

# CARACTERIZAREA PROCESULUI DE COMPACTARE PRIN VIBRARE

*Dr. Ing. Ramona PINȚOI*

*ICECON SA*

*Drd. Ing. Ruslan BORDOS*

*Universitatea Dunărea de Jos*

## **Abstract**

The paper presents the research results concerning the concrete vibrating process in order to characterize its behavior by verifying the mechanical strength after dynamic compaction. Following, there are presented the physical and mechanical processes during the concrete compacting by vibration, from the rheological point of view, regarding the two situations: the transient phase and the regime phase.

In this context, there are presented the influences of the vibration parameters on the concrete compaction quality.

## **1. Introducere**

Vibrarea betonului în stare proaspătă duce la realizarea unui proces de compactare capabil să mărească, în mod deosebit, rezistența acestuia după întărire.

Procesul de compactare a betonului poate fi optimizat din punct de vedere al operației de vibrare numai în condițiile în care celelalte operații tehnologice sunt perfect determinate și respectate, astfel:

- alegerea componentelor (apă, ciment, agregate, aditivi);
- dozarea lor după o structură granulometrică dată;
- amestecarea și punerea în operă.

Rezistențele betonului sunt influențate în mod direct de vibrare, respectiv de volumul de goluri din beton (fig. 1).

Procesul de întărire prin vibrare a betonului constă din două etape:

- formarea scheletului de agregate prin împănare și apariția vinelor de beton vâscos;
- apariția unei structuri stabile a betonului, ca urmare a realizării unui echilibru între forțele vâscoase, de frecare internă și de vibrare, în această stare, betonul are o suprafață umedă și lucioasă, iar structura sa se caracterizează prin proprietăți tixotropice.

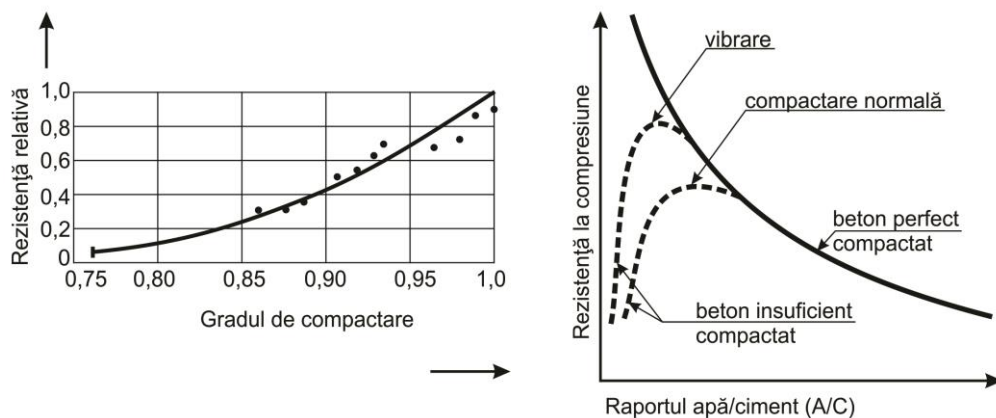


Fig. 1 Variația rezistenței la compresiune a betonului, datorită vibrării

Din studiul proceselor fizico-mecanice la compactarea prin vibrare a betonului, se desprinde concluzia că în dinamica sistemului vibrator-beton, se pot defini, din punct de vedere reologic, două faze: faza tranzitorie și faza de regim.

**Faza tranzitorie**, ce apare la începutul vibrării, se caracterizează prin creșterea energiei interne a particulelor, apariția de modificări importante ale caracteristicilor reologice ale betonului, având drept efect, transformarea betonului într-o suspensie de agregate în pasta de ciment, cu caracteristici de fluid vâscos.

Aceste fenomene tixotropice apar într-o perioadă relativ scurtă a procesului de compactare, acestea având o durată de 5-15%, din procesul de compactare.

În faza care se instalează după fluidificarea masei de beton supusă vibrațiilor, consideră **fază de regim**, sistemul vibrator lucrează la parametrii cvasiconstanți, având în vedere variația lor lentă, asimptotică, spre valori stabile.

**Compactarea** poate fi **naturală** și **forțată**.

**Compactarea naturală** are loc în felul următor: acțiunile exterioare aleatorii strică echilibrul între forțele de frecare, de aderență și greutatea particulelor. Pentru scurt timp, forța greutății proprii a particulelor este mai mare decât forțele de frecare și aderență. Sub acțiunea greutății proprii, particulele intră în mișcare, tinzând să ocupe poziția cea mai de jos. Se produce o regrupare a dispunerii particulelor în mod compact, volumul amestecului se reduce și amestecul se compactează.

**Compactarea forțată** se face în mod analog: printr-o acțiune din afară se caută să se anihileze forțele de frecare și aderență între particulele amestecului și să li se transmită acestora acele mișcări la care se produce reșezarea particulelor în mod compact, distanța între particule se reduce, iar amestecul se compactează. Fiecare particulă a amestecului trebuie să primească un impuls inițial suficient pentru a-i perturba forțele de frecare și aderență cu particula vecină, iar după

aceea să primească în continuare impulsuri suplimentare pentru a-i menține mișcarea oscilatorie sau haotică.

S-a remarcat experimental o creștere a intensității câmpului de vibrații foarte pronunțată în intervalul 0-30 secunde, când are loc fluidificarea betonului.

În intervalul 30-120 secunde, undele de vibrație transmise betonului fluidificat produc compactarea acestuia. Vibrarea după intervalul de timp de 120 secunde nu mai produce practic efecte notabile privind compactarea.

Compactarea amestecurilor de beton se poate face atât prin vibrații în plan vertical, cât și orizontal, mecanica procesului de compactare este însă diferită.

În cazul meselor vibrante cu oscilații verticale, direcția deplasării fundului tiparului coincide cu direcția de acționare a forțelor gravitaționale. O particulă din amestecul de beton care se află pe fundul tiparului este supusă la oscilații îndreptate după normala la planul fundului tiparului, pe care le transmite particulelor vecine superioare. Pe măsura îndepărtării de fundul tiparului, amplitudinile oscilațiilor particulelor de beton scad.

Dacă forțele de inerție, care acționează asupra particulelor din amestecul de beton, depășesc suma forțelor gravitaționale și de aderență dintre particule și dintre particule și fundul tiparului, atunci acestea se desprind una de alta și de fundul tiparului.

În cazul meselor vibrante cu oscilații orizontale, vibrațiile sunt îndreptate perpendicular pe direcția forțelor gravitaționale, în consecință, la accelerații mari în procesul de compactare nu mai are loc desprinderea masei de beton de fundul tiparului. Desprinderea poate avea loc doar de pereții frontali ai tiparului, dispuși perpendicular pe direcția oscilațiilor. În cazul vibrațiilor orizontale, oscilațiile masei de beton sunt produse de forțele de frecare și de aderență dintre fundul, respectiv pereții laterali ai tiparului și straturile de beton aferente.

## **2. Influența factorilor reologici în procesul de compactare prin vibrarea betonului**

L.M. Krakinovskii [3] asimilează mișcarea particulelor amestecului vibrat cu mișcarea unui punct amplasat pe un plan înclinat față de orizontal sub un anumit unghi (fig. 2).

Dacă se alege forța exterioară  $Q$  în așa fel încât  $Q \geq P \sin \alpha > T$ , unde  $P$  – greutatea particulei amestecului vibrat, iar  $T$  – forța de frecare în repaus, particula intră în mișcare. Luând  $Q = \frac{P}{g} w$ , forța de inerție a punctului, iar  $\sin \alpha \approx \frac{1}{2}$ , aflăm  $w \geq \frac{1}{2} g$ , unde  $w$  – accelerația particulei.

Pornind de la aceste considerente, s-a stabilit accelerația pentru vibrator. Dacă  $A$  – amplitudinea corpului vibratorului, iar  $\omega$  – viteza unghiulară de rotire a axului vibratorului și luăm  $w = A\omega^2$ , condiția alegerii accelerației vibratorului, este  $A\omega^2 \geq \frac{1}{2} g$ .

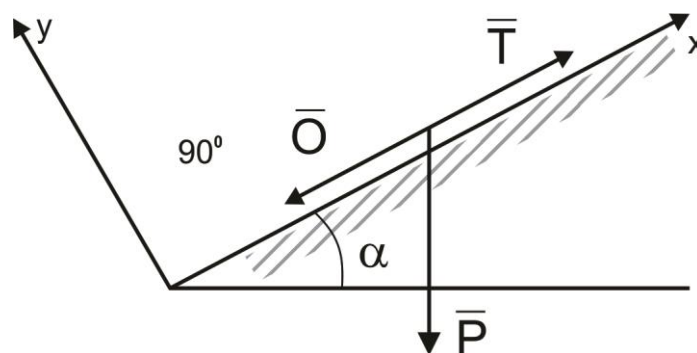


Fig. 2. Mișcarea particulelor amestecului vibrat după L.M. Krakinovskii [3]

Mecanismul vibrocompactării, potrivit lui M. Alexander [1] constă în asigurarea vârtejurilor și a mișcării turbulente în amestec. El consideră că, compactarea cu presiune statică este însoțită doar de deformații, atât elastice cât și remanente. În cazul vibrocompactării se produc numai deplasări finite ale particulelor, fără deformare, de aceea notarea ecuațiilor diferențiale ale amestecului cu mediu compact este de prisos. Dimpotrivă, I.D. Dewar [2] consideră ca principale procese de deformare.

În realitate, compactarea statică și cea dinamică sunt însoțite atât de deplasări finite ale particulelor amestecului, cât și de deformații ale amestecului ca mediu continuu.

Existența deformațiilor și deplasărilor finite fac dificilă studierea mișcării amestecului, deoarece pe lângă parametrii continui, ce caracterizează întregul amestec, pentru care se poate scrie un sistem de ecuații diferențiale, mai există și deplasări ale unor puncte ale amestecului. Fiecare punct “fizic” al amestecului ia parte simultan la două mișcări:

- una generală, care reprezintă deplasarea corespunzătoare deformațiilor continue ale amestecului ca un corp elastic, elasto-vâscos, elasto-plasto-vâscos etc.;
- una relativă, care reprezintă deplasarea unei particule ca pe a unui corp absolut solid. Conform acesteia, avem tensiunile  $P_{ik}$  ( $i, k=1,2,3$ ), deplasarea  $U_i$ , șase deplasări finite  $x_j, y_j, z_j, \Psi_j, \theta_j, \varphi_j$ .

### **Autocompactarea (compactarea naturală)**

Analizând o componentă minerală a amestecului – un corp material fizic – constatăm că asupra lui acționează forța greutatei proprii și forța mediului. În cazul mișcării, punctul material atinge după sine numai o parte din particulele amestecului. În amestec există totdeauna două feluri de frecare: frecarea proprie lichidelor și frecarea proprie corpurilor solide.

### **Compactarea forțată în regim dinamic stabilizat**

Pentru analiză este necesară îndeplinirea a cel puțin două condiții:

- să scoatem punctele amestecului din condiția de echilibru, în care scop rezultanta forțelor care produc compactarea trebuie să fie mai mare decât rezultanta forțelor care împiedică compactarea;
- pentru compactare este necesar ca particulele amestecului să capete o mișcare oscilatorie instabilă în jurul pozițiilor medii. Pentru menținerea mișcării oscilatorii, particulelor amestecului trebuie să li se transmită continuu o cantitate corespunzătoare de energie, care să nu fie mai mică decât lucrul forțelor de frecare și aderență, care acționează asupra particulei date.

### **3. Influența vibrațiilor asupra compactării betonului**

Principalilor parametri de vibrare asupra compactării betonului sunt:

