eigenschaften des Bodens zurückzuschließen, erfüllt die Anforderungen des Meßverfahrens. Dieses Verfahren der Verdichtungskontrolle bietet gegenüber der bisherigen Prüftechnik den wesentlichen Vorteil, die Bodeneigenschaften arbeitsintegriert flächendekend messen zu können. Es wird das Betriebsverhalten der Vibrationswalze analytisch beschrieben und man kann mit zwei Methoden die Verdichtung ununterbrochen überprüfen.

Stichwörter: Verdichtungsgrad, Vibrationswalze, Bandage, Verdichtungskontrolle, Bodenreaktionskraft

Cuvinte cheie: grad de compactare, cilindru compactor vibrator, bandaj, controlul compactării, reacția terenului

#### **1. Introducere**

La compactarea pământului, compoziția granulometrică și umiditatea au o influență hotărâtoare. Calitatea terasamentelor depinde de natura materialului utilizat (tipul de pământ, granulozitatea, umiditatea) și de gradul de compactare atins [1], [4]. Nerealizarea unui

grad de compactare prevăzut în standarde, norme, prescripții și regulamente duce la o capacitate portantă redusă precum și la pierderea stabilității terasamentului prin principalele tipuri de deformații (tasări, prăbușiri, surpări, alunecări).

De aceea la realizarea terasamentelor este necesară controlarea atentă a gradului de compactare obținut. Aceasta se face în următoarele situații:

- permanent pe tot timpul execuției;
- la recepție după terminarea lucrărilor de terasamente.

Gradul de compactare  $D$  se exprimă prin raportul dintre densitatea efectivă în stare uscată a pământului din terasament,  $\rho_{def}$ , și densitatea maximă în stare uscată a acestuia,  $\rho_{dmax}$ , obținută în laborator prin încercarea Proctor [1]:

$$D = \frac{\rho_{def} \times 100}{\rho_{dmax}} \quad [\%] \quad (1)$$

Controlul gradului de compactare se poate face cu ajutorul următoarelor metode [1], [5]: recoltarea probelor din corpul terasamentului executat și determinarea parametrilor de compactare ( $\rho_{def}$ ,  $\rho_{dmax}$  și umiditatea  $w$ ); metoda izotopilor radioactivi; încercarea statică cu placă; încercarea dinamică cu placă; sondaje cu penetrometrul; sondaje cu presare.

În ultimul timp literatura de specialitate semnalează folosirea cilindrului (ruloului) vibrator nu numai pentru compactarea terasamentului, dar chiar ca aparatură pentru verificarea gradului de compactare [4], [5].

## 2. Elemente teoretice

Compactarea pământului este procesul fizico-mecanic prin care, sub influența unui lucru mecanic din exterior, se realizează o așezare mai îndesată a fazei solide și respectiv reducerea fazei lichide din componența stratului mineral. Prin activitatea de compactare se realizează simultan eliminarea sau reducerea accentuată a tasărilor ulterioare ale pământului, sporirea masei volumetrice și ridicarea capacității portante ale terenului [1], [4].

Pe arborele cilindrului compactor se află un vibrogenerator, care prin rotire generează vibrații asupra pământului de compactat. Terenul se poate considera ca un semispațiu omogen care nu are oscilații proprii, dar formează împreună cu cilindrul compresor un sistem oscilant pe suprafața pământului [4].

În figura 1 se arată elementele constructive ale părții vibratoare (compactoare) ale utilajului, denumit bandaj. Impulsul dinamic obținut prin rotația vibrogeneratorului produce și vibrarea bandajului respectiv reacția terenului  $F_t$ , care contribuie la compactarea dorită a terenului.

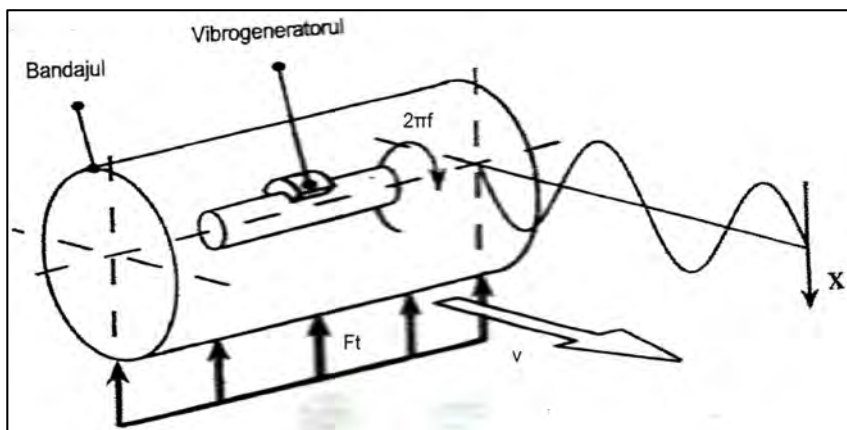
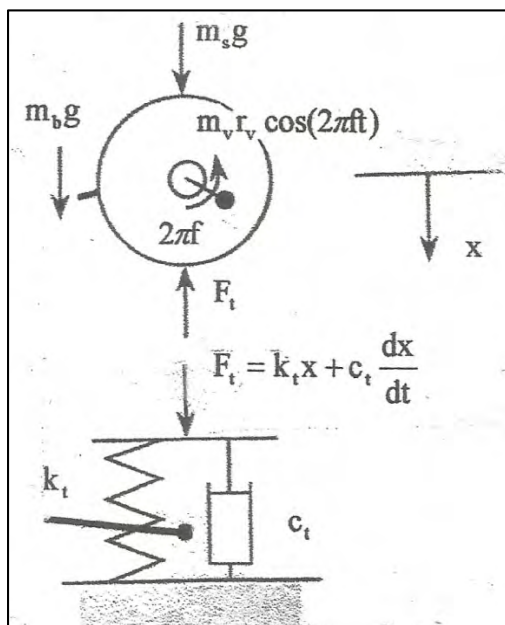


Fig. 1 Modul de funcționare a bandajului



Terenul poate fi considerat, mai ales la un grad mai ridicat de compactare sub aspect analitic, ca un model de arc-amortizor.

În figura 2 se prezintă schematic modelul analitic arc-amortizor și forțele care apar în timpul funcționării cilindrului compresor.

Fig. 2 Modelul analitic arc-amortizor

În baza teoremei impulsului și neconsiderând vibrațiile orizontale, se poate scrie:

$$m_b \frac{d^2x}{dt^2} = - F_t + (m_s + m_b)g + m_v r_v (2\pi f)^2 \cos(2\pi f t) \quad (2)$$

în care :

$m_b$  = masa bandajului,

$x$  = deplasarea pe verticală în m,

$t$  = timpul în s,

$F_t$  = reacția terenului în kN,

$m_s$  = masa șasiului utilajului

$m_v$  = masa vibrogeneratorului,

$r_v$  = raza, distanța față de arborele masei vibrogeneratorului,

$g$  = accelerația gravitației,

$f$  = frecvența rotației masei vibrogeneratorului în Hz.

Reacția terenului  $F_t$  din formula (2) ca mărime se exprimă cu:

$$F_t = k_t x + c_t \frac{dx}{dt} \quad (3)$$

în care notațiile sunt:

$k_t$  = rigiditatea terenului în kN/m,

$c_t$  = amortizarea terenului în kNs/m.

Terenul nu poate prelua decât forțe de compresiune. Ecuațiile (2) și (3) se rezolvă analitic obținându-se deplasarea  $x$  pe verticală. După un anumit număr de treceri ale cilindrului vibrator, gradul de compactare a terenului crește, la fel se schimbă valorile  $k_t$  și respectiv  $c_t$ . Prin modificarea valorilor  $k_t$  și  $c_t$ , care se referă la calitatea terenului, și reacția terenului  $F_t$ , adică forța de comprimare, se modifică. După valorile maxime ale forței  $F_t$ , avem două regimuri de lucru al comprimării terenului [2], [4] și anume:

$$\text{- regim de comprimare când } F_t \leq 2(m_s + m_b)g \quad (4)$$

$$\text{- regim de săltare când } F_t > 2(m_s + m_b)g \quad (5)$$

momentul când terenul nu se mai îndeasă și cilindrul compresor trece într-o săltare periodică. Acest fenomen apărut indică terminarea compactării [2].

