

ZHUTŇOVANIE ČERSTVÉHO BETÓNU VIBRACIOU A FYZIKÁLNA INTERPRETÁCIA RÔZNYCH DRUHOV ZLOŽENÉHO KMITANIA

COMPACTING OF GREEN CONCRETE BY VIBRATION AND PHYSICAL INTERPRETATION OF VARIOUS TYPES COMPOSITE OSCILLATIONS

KAMIL ČVERHA

V príspevku sú uvedené výsledky experimentálnych meraní vibrovania čerstvého betónu o konzistenciách 10 až 40 s VeBe, a rôznych pomerov miešania frakcií kameniva a vplyv zmeny zrýchlenia vibrácie na objemovú hmotnosť zatvrdnutého betónu. Čerstvý betón pozostával len z dvoch frakcií kameniva, ktoré sa menili vo vzájomnom pomere a taktiež sa menila jeho konzistencia. Bolo vytvorených 16 rôznych receptúr, z každej receptúry bolo vytvorených 5 kociek, ktoré sa líšili vo vyššie uvedených aspektoch. Sledoval sa vplyv zmeny zrýchlenia vibrácie čerstvého betónu na objemovú hmotnosť zatvrdnutého betónu.

This paper deals with results of experimental measurements of vibration of green concrete with consistency from 10 to 40s VeBe, and various rates of fractions of gravel aggregates, influence of the change of acceleration on the volumetric weight of hardened concrete. Green concrete consisted only of two fractions of gravel aggregates, which changed at a reciprocal rate; also its consistency changed. In all, 16 prescriptions were prepared; from each prescription five cubes were made, differing in the aspects mentioned above. The influence of change of acceleration of vibration on the volumetric weight of hardened concrete was monitored.

Objemová hmotnosť predstavuje hmotnosť objemovej jednotky látky pričom sa do objemu započítava aj objem dutín a pórov. Čerstvý betón sa pôsobením vibrácie dostáva do polotekutého stavu, pri ktorom sa snažia častice zmesi čerstvého betónu vplyvom pôsobenia tiažového a vibračného zrýchlenia zaujať čo najstabilnejšiu polohu. Tým sa tuhosť čerstvého betónu postupne zväčšuje a pri prerušení vibrácie sa stáva skoro tuhú látkou. Čím väčšia je hutnosť čerstvého betónu, tým menej môžu kmitať jeho častice jednotlivo a bližšie sa ku stavu, keď zhutňovaný objem kmitá ako celok.

FYZIKÁLNA INTERPRETÁCIA RÔZNYCH DRUHOV ZLOŽENÉHO KMITANIA

Vznik zložených kmitov

Uvažujme kmitavé pohyby hmotného bodu, pre ktoré platí princíp superpozície. Jednotlivé kmitavé pohyby koná hmotný bod súčasne, dej sa nezávisle na sebe, takže výsledný kmitavý pohyb hmotného bodu je daný ich zložením (superpozíciou).

Ak koná hmotný bod súčasne niekoľko kmitavých pohybov, je výchylka jeho kmitavého pohybu rovná vektorovému súčtu výchylek dielčích kmitavých pohybov.

Ak pôsobí na hmotný bod súčasne n budiacich síl, je výsledná výchylka \vec{u} bodu z jeho rovnovážnej polohy rovná

$$\vec{u} = \sum_{k=1}^n \vec{u}_k, \quad (1)$$

kde \vec{u}_k je výchylka hmotného bodu, ktorú spôsobila sila \vec{F}_k , $k = 1, \dots, n$, ak by pôsobila iba sama. Ak majú všetky kmity rovnaký smer (prebiehajú v jednej priamke) je výsledná výchylka u rovná

$$u = \sum_{k=1}^n u_k. \quad (2)$$

Veľmi dôležitým prípadom je skladanie harmonických kmitov rovnakého alebo rôzneho smeru.

Skladanie rovnako smerných kmitov rovnakej uhlovej frekvencie

Uvažujme, že hmotný bod koná v priamke súčasne dva harmonické kmitavé pohyby vyjadrené vzťahmi

$$u_1 = u_{m1} \sin(\omega t + \varphi_{01}) \quad (3)$$

$$u_2 = u_{m2} \sin(\omega t + \varphi_{02}) \quad (4)$$

Amplitúdy výchylek u_{m1} , u_{m2} aj počiatočné fázy φ_{01} , φ_{02} sú obecné rôzne, uhlové frekvencie oboch kmitavých pohybov sú rovnaké.

Výchylka výsledného kmitavého pohybu je rovná algebrickému súčtu výchylek u_1 a u_2 dielčích kmitavých pohybov teda

$$u = u_1 + u_2 = u_{m1} \sin(\omega t + \varphi_{01}) + u_{m2} \sin(\omega t + \varphi_{02}) \quad (5)$$

Úpravou pravej strany tejto rovnice dostaneme

$$\begin{aligned} u &= u_{m1} (\sin \omega t \cos \varphi_{01} + \cos \omega t \sin \varphi_{01}) + \\ &+ u_{m2} (\sin \omega t \cos \varphi_{02} + \cos \omega t \sin \varphi_{02}) = \\ &= u_m \sin \omega t \cos \varphi_0 + u_m \cos \omega t \sin \varphi_0 = u_m \sin(\omega t + \varphi_0) \end{aligned} \quad (6)$$

So zavedenou substitúciou

$$u_m \cos \varphi_0 = u_{m1} \cos \varphi_{01} + u_{m2} \cos \varphi_{02} \quad (7)$$

$$u_m \sin \varphi_0 = u_{m1} \sin \varphi_{01} + u_{m2} \sin \varphi_{02} \quad (8)$$

Veľičina u_m je amplitúdou výchylky výsledného kmitavého pohybu, ktorý je taktiež harmonický s rovnakou uhlovou frekvenciou ako skladané kmity a φ_0 je počiatočná fáza výsledného kmitavého pohybu.

Veľičiny u_m a φ_0 závisia na amplitúdach výchylek a na začiatkových fázach dielčích kmitov. Ich hodnoty určíme z rovníc (7) a (8)

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{u_{m1} \sin \varphi_{01} + u_{m2} \sin \varphi_{02}}{u_{m1} \cos \varphi_{01} + u_{m2} \cos \varphi_{02}} \quad (9)$$

Umocnením rovníc (7) a (8) a ich spočítaním získame vzťah pre výpočet amplitúdy výslednej výchylky u_m

$$u_m = \sqrt{u_{m1}^2 + u_{m2}^2 + 2u_{m1}u_{m2} \cos(\varphi_{02} - \varphi_{01})} \quad (10)$$

Z toho vzťahu vyplýva, že u_m je maximálne a rovné $u_{m1} + u_{m2}$, ak je $\cos(\varphi_{02} - \varphi_{01}) = 1$. Teda pre $\varphi_{02} - \varphi_{01} = 2\pi k$, kde k je celé číslo. Zložky u_1 a u_2 sú vo fáze. Naopak u_m je minimálne a rovné $|u_{m1} - u_{m2}|$, ak $\varphi_{02} - \varphi_{01} = (2k + 1)\pi$. Zložky u_1 a u_2 majú opačnú fázu.

Skladanie harmonických kmitov možno výhodne prevádzkať pomocou rotujúcich vektorov \vec{u}_{m1} a \vec{u}_{m2} , ktoré zakreslíme v rovine x, y v čase $t = 0$ (obr. 1).

Zložením vektorov \vec{u}_{m1} a \vec{u}_{m2} , ktorých veľkosti sa rovnajú amplitúdam výchyliek u_{m1} a u_{m2} , dostaneme výsledný vektor \vec{u}_m .

Veľkosť tohto vektoru u_m získame výpočtom podľa kosínusovej vety v tvare (10). Vzťah (9) pre výpočet počiatkovej fázy výsledného kmitania φ_0 môžeme jednoducho odvodiť z vyššie uvedeného obrázka.

Skladanie rovnako smerných harmonických kmitov rôznych frekvencií

Predpokladajme, že zložené kmity sú harmonickými kmitmi s uhlovými frekvenciami $\omega_1 \neq \omega_2$ a výchylkami

$$u_1 = u_{m1} \sin(\omega t + \varphi_{01}) \quad (11)$$

$$u_2 = u_{m2} \sin(\omega t + \varphi_{02}) \quad (12)$$

Výchylku u týchto kmitov dostaneme superpozíciou týchto dielčích kmitov teda

$$u = u_1 + u_2 = u_{m1} \sin(\omega t + \varphi_{01}) + u_{m2} \sin(\omega t + \varphi_{02}) \quad (13)$$

Tento vzťah už nemožno upraviť tak, aby sme dostali výslednú výchylku ako harmonickú funkciu času. Je možné, aby pri splnení určitej podmienky boli výsledné kmity periodické s periódou T . Periodická funkcia času u podľa (13) musí spĺňať pre ľubovoľný čas t podmienku $u(t) = u(t + T)$, preto

$$u(t) = u_{m1} \sin[\omega_1(t + T) + \varphi_{01}] + u_{m2} \sin[\omega_2(t + T) + \varphi_{02}] \quad (14)$$

Súčasne platí

$$\omega_1 T = 2\pi n_1, \quad (15)$$

$$\omega_2 T = 2\pi n_2, \quad (16)$$

kde n_1, n_2 sú celé čísla.

Z týchto vzťahov vyplýva podmienka pre periodicitu výslednej funkcie u

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{f_1}{f_2} = \frac{T_2}{T_1}, \quad (17)$$

alebo

$$T = n_1 T_1 = n_2 T_2, \quad (18)$$

kde f_1, f_2 a T_1, T_2 sú frekvencie a periody dielčích kmitov. Perióda T výsledných kmitov sa rovná najmenšiemu spoločnému násobku dób kmitov T_1 a T_2 . Výsledné kmitanie bude teda periodické, ak budú uhlové frekvencie dielčích kmitov v pomere celých čísel.

Časový priebeh výchylky výsledného kmitavého pohybu pre dva dielčie harmonické kmity s pomerom frekvencií je $f_1/f_2 = 3/2$ (obr. 2).

Skladanie rovnako smerných kmitov blízkyh frekvencií

Položme amplitúdy výchyliek obidvoch zložených harmonických kmitov $u_{m1} = u_{m2} = u_m$.

Potom podľa vzťahu (13) bude výsledný kmitavý pohyb popísaný funkciou

$$u = u_m [\sin(\omega_1 t + \varphi_{01}) + \sin(\omega_2 t + \varphi_{02})]. \quad (19)$$

Ak použijeme vzťah

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \cos \frac{\alpha - \beta}{2} \sin \frac{\alpha + \beta}{2},$$

dostávame

$$u = 2u_m \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}t + \frac{\varphi_{01} - \varphi_{02}}{2}\right) \sin\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}t + \frac{\varphi_{01} + \varphi_{02}}{2}\right). \quad (20)$$

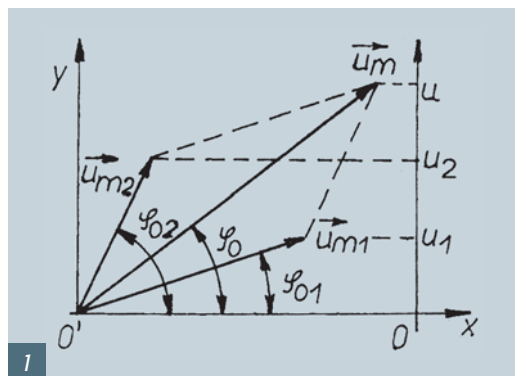
Príklad časovej závislosti výslednej výchylky pre $\varphi_{01} = \varphi_{02} = \frac{\pi}{2}$ je uvedený na obrázku 3.

Výsledné kmity majú teda uhlovú frekvenciu $\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$ a časovo premennú amplitúdu, danú pre blízke uhlové frekvencie ω_1 a ω_2 .

Pomaly sa meniacia funkcia $\varphi_{01} = \varphi_{02} = \frac{\pi}{2}$, ktorej perióda rastie zo znižovaním rozdielu frekvencie dielčích kmitov. Takéto kmity sa nazývajú rázy.

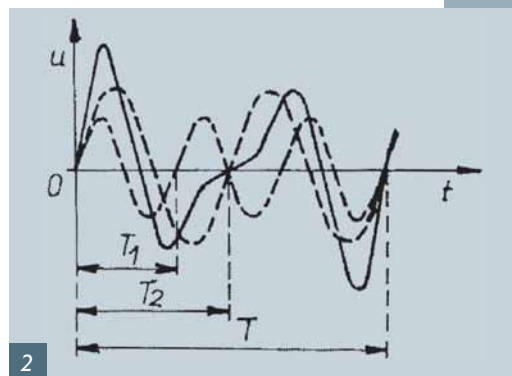
Jedná sa o akustické harmonické kmity, ktoré budia v sluchu zvukový vnem, potom je intenzita zvuku úmerná štvorcovej amplitúdy akustických kmitov.

Počujeme teda výsledný tón, ktorého intenzita kolíše s frekvenciou f_r , ktorá sa rovná dvojnásobku frekvencie kosínusovej

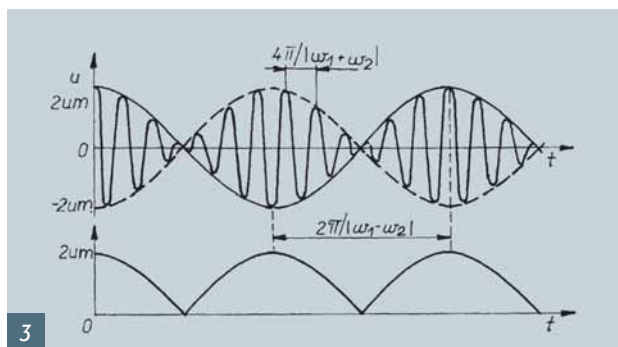


Obr. 1 Použitie metódy rotujúcich vektorov pre zloženie harmonických kmitov

Fig. 1 Applying the method of spinning vectors for the composition of harmonic oscillations



Obr. 2 Skladanie kmitov
Fig. 2 Assembling of oscillations



funkcie, určujúcej časovo premennú amplitúdu výsledného kmitania, teda

$$2\pi f_r = 2 \frac{|\omega_1 - \omega_2|}{2} = 2\pi |f_1 - f_2| \quad (21)$$

Frekvencie rázov sa teda rovnajú absolútnej hodnote rozdielu frekvencií dielčích kmitov.

Skladanie vzájomne kolmých harmonických kmitov rovnakej uhlovej frekvencie

Kmitavý pohyb hmotného bodu, ktorý vznikne zložením dvoch harmonických kmitavých pohybov rovnakej uhlovej frekvencie, ktoré prebiehajú v navzájom dvoch kolmých osiach u_x a u_y so začiatkom totožným s rovnovážnou polohou hmotného bodu (obr. 4).

Pre okamžité výchylky hmotného bodu (súradnice) u_x a u_y v smere príslušných osí platí

$$u_x = u_{mx} \sin(\omega t + \varphi_{0x}), \quad (22)$$

$$u_y = u_{my} \sin(\omega t + \varphi_{0y}) = u_{my} \sin(\omega t + \varphi_{0x} + \varphi_0), \quad (23)$$

kde $\varphi_0 = \varphi_{0y} - \varphi_{0x}$.

Ak prebiehajú obidva kmitavé pohyby súčasne, pohybuje sa hmotný bod po trajektórii určenej parametrickými rovnicami (22) a (23).

Rovnicu trajektórie dostaneme, ak vylúčime z týchto rovníc čas t . Zo vzťahu (22) vyjadríme

$$\frac{u_x}{u_y} = \sin(\omega t + \varphi_{0x}). \quad (24)$$

Zo vzťahu (23) dostaneme výraz

$$\frac{u_y}{u_{my}} = \sin(\omega t + \varphi_{0x}) \cos \varphi_0 + \cos(\omega t + \varphi_{0x}) \sin \varphi_0. \quad (25)$$

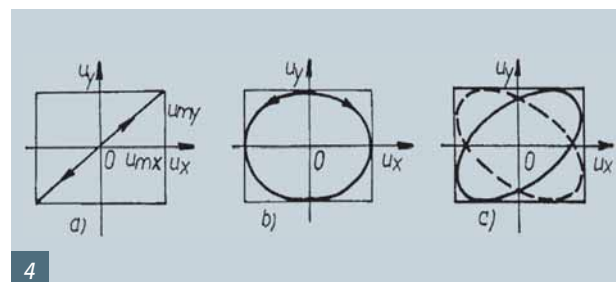
Úpravou vzťahu (25) s ohľadom na vzťah (24) dostaneme výraz

$$\frac{u_y}{u_{my}} = \frac{u_x}{u_{mx}} \cos \varphi_0 + \sqrt{1 - \left(\frac{u_x}{u_{mx}}\right)^2} \sin \varphi_0, \quad (26)$$

$$\left(\frac{u_x}{u_{mx}}\right)^2 - 2 \frac{u_x u_y}{u_{mx} u_{my}} \cos \varphi_0 + \left(\frac{u_y}{u_{my}}\right)^2 = \sin^2 \varphi_0, \quad (27)$$

čo predstavuje rovnicu elipsy. Orientácia a veľkosť jej polosí závisí na amplitúdach u_{mx} a u_{my} a rozdieli počiatočnej fázy. Ak chceme určiť tvar trajektórie pre vybrané prípady φ_0

1. $\varphi_0 = 0 \pm 2\pi, \pm 4\pi, \dots$ trajektóriou je priamka s rovnicou



Obr. 3 Vznik rázov
Fig. 3 Formation of shocks

Obr. 4 Skladanie kolmých harmonických kmitov rovnakej uhlovej frekvencie

Fig. 4 Assembling of perpendicular harmonic oscillations with the same angular frequency

$$u_y = \frac{u_{my}}{u_{mx}} u_x. \quad (28)$$

Výsledný kmitavý pohyb je teda harmonický s uhlovou frekvenciou ω , ktorý prebieha v priamke danej rovnice (28) s amplitúdou výchylky $\sqrt{u_{mx}^2 + u_{my}^2}$ (obr. 4a).

2. $\varphi_0 = \pm\pi, \pm 3\pi, \pm 5\pi, \dots$ z rovnice (27) zistíme, že výsledkom je znovu harmonický pohyb po priamke daný rovnicou

$$u_y = -\frac{u_{my}}{u_{mx}} u_x. \quad (29)$$

3. $\varphi_0 = \pm \frac{\pi}{2}, \pm \frac{3}{2}\pi, \pm \frac{5}{2}\pi$. V tomto prípade prejde rovnicu (27) na rovnicu elipsy v kanonickom tvare

$$\left(\frac{u_x}{u_{mx}}\right)^2 + \left(\frac{u_y}{u_{my}}\right)^2 = 1. \quad (30)$$

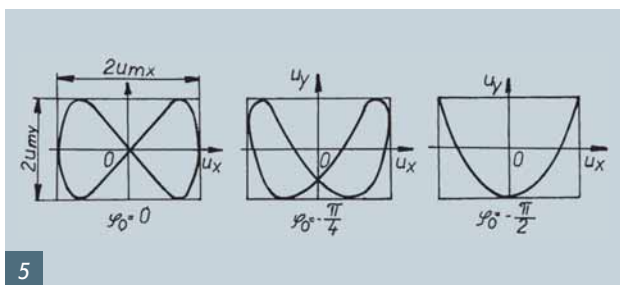
Rovnica elipsy sa pri rovnosti amplitúd výchyliek $u_{mx} = u_{my}$ zmení na kružnicu (obr. 4b).

4. V ostatných prípadoch veľkosti rozdielu počiatočnej fázy φ_0 je trajektóriou elipsa podobná niektorej krivke na (obr. 4c).

Skladanie vzájomne kolmých harmonických kmitov s rôznymi uhlovými frekvenciami

Výsledkom zloženia dvoch kolmých kmitaní s rôznymi uhlovými frekvenciami je zložený kmitavý pohyb. Rozlišujeme dva prípady:

- Pomer kmitočtov dielčích kmitov nie je racionálnym číslom. V tomto prípade nie je trajektóriou kmitajúceho hmotného bodu uzavretá krivka, pretože výsledné kmitanie nie je periodické. Keď sa hmotný bod vráti do bodu, ktorým už skôr prešiel, nemá v obidvoch prípadoch rovnaký vektor rýchlosti. Trajektóriou je krivka, ktorá vyplňuje plochu obdĺžnika určenou bodmi $u_x \in \langle -u_{mx}, u_{mx} \rangle$, $u_y \in \langle -u_{my}, u_{my} \rangle$, v súradnicovej rovine zadanej navzájom kolmými osami u_x a u_y , kde u_{mx} a u_{my} sú amplitúdy výchyliek dielčích kmitov.
- Ak sa dá vyjadriť pomer kmitočtov dielčích kmitov pomerom celých čísel, je výsledné kmitanie periodické. Trajektóriou výsledného kmitavého pohybu hmotného bodu je potom



5

Obr. 7 Závislost medzi frekvenciou a zrýchlením vibrácií na plnej forme

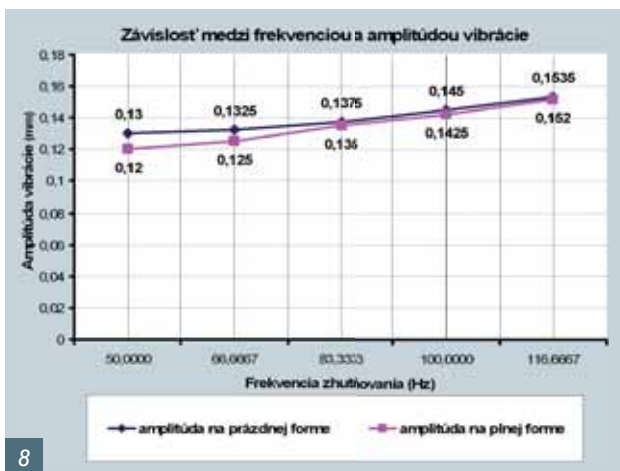
Fig. 7 Dependence between frequency and acceleration of vibration on the filled form

Obr. 8 Závislost medzi frekvenciou a amplitúdou vibrácie

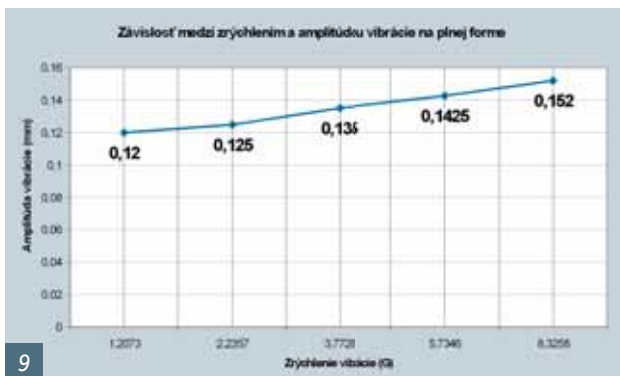
Fig. 8 Dependence between frequency and amplitude of vibration



7



8



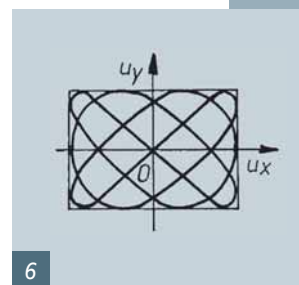
9

Obr. 5 Lisajousové krivky pre pomer frekvencií 1 : 2

Fig. 5 Lissajous's curves for rates of frequency 1 : 2

Obr. 6 Lisajousová krivka pre pomer frekvencií 3 : 4

Fig. 6 Lissajous's curve for rates of frequency 3 : 4



6

Obr. 9 Závislost medzi zrýchlením a amplitúdou vibrácie na plnej forme

Fig. 9 Dependence between acceleration and amplitude of vibration onto filled form

Otáčky elekt. [ot./min]	Frekvencia vibrovania [Hz]	Amplitúda na prázdnej forme [mm]	Amplitúda na plnej forme [mm]	Zrýchlenie na plnej forme [G]
3000	50	0,13	0,12	1,2073
4000	66,667	0,1325	0,125	2,2357
5000	83,333	0,1375	0,135	3,7728
6000	100	0,145	0,1425	5,7346
7000	116,667	0,1535	0,152	8,3258

Tab. 1 Hodnoty frekvencií, amplitúd a zrýchlení pri otáčkach elektromotora vibračného stola

Tab. 1 Values of frequency, amplitudes and accelerations at the revolutions of the electric motor of the vibrating table

RSTAB

Program pro výpočet rovinných i prostorových prutových konstrukcí

RFEM

Program pro výpočet konstrukcí metodou konečných prvků

Navrhování podle nových evropských norem

Demoverse zdarma ke stažení

www.dlupal.cz

- Řada přídatných modulů
- Rozsáhlá knihovna profilů
- Snadné intuitivní ovládání
- 6 500 zákazníků ve světě
- Nová verze v českém jazyce
- Zákaznické služby v Praze

Ing. Software Dlubal

Ing. Software Dlubal s.r.o.
Anglická 28, 120 00 Praha 2
Tel.: +420 222 518 568
Fax: +420 222 519 218
E-mail: info@dlupal.cz

Statika, která Vás bude bavit ...

Číslo recept.	Konzistencia VeBe [s]	Pomery frakcií kameniva (0-4) / (8-16) [%]	Vodný súčiniteľ $w = V/C$ [-]	Zloženie receptúr			
				frakcia 0-4 [kg/m ³]	frakcia 8-15 [kg/m ³]	voda [kg/m ³]	cement [kg/m ³]
1	10	40 / 60	0,49	759	1311	156	320
2	20	40 / 60	0,45	771	1332	144	320
3	30	40 / 60	0,42	781	1350	134	320
4	40	40 / 60	0,39	789	1364	126	320
5	10	50 / 50	0,51	939	1082	136	320
6	20	50 / 50	0,47	955	1100	151	320
7	30	50 / 50	0,45	965	1112	143	320
8	40	50 / 50	0,42	976	1125	134	320
9	10	60 / 40	0,53	1115	856	171	320
10	20	60 / 40	0,51	1129	567	162	320
11	30	60 / 40	0,48	1144	879	152	320
12	40	60 / 40	0,44	1162	893	140	320
13	10	70 / 30	0,55	1290	637	177	320
14	20	70 / 30	0,52	1310	647	166	320
15	30	70 / 30	0,49	1326	655	157	320
16	40	70 / 30	0,46	1342	663	148	320

Tab. 2 Zloženie receptúr

Tab. 2 Composition of prescriptions

uzavretá krivka, tzv. Lisajousová krivka. Na obr. 5 je uvedený tvar Lisajousových kriviek pri skladaní kmitov, ktoré sú dané vzťahmi

$$u_x = u_{mx} \sin \omega t, \quad (31)$$

$$u_y = u_{my} \sin(2\omega t + \varphi_0), \quad (32)$$

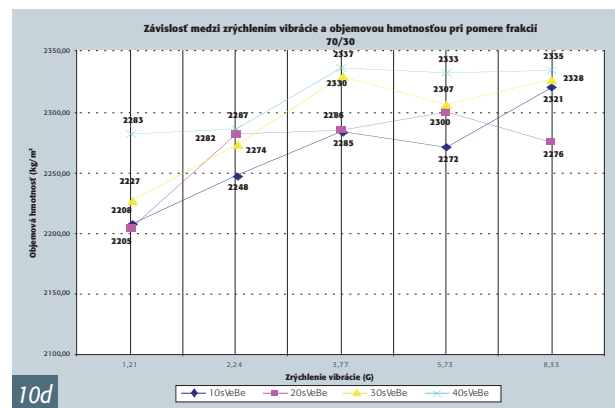
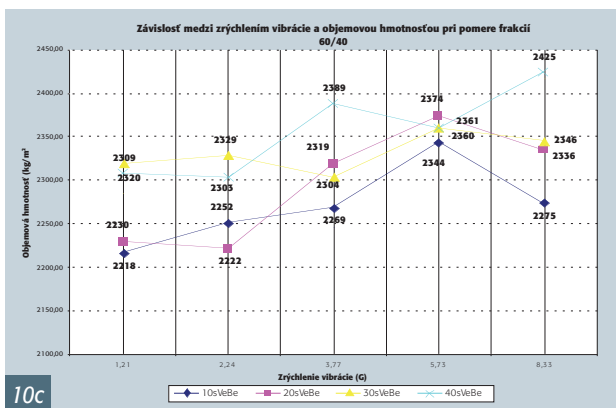
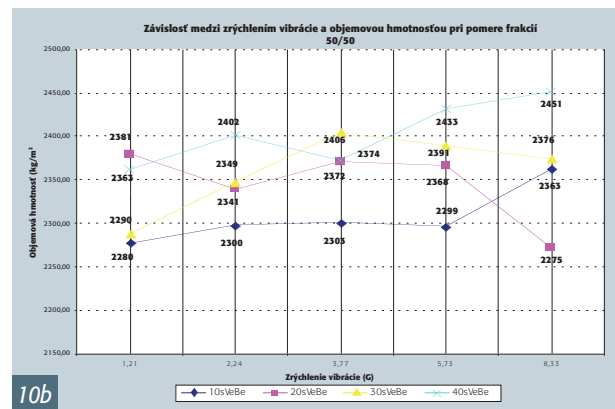
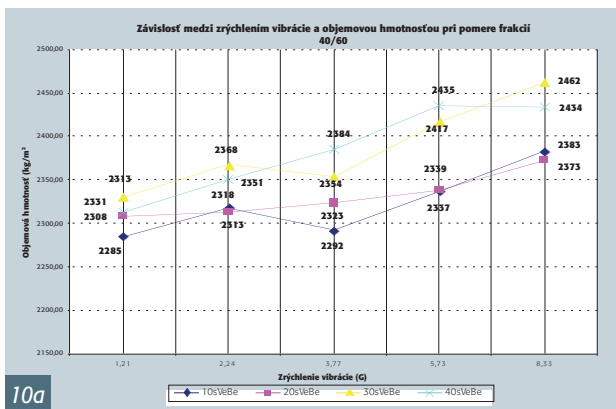
pre $\varphi_0 = 0, \varphi_0 = -\frac{\pi}{4}, \varphi_0 = -\frac{\pi}{2}$.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

V rámci experimentálnych prác bol skúmaný vplyv zmeny zrýchlenia vibrovania na objemovú hmotnosť zatvrdnutého betónu rôznej konzistencie a zrnitosti.

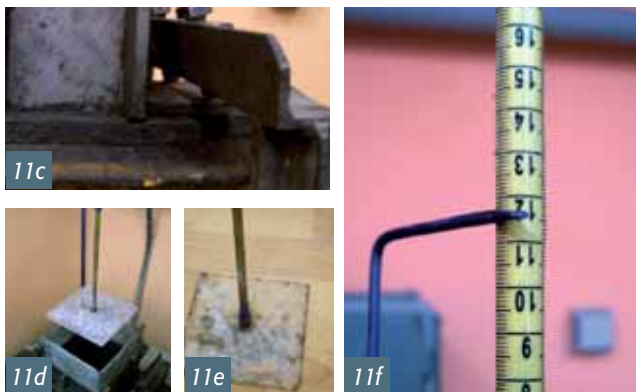
Tastografom boli namerané amplitúdy vibrácie vibračného stola pri jednotlivých frekvenciách a z amplitúd boli vypočítané hodnoty zrýchlenia vibrácie.

Tieto merania boli uskutočnené na prázdnych a plných formách skúšobných kociek. Je zrejme, že hodnoty vyšších ampli-





Obr. 10 Závislosť medzi zrýchlením a objemovou hmotnosťou zatvrdnutého betónu pri pomere frakcií kameniva: a) 40/60, b) 50/50, c) 60/40, d) 70/30
Fig. 10 Dependence between acceleration and the volume weight of hardened concrete at the rate of the fractions of gravel aggregates: a) 40/60, b) 50/50, c) 60/40, d) 70/30



Obr. 11 Vibračný stôl a jeho detaily a), b), c), d), e), f)
Fig. 11 Vibration plate and its details a), b), c), d), e), f)

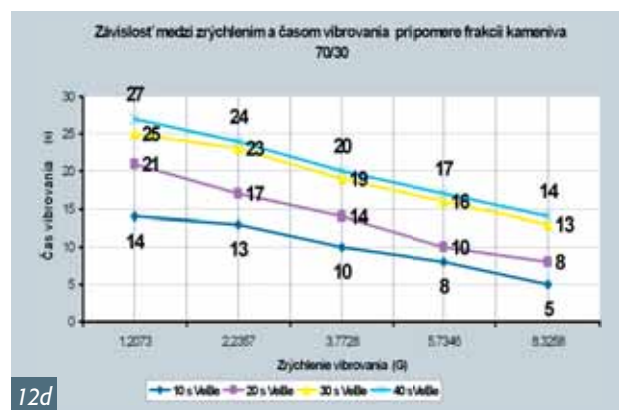
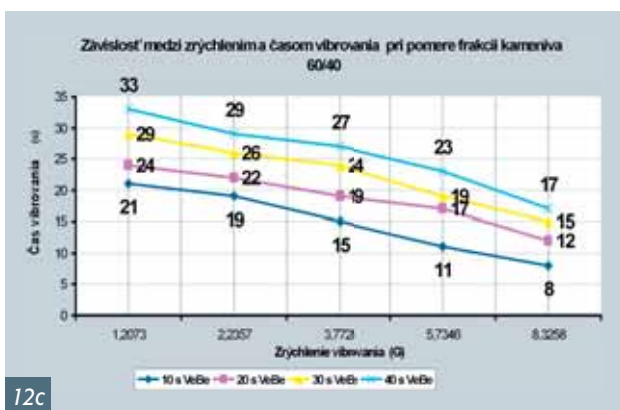
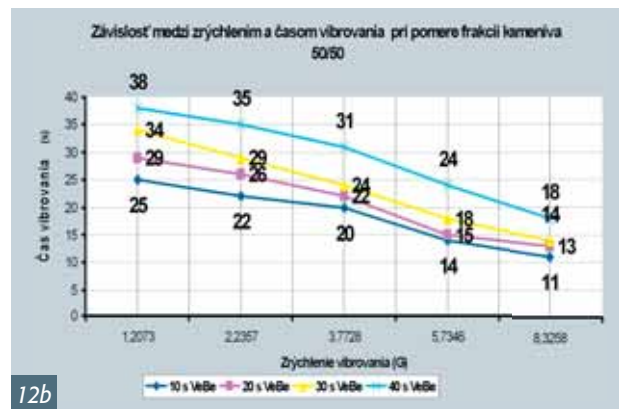
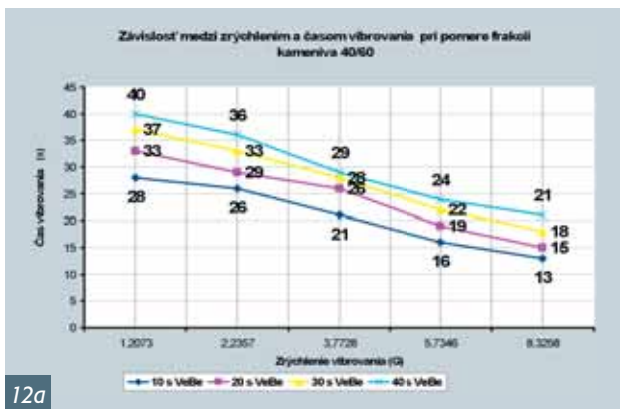
Obr. 12 Závislosť medzi zrýchlením vibrácie a časom vibrovania pri pomere frakcií kameniva: a) 40/60, b) 50/50, c) 60/40, d) 70/30
Fig. 12 Dependence between acceleration and time of vibration at the rate of fractions of gravel aggregate: a) 40/60, b) 50/50, c) 60/40, d) 70/30

túd, čiže aj vyššie zrýchlenia vibrácie, boli dosiahnuté na prázdnych formách. Pri plných formách vzhľadom na to, že hmotnosť formy kociek spolu s hmotnosťou čerstvého betónu je o mnoho vyššia ako hmotnosť samotnej formy, tak hodnoty amplitúd vibrácie a teda aj zrýchlenia vibrácie boli nižšie.

Bolo vytvorených 16 receptúr, každá receptúra pozostávala z konštantného množstva cementu, dvoch frakcií kameniva, ktorých pomery sa menili, množstvo pridanej vody záviselo od konzistencie čerstvého betónu. Z každej receptúry bola

vytvorená séria piatich kociek, ktoré sa zhutňovali vibráciou pri rôznych frekvenciách. Celkovo bolo týmto spôsobom skúmaných 80 kociek.

Zhutňovanie prebiehalo na vibračnom stole s plynulou reguláciou zrýchlenia vibrácie od 1,207 do 8,325G, pri nemeniacej sa polohe vývažkov. Z každej receptúry bolo vyhotovených päť kociek, ktoré sa zhutňovali pri frekvenciách: 50; 66,7; 83,33; 100 a 116,7 Hz.



Literatúra:

- [1] Čverha K.: Vibrovania a pôsobenie vibrácie na čerstvý betón, In.: Zb. VIII. ved. konf. Stav. f. TU v Košiciach, Košice, 2007, ISBN 978-80-8073-792-4
- [2] Čverha K., Hela R.: Vplyv zmeny konzistencie a zrnitosti kameniva na čas zhutňovania čerstvého betónu vibráciou, In: CON-STRUMAT 2007, Sb. 13. mezinár. konf., Ostrava, VŠB, 2007, ISBN 978-80-248-1536-7
- [3] Čverha K., Ďurica T.: Vplyv zmeny frekvencie vibrovania na rýchlosť sadania zmesi čerstvého betónu. In: Prefabrikace a betonové dílce 2007, Pardubice, ČBS ČSSI a ČBS Servis, 2007, pp. 148–153, ISBN 978-80-903807-9-0
- [4] Čverha K., Hela R.: Zmena zrýchlenia ako aspekt ovplyvňujúci čas zhutňovania čerstvého betónu rôznej konzistencie a zrnitosti kameniva. In: Betón 2007, október 2007, Štrbské pleso, ISBN 978-80-8073-851-8
- [5] Čverha K., Ďurica T.: Rýchlosť sadania čerstvého betónu vo forme o rôznej konzistencie a zrnitosti kameniva pôsobením rôzneho zrýchlenia vibrácie. In: 14. Betonářské dny 2007, listopad 2007, Hradec Králové, Sb. příspěv., ČBS Servis, pp. 375–380, ISBN 978-80-87158-04-3
- [6] Čverha K., Ďurica T., Hela R.: Vplyv zmeny zrýchlenia vibrácie čerstvého betónu o rôznej konzistencii na objemovú hmotnosť zatvrdnutého betónu zloženého z rôznych pomerov miešania frakcií kameniva. In: Technologie betonu (2008), květen 2008, Praha, ČBS Servis, pp. 156–164, ISBN 978-80-87158-09-8
- [7] Čverha K.: Proces zhutňovania čerstvého betