

PROCESUL DE COMPACTARE PRIN VIBRARE A BETONULUI PROASPĂT TURNAT ÎN TIPARE METALICE

THE PROCESS OF VIBRATING COMPACTION OF FRESHLY POURED CONCRETE IN METAL MOLDS

Oana TONCIU

Șef lucrări univ.dr.ing. Facultatea de Inginerie Mecanică și Robotică în Construcții, U.T.C. București

Rezumat

Grinzile mari din beton armat precomprimate în șantier la fața locului "in situ" sunt elemente structurale prefabricate de cca 40...42 m lungime necesare realizării podurilor și viaductelor.

Pretensionarea toroanelor situate la baza grinzii se realizează controlat cu prese hidraulice ce au posibilitatea încărcării în trepte de forță controlate pentru atingerea alungirilor elastice necesare. La turnarea betonului proaspăt în cofrajele mecanice dedicate se realizează vibrarea exterioară cu vibratoare inerțiale dispuse pe lungimea tiparului metalic.

Acestea trebuie să asigure amplitudinea și frecvența necesare compactării betonului pe două direcții simultan vertical și orizontal. În acest articol se prezintă analiza parametrică a compactării betonului proaspăt turnat în tipare cu echipamente dotate cu vibratoare inerțiale de exterior.

În acest context, se prezintă dinamica procesului de compactare pe două direcții rectangulare unde parametrii de mișcare la vibrații a peretelui tiparului sunt stabiliți analitic și verificați experimental. Valorile de rigiditate și amortizare ale betonului proaspăt sunt stabilite în funcție de natura fizică și compoziția acestuia.

Pe această bază, se constată că regimul postrezonanță este favorabil procesului de compactare.

Cuvinte cheie: vibrații bidirecționale, compactare beton, rigiditate beton proaspăt, rezonanță.

Abstract

The large reinforced concrete beams pre-compressed on the construction site "in situ" are prefabricated structural elements of approx. 40...42 m length necessary for the construction of bridges and viaducts.

The pre-tensioning of the strands located at the base of the beam is controlled with hydraulic presses that have the possibility of loading in controlled force steps to achieve the necessary elastic elongations.

When fresh concrete is poured into the dedicated mechanical formwork, external vibration is achieved with inertial vibrators arranged along the length of the metal pattern.

They must ensure the amplitude and frequency necessary to compact the concrete in two directions simultaneously vertically and horizontally. This article presents the parametric analysis of the compaction of freshly poured concrete in molds with equipment equipped with outdoor inertial vibrators.

In this context, the dynamics of the compaction process in two rectangular directions are presented, where the movement parameters of the mold wall are analytically established and verified experimentally. The stiffness and damping values of fresh concrete are determined according to its physical nature and composition.

On this basis, it is found that the post-resonance regime is favorable to the compaction process.

Keywords: bidirectional vibration, concrete compaction, fresh concrete stiffness, resonance.

1. Introducere

Compatibilitatea funcțională a vibratoarelor de exterior cu tiparele metalice elastice pentru compactarea betonului trebuie stabilită în funcție de masa betonului proaspăt, de durata de vibrație și de caracteristicile fizico-mecanice ale întregului ansamblu tipar – vibrator – beton.

Vibratoarele de exterior sunt plasate pe cofraje, tipare sau elemente din această categorie, care interacționează cu masa de beton proaspăt pus în operă. Pentru a obține un efect maxim de compactare și o omogenizare cât mai mare a masei de beton, este necesar ca regimul de vibrații transmis betonului să fie stabil, controlabil și la parametrii impuși de tehnologia de lucru.

2. Modelul dinamic

Pentru calculul parametrilor constructivi și funcționali ai vibratoarelor de exterior cu forța perturbatoare inerțială, se introduc mai multe ipoteze simplificatoare, și anume:

- Sistemul vibrator – element de prindere se consideră modelat ca un sistem cu un grad de libertate;
- Vibratorul este plasat în centrul de greutate al elementului elastic ce îndeplinește rolul de tipar, cofraj etc.