### 3. Evaluarea calității compactării

Utilajul descris în prezenta lucrare îndeplinește simultan două roluri, cel de compresor (de compactare a terenului) și cel de

determinare indirectă a gradului de compactare. Cele două, se efectuează simultan în timpul funcționării utilajului.

Pentru evaluarea calității procesului de compactare, cilindrul compresor este prevăzut cu echipament de măsură și control. Acesta controlează și înregistrează procesul de compactare, urmărește automat evoluția lui și optimizează întregul proces de lucru [2].

Schema amplasării echipamentului de măsură și control se arată în figura 3.

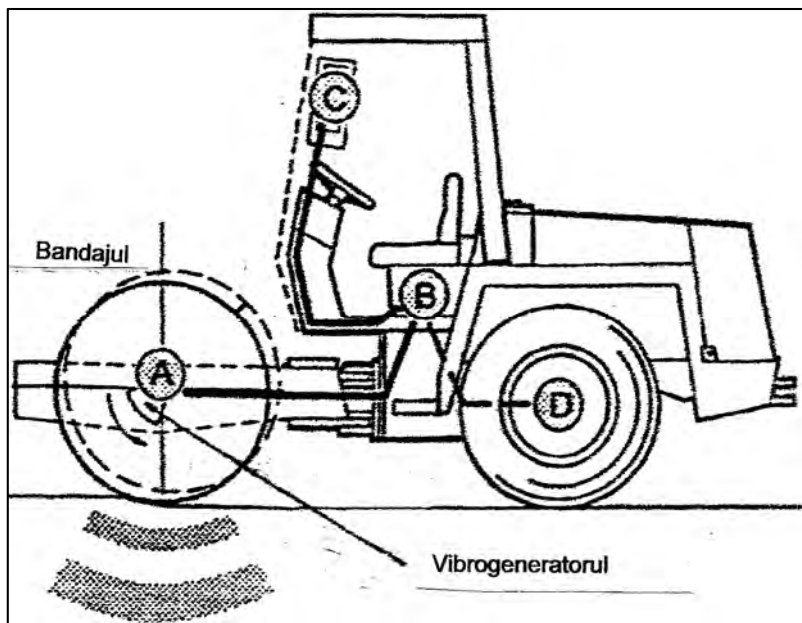


Fig. 3 Schema cilindrului compactor vibrator-măsurător

Unitatea traductoare A este montată pe arborele vibrogenerator al cilindrului compactor. Acesta măsoară accelerația vibrațiilor mecanice. De regulă se folosesc accelerometre piezoelectrice care sunt cele mai utilizate traductoare.

Cu litera B, s-a figurat unitatea centrală de procesare. Această unitate, la rândul său cuprinde mai multe componente și anume: interfața cu traductoarele, convertorul analog-numeric, memoria de date, memoria de program, baza de timp și sursa de alimentare.

Unitatea de procesare compară datele anterioare cu cele curente și decide dacă procesul de compactare s-a terminat sau nu.

Afișarea datelor curente și imprimarea lor se face prin unitatea notată cu litera C. În fine, prin D, s-a notat senzorul care semnalează poziția curentă a compactorului (amplasamentul utilajului de compactat) față de un reper prealabil local.

Literatura de specialitate menționează două modalități de control al compactării [2], [4], [5].

Prima, bazată pe măsurarea energiei de compactare, denumită și metoda caracteristicii dinamice Omega. Denumirea ei a fost dată de Concernul germano-american Bomag, care a introdus această metodă. La evaluarea calității compactării se determină în prealabil energia, notată cu W, folosită pe durata unei perioade de oscilație pentru compactarea terenului care se determină cu integrala:

$$W = \frac{1}{2T} \int F_t \frac{\partial x}{\partial t} dx \quad (6)$$

$$\text{unde } T = \frac{1}{f} \text{ este perioada de oscilație.} \quad (7)$$

iar f este frecvența rotației masei vibrogeneratorului în Hz.

Valoarea W se împarte la o energie de comparație  $W_0$ , obținută într-o pistă experimentală de etalonare cu același utilaj, din care apoi se află valoarea indicatorului adimensional Omega cu formula:

$$\omega = \frac{W}{W_0} \quad (8)$$

În decursul compactării la atingerea unui anumit indicator  $\omega$  prestabilit de proiectant, îndesarea pământului încetează.

A doua metodă, compară prima amplitudine de bază  $A_0$  a oscilației undelor de suprafață cu amplitudinea  $A_1$  a oscilației obținută după mai multe treceri a cilindrului compactor în decursul compactării. Valoarea raportului celor două amplitudini se numește indicatorul CMV (Compaction-Meter-Value), denumire introdusă de firma Geodynamik din Stockholm, Suedia. Mărirea indicatorului CMV crește odată cu gradul de compactare și arată mecanicului utilajului unde terenul este gata compactat și unde mai sunt necesare încă un număr de treceri pentru obținerea gradului de compactare dorit.

Afară de indicatorul CMV, unitatea notată cu C din figura 3, mai afișează și un alt indicator denumit RMV (Resonance-Meter-Value),

care arată dacă utilajul a intrat în regimul de săltare menționat în formula (5). Acest mod de lucru nu este dorit, fiindcă:

- expune mecanicul utilajului la vibrații și zgomote ce pot periclita sănătatea lui,
- utilajul compactor este mai puternic solicitat, ceea ce duce la scurtarea duratei de folosire, zona limitrofă este expusă trepidațiilor, fenomen nedorit sub aspectul protecției mediului.

Dacă la două treceri consecutive ale cilindrului compresor nu se obține o creștere a îndesării terenului, atunci unitatea de afișare a datelor C semnalează sfârșitul operației de compactare, de regulă printr-un semnal acustic.

Toate datele, valorile care indică gradul de compactare și poziția utilajului pe lângă afișare pe un ecran sunt memorate și pe un suport magnetic, pot fi extrase oricând pe o imprimantă și pot fi chiar transmise pe un PC aflat în biroul șefului de șantier.

Astfel supravegherea și controlul operației de compactare este mai rapidă și mai eficientă.

#### **4. Concluzii**

■ Lucrarea descrie o nouă metodă de determinare a gradului de compactare și aprecierea lucrărilor de terasamente, utilizând un cilindru compactor vibrator, înzestrat cu un echipament de măsură și control. Utilajul îndeplinește două roluri: cel de compactare și cel de control automat a calității terasamentului executat.

■ Datele privind compactarea se obțin în orice punct al suprafeței terasamentului, deci nu punctual prin sondaje aleatoare, ci simultan în decursul execuției, în orice moment.

■ Utilajul astfel echipat și metoda de control se poate utiliza cu mare eficacitate și randament la lucrările de drumuri, autostrăzi, căi ferate și aeroporturi.

#### **BIBLIOGRAFIE**

- [1] Belc, F., Lucaci, Gh., *Căi de comunicație terestre. Elemente de construcție*. Editura Solness, Timișoara, 2001.
- [2] Wehrli, Ch., Anderegg, R., *Nichtlineare Schwingungen bei Vibrationswalzen*. In: Geotechnik, Essen, 1998/1, pag.10-52.

- [3] Brădescu, I., Stamate, C., Păsat, A., *Compactometru dinamic asociat ruloului vibrator pentru compactarea pământului*. În: Buletinul celei de a VIII-a Conferință de Vibrații Mecanice, vol. III, Timișoara, 1996, pag.1-8.
- [4] Grabe, J., *Einsatz der flächendeckenden Verdichtungskontrolle (FDVK) im Verkehrswegebau*. In: Proceedings 10<sup>th</sup> Danube-European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.I, Mamaia, Romania, 1995, pag.89'- 96.
- [5] Simmer, K., *Grundbau 1 Bodenmechanik und erdstatische Berechnungen*. Teubner, Stuttgart, 1994.
- [6] Bejan, M., *În lumea unităților de măsură*. Ediția a doua revăzută și adăugită. Editura Academiei Române și Editura AGIR, București, 2005.

Prof. asoc. Dr. Ing. Eur.Ing. Andrei POGÁNY  
Facultatea de Construcții Timișoara  
membru AGIR  
e-mail: pogany00@gmail.com

Ing. Sorin ZDRENGHIA  
SC. STRABAG SRL București  
membru AGIR  
e-mail: zdr\_sorin@yahoo.com