- a) Parametrii definatorii de vibrocompactare a betonului:
  - frecvența de vibrare: se alege funcție de caracteristicile reologice ale betonului, de masa utilă de beton ce trebuie vibrată, respectiv raportul acesteia față de masa totală de vibrat și de soluția constructivă și anume pulsația proprie a sistemului, respectiv caracteristicile geometrice / dimensionale ale piesei de beton;
  - pulsația proprie a sistemului: este funcție de masele utile și funcționale de lucru, respectiv de elementele de amortizare intermediare și finale, determină regimul funcțional de lucru;
  - amplitudinea vibrației: se alege funcție de caracteristicile reologice ale betonului și de frecvența de vibrare;
  - forța perturbatoare/momentul static al vibratorului: se alege funcție de masa piesei de beton, respectiv masa totală de vibrat, de amplitudinile utile ce trebuie obținute și de caracteristicile reologice ale betonului, care implică nivele bine determinate ale accelerațiilor de vibrare;
  - timpul de vibrare: ce se alege funcție de frecvența de vibrare raportată la pulsația proprie a sistemului, a regimului de lucru, de caracteristicile geometrice și funcționale ale piesei de beton și de caracteristicile reologice ale betonului.
- b) Parametrii fizico-mecanici de bază ai betoanelor vibrocompactate:
  - lucrabilitatea și rigiditatea scontată  $C$ ;
  - rezistența la compresiune  $R_c$ ;
  - densitatea și coeficientul de compactare, exprimat prin raportul între masa volumetrică pe epruvetă și suma maselor componente;
  - durabilitatea, în funcție de:
    - limita de rezistență la compresiune, a epruvetelor supuse încercărilor de stabilitate la îngheț;
    - masa volumetrică a epruvetelor supuse încercărilor de stabilitate la îngheț;
    - viteza ultrasunetelor în epruvetele supuse încercărilor de stabilitate la îngheț;
    - porozitatea integrală, determinată pe baza absorbției de apă.
- c) Variația parametrilor fizico-mecanici ai betonului în timpul vibrării:

### **Pragul de compactare și amplitudinea**

Condițiile la care particulele amestecului ce se compactează intră în mișcare, definesc pragul de compactare prin vibrație al respectivului amestec.

În procesul compactării, pragul de vibrocompactare se va modifica datorită modificării greutatei specifice a amestecului, a înălțimii coloanei de amestec  $z$ , a forței lui Arhimede,  $P_a$ , a forțelor de aderență  $k_0$ . Prin urmare, din condiția de mai sus rezultă că, compactarea este posibilă numai în cazul unei accelerații variabile în timp, adică în cazul unei frecvențe și unei amplitudini variabile în timp. La utilajele de care se dispune pentru vibrocompactare, amplitudinea nu variază în timp. Dar, în realitate, frecvența oscilațiilor generatorului de vibrații și prin urmare, platformei vibratoare în procesul de compactare, variază, prin aceasta se explică efectul de compactare obținut.

### **Rigiditatea și vâscozitatea betonului**

Principala factor care determină proprietățile elastice ale amestecului la vibrație, este considerat aerul neevacuat din amestec, întrucât are cea mai mare capacitate de deformare.

Masa amestecurilor de beton vibrocompactate poate fi echivalată cu niște structuri solide tixotrope cu rezistență mică sau cu niște lichide structurate, tixotrope.

În cazul acțiunii de vibrație, cu parametri constanți, mediile ce se compactează dobândesc proprietăți de lichid newtonian (fig. 3.). Acest fapt, confirmat în mod repetat de experiențe elementare, a fost confirmat științific prin curbele curgerii, construite pentru diferite materiale și diferiți parametri ai vibrației.

Acțiunile vibrației asupra sistemelor structurale pot fi împărțite în două faze:

- în prima fază cu durata  $T_s$ , se produce distrugerea legăturilor structurale și ca urmare, reducerea vâscozității;
- în a doua fază se produce deplasarea particulelor în concordanță cu acțiunea de vibrație externă în mediul cu vâscozitate redusă.

Vâscozitatea amestecului la vibrație depinde de timpul de prelucrare prin vibrație, de proprietățile fizico-mecanice ale amestecului, de coordonatele punctelor mediului și de amplitudinea acțiunii de vibrație.

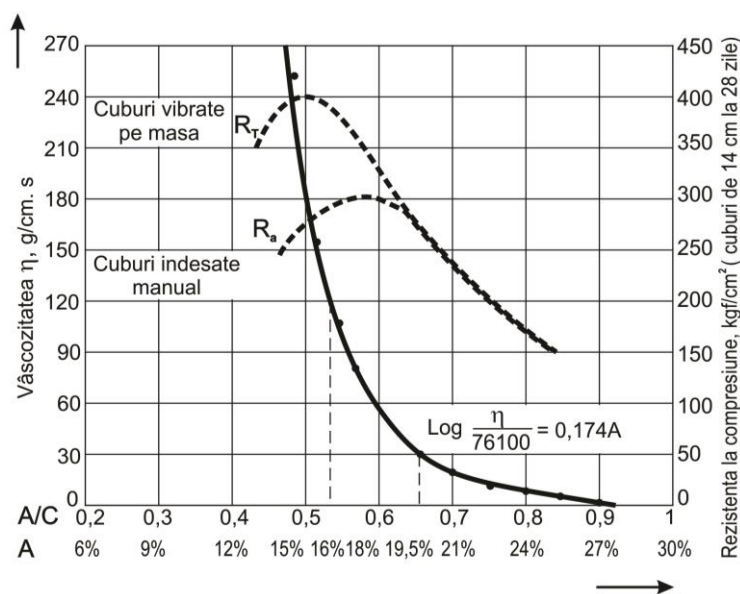


Fig. 3. Vâscozitatea unui beton în stare de vibrare în funcție de cantitatea de apă de amestec

Acțiunea izotropă produsă de vibrare, care se manifestă în mișcarea relativă a componentelor mediului, nu duce decât la distrugerea legăturilor supramoleculare din structură, la reducerea forțelor de frecare și aderență, precum și a limitei de curgere, creează condiții pentru curgere la cele mai mici eforturi de forfecare, curgerea produsă de vibrare poate avea loc numai în cazul acțiunii ei anizotrope.

### Frecvența și amplitudinea de vibrare

Variația frecvenței în procesul vibrării contribuie la optimizarea compactării amestecului, iar regimul cel mai bun pentru formarea produselor se obține la o frecvență variabilă, începând de la cea joasă, când intensitatea vibrației va fi optimă pentru produsul dat.

Aceasta se datorează în principal faptului că creșterea rigidității amestecului în timpul vibrării, datorită eliminării unei părți din aerul închis, implică și creșterea frecvenței proprii a amestecului. Experimental s-a dovedit că mărirea frecvenței de vibrare îmbunătățește sensibil caracteristicile relogice ale betonului supus vibrocompactării.

De asemenea, rezistența betonului crește odată cu mărirea frecvenței la regimuri de compactare cu o accelerație a vibrațiilor cuprinsă între 20-35m/s<sup>2</sup>. La frecvențe identice, rezistența betonului va fi cu 10-12% mai mare în cazul unor accelerații mai mari.

#### **4. Concluzii**

Concluzia principală a cercetărilor efectuate o constituie faptul că în procesul de vibrocompactare, vâscozitatea și rigiditatea betonului variază.

Mecanismul compactării prin vibrare impune studierea mișcării atât a vibratorului cât și a amestecului. Modelul cel mai general: vibrator – un sistem de două corpuri (corpul și axul vibratorului) și amestecul – un sistem de puncte materiale (corpuri) într-un mediu continuu oarecare. În acest caz punctele sistemului sunt toate componentele minerale posibile ale amestecului, iar mediul este un corp reologic cu anumite proprietăți. În funcție de condițiile problemei și de gradul de precizie cerut, în model se introduc simplificări. Astfel, dacă trebuie studiată numai mișcarea vibratorului, acțiunea amestecului este înlocuită cu forțe, iar mișcarea acestuia este neglijată. Înlocuirea amestecului cu forțe poate fi justificată numai în cazul când mișcarea amestecului nu are o influență esențială asupra caracterului mișcării vibratorului sau nu prezintă interes în sensul problemei. Dar în problema compactării betonului, cel mai mare interes îl prezintă tocmai mișcarea acestuia. De aceea, la compactarea betonului trebuie avută în vedere atât mișcarea amestecului, cât și cea a vibratorului.

Domeniul de variație al frecvenței și amplitudinii de compactare se alege în zona celui mai înalt grad de distrugere al legăturilor structurii amestecului de compactat sau în zona celei mai mari reduceri a vâscozității.

#### **5. Bibliografie**

- [1] Alexander M., Study of vibration in concrete, Report 3, Mechanics of motion of fresh concrete. Concrete Laboratory, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksbury, Mississippi, 1977.
- [2] Dewar I.D., Some effects of prolonged agitation of concrete. Cement, Lime and Gravel, 38, no. 4 p.p. 121-8, London, april 1963.
- [3] Krakinovskii L.M., Osonovnie prințipi unificații vibroploșciadok. Vibraționnaia tehnica, Moska, 1966.