În figura 1, se prezintă modelul de calcul pentru un sistem elastic cu vibrator de exterior cu forța perturbatoare rotitoare (forța centrifugă de inerție) generată de o masă excentrică în mișcare de rotație. Se consideră că vibratorul de exterior 2 este amplasat în centrul de masă al elementului de compactat 1 (tipar, cofraj) care se va numi organ de lucru. Modelul prezentat se caracterizează prin faptul că centrul forțelor elastice coincide cu centrul forțelor disipative și cu punctul de aplicație al forței centrifuge de inerție care menține vibrațiile forțate în regim stabilizat.

Procesul de compactare prin vibraire a betonului proaspăt turnat în tipare metalice

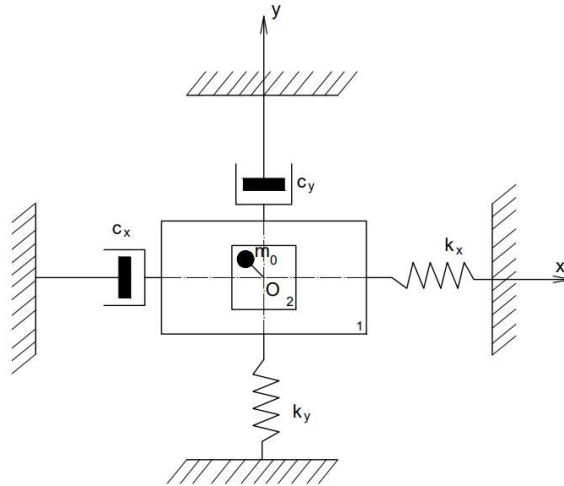


Fig. 1. Modelul dinamic

Ecuțiile diferențiale de mișcare ale sistemului elastic, excitat cu o forță perturbatoare rotitoare, sunt de forma:

$$\begin{cases} m\ddot{x} + c_x\dot{x} + k_x x = m_0 r \omega^2 \sin \omega t \\ m\ddot{y} + c_y\dot{y} + k_y y = m_0 r \omega^2 \cos \omega t \end{cases} \quad (1)$$

unde m_0 este masa totală a excentricului; r – distanța de la centrul de masă al excentricului până la axa de rotație (excentricitate); ω – viteza unghiulară a masei excentrice sau pulsația forței perturbatoare; k_x, k_y – coeficienții de rigiditate echivalenți ai sistemului elastic, corespunzători direcțiilor x , respectiv y ; c_x, c_y – coeficienții echivalenți ai forțelor de disipare proporționale cu vitezele \dot{x} și respectiv \dot{y} .

Soluțiile ecuațiilor diferențiale decuplate după axele rectangulare Ox și Oy sunt date în regim stabilizat de lucru, sub forma:

$$\begin{cases} x = A_x \sin (\omega t - \varphi_x) \\ y = A_y \cos (\omega t - \varphi_y) \end{cases} \quad (2)$$

în care A_x este amplitudinea deplasării pe axa x ;

A_y – amplitudinea deplasării pe axa y .

Amplitudinea mișcărilor după axele x și respectiv y sunt date de relațiile:

$$A_x = \frac{m_0 r \omega^2}{(m_1 + m_0) \sqrt{(p_x^2 - \omega^2)^2 + 4h_x^2 \omega^2}} \quad (3)$$

$$A_y = \frac{m_0 r \omega^2}{(m_1 + m_0) \sqrt{(p_y^2 - \omega^2)^2 + 4h_y^2 \omega^2}}$$

în care au fost utilizate notațiile următoare:

- Fazele inițiale φ_x și φ_y cu expresiile:

$$\varphi_x = \operatorname{arctg} \frac{2h_x \omega}{p_x^2 - \omega^2} \quad (4)$$

$$\varphi_y = \operatorname{arctg} \frac{2h_y \omega}{p_y^2 - \omega^2}$$

- Pulsățiile proprii p_x și p_y de forma:

$$\begin{cases} p_x = \sqrt{\frac{k_x}{m}} \\ p_y = \sqrt{\frac{k_y}{m}} \end{cases} \quad (5)$$

- Factorii de amortizare h_x și h_y :

$$\begin{cases} h_x = \frac{c_x}{2m} \\ h_y = \frac{c_y}{2m} \end{cases} \quad (6)$$

Pentru cazul în care disiparea este atât de mică încât poate fi neglijată, pot fi aplicate relațiile de calcul sub forma:

$$A_x = \frac{m_0 r \omega^2}{(m_1 + m_0) |p_x^2 - \omega^2|} \quad (7)$$

$$A_y = \frac{m_0 r \omega^2}{(m_1 + m_0) |p_y^2 - \omega^2|}$$

Procesul de compactare prin vibrare a betonului proaspăt turnat în tipare metalice

Iar fazele inițiale φ_x și φ_y vor fi:

$$\varphi_x = 0 \text{ pentru } p_x > \omega$$

$$\varphi_x = \pi \text{ pentru } p_x < \omega$$

$$\varphi_y = 0 \text{ pentru } p_y > \omega$$

În continuare s-a realizat reprezentarea grafică a amplitudinilor mișcărilor după axele x și respectiv y date de relațiile (3), pentru cazul în care disiparea nu este neglijată și relațiile (7) în cazul în care disiparea este neglijată.

3. Curbele de variație a amplitudinilor vibrațiilor tehnologice

Amplasarea unui vibrator revine unei lungimi de 2 m, dintr-un tipar de 42 m lungime, astfel încât pentru întregul sistem tipar-vibrator vor fi necesare 24 de vibratoare de exterior amplasate prin fixare mecanică.

În acest caz, pentru un beton proaspăt turnat cu densitatea $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$ cu dimensiunile volumice ale tiparului de 0,25 m x 1,0 m x 2 m, mărimile fizico-mecanice de rigiditate și amortizare pe cele două direcții sunt următoarele:

- masa betonului vibrat $m = 2000 \text{ kg}$;
- rigiditățile bidirecționale $k_x = 3 \cdot 10^6 \text{ N/m}$; $k_y = 5 \cdot 10^5 \text{ N/m}$;
- amortizările vâscoase $c_x = 2,5 \cdot 10^4 \text{ Ns/m}$; $c_y = 1,5 \cdot 10^4 \text{ Ns/m}$;
- momentul static total al unui vibrator de exterior este $m_0 r = 0,5 \text{ kgm}$
- pulsația de excitație sau viteza unghiulară de rotație a maselor excentrice este $\omega = 157 \text{ rad/s}$;
- amplitudinea de regim în postrezonanță este $A_0 = \frac{m_0 r}{m} = 0,25 \cdot 10^{-3} = 0,25 \text{ mm}$
- pulsațiile proprii (de rezonanță) $p_x = 38 \text{ rad/s}$; $p_y = 15,8 \text{ rad/s}$

Reprezentarea grafică a amplitudinilor în funcție de variabila curentă $\omega = 0 \dots 400 \text{ rad/s}$ și variabila discretă a rigidității k_x respectiv k_y se va face pe baza relațiilor de mai jos:

$$A_x = \frac{m_0 r \omega^2}{\sqrt{(k_x - m \omega^2)^2 + 4 \zeta_x^2 m \omega^2 k_x}} \quad (8)$$

$$A_y = \frac{m_0 r \omega^2}{\sqrt{(k_y - m \omega^2)^2 + 4 \zeta_y^2 m \omega^2 k_y}} \quad (9)$$

unde $\zeta_x = 0,15$ și $\zeta_y = 0,25$, iar $k_x = (3, 5, 8, 10) \cdot 10^6 \text{ N/m}$ și $k_y = (5, 8, 12, 20) \cdot 10^5 \text{ N/m}$.

În figura 2 se prezintă familia de curbe pentru $A_x(\omega, k_x)$, iar în figura 3 se redau curbele pentru $A_y(\omega, k_y)$.

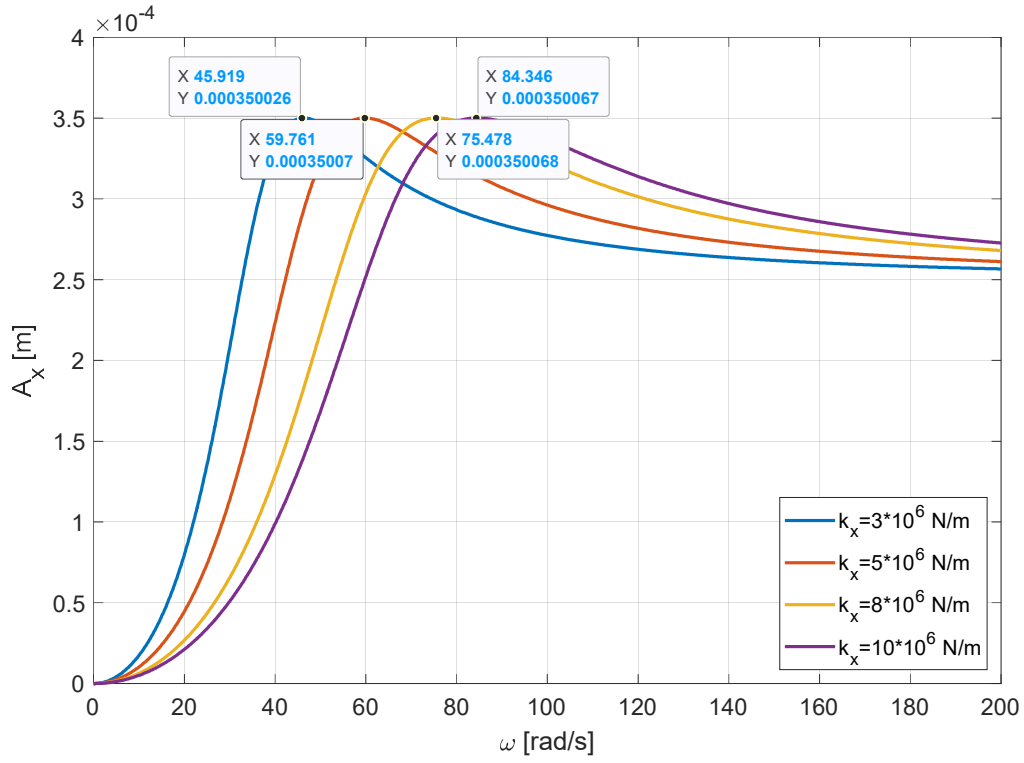


Fig. 2

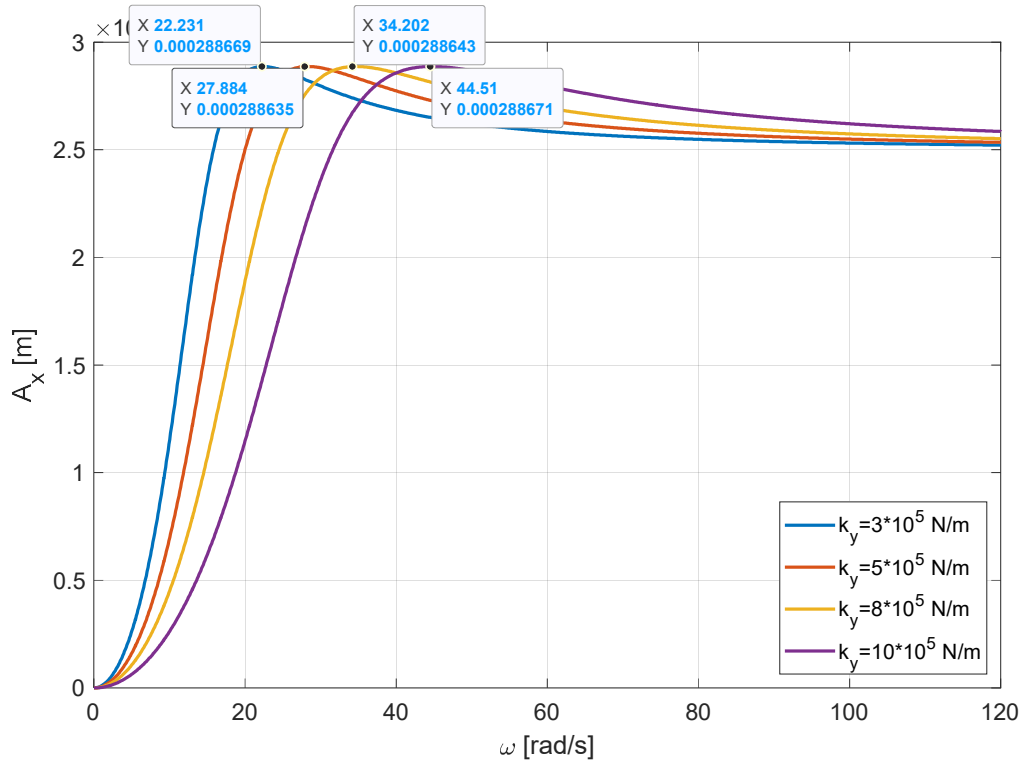


Fig. 3

Procesul de compactare prin vibrare a betonului proaspăt turnat în tipare metalice

4. Concluzii

Pe baza cercetărilor efectuate și a rezultatelor „in situ” obținute prin realizarea grinzilor de 42 m lungime, la firmele constructoare de drumuri, din România, pot fi sintetizate următoarele concluzii:

- a) Parametrii de rigiditate și amortizare ai betonului proaspăt turnat în tiparul vibrator trebuie stabiliți pe baza rețetelor de beton „in situ”;
- b) Regimul de vibrare în postrezonanță oferă stabilitate și asigură amplitudine constantă independentă de rigiditate și amortizări. În acest caz, se poate conta pe $A_0 = \frac{m_0 r}{m}$;
- c) Variația crescătoare a rigidității, ca urmare a variabilității compoziției betonului, duce la realizarea unor parametri cu valori diferite de care trebuie să se țină cont.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Bratu, P. , *Vibrațiile sistemelor elastice*, Editura Tehnică, Bucuresti 2000.
- [2] Bratu, P. , *Theoretical mechanics*, 860 pag., Impulse Publishing, ISBN 973-8132-57-6, Bucharest, 2006;
- [3] Bratu, P. , *Analiza structurilor elastice. Comportarea la actiuni statice si dinamice*, Ed. Impuls, Bucuresti, 2010
- [4] Bratu, P. , *Hysteretic Loops in correlation in the maximum dissipated energy for linear Dynamic Systems Symmetry*, 2019, 11(3), 315, <https://doi.org/10.3390/sym11030315-02> Mar 2019
- [5] Bratu, P., Buraga A., Chilari O., Ciocodeiu A.I., Oprea I. , *Evaluarea forței vâscoelastice liniare pentru un sistem dinamic (m, c,k) excitat cu o forță*, publicata in limba engleza cu titlul Evaluation of the linear viscoelastic force for a dynamic system (m, c, k) excited with a rotating force, Romanian Journal of Acoustics and Vibration, vol 16, nr. 1/2019;
- [6] Polidor Bratu, Adriana Stuparu, Sorin Popa, Ovidiu Voicu, Nicolae Iacob, Gianina Spânu “*The Dynamic Isolation Performances analysis of the vibrating equipment with elastic links to a fixed fixed base*” – ACTA NAPOCENSIS – Applied Mathematics, mechanics and engineering, vol. 61, nr. 1 (2018);
- [7] Briaud, J-L. , *Introduction to Soil Moduli*, Geotechnical News, Bitech Publishers Ltd, Richmond, B.C., Canada, 2001.
- [8] Bratu P., Dobrescu C. , *Evaluarea energiei disipate în vecinătatea rezonanței, funcție de natura excitației dinamice*, publicată în limba engleză cu titlul Evaluation of the Dissipated Energy in Vicinity of the Resonance, depending on the Nature of Dynamic Excitation, Romanian Journal of Acoustics and Vibrations, vol. 16, nr. 1/2019

[9] Holtz, R. D., Kovacs, W. D., Sheahan, T.C., *An introduction to geotechnical engineering*, Prentice Hall, 2010.

[10] Richart, F.E., Hall, J.R., Woods, R.D., *Vibrations of soils and foundations*, Newmark, N.M., W.J. Hall, 414 pagini, 1970.

[11] Polidor Bratu “*Analysis of the dynamic regime of forced vibrations in the dynamic compacting process with vibrating rollers* „ - ACTA NAPOCENSIS – Applied Mathematics, mechanics and engineering, vol. 61, nr. 1 (2018).

[12] Dobrescu C. F., Brăguța E. , *Optimization of Vibro-Compaction Technological Process Considering Rheological Properties Acoustics and and Vibration of Mechanical Structures AVMS-2017*, Proceedings of the 14 AVMS Conference, Timisoara, Romania, ISBN 978-3-319-69822-9, ISSN 0930-8989.

[13] Dobrescu C. F., Brăguța E., *Evaluation of strength and deformation parameters of soil based on laboratory tests*, Multi-Conference on Systems&Structures (SysStruc 17) din Universitatea Eftimie Murgu din Resita 9-11 noiembrie 2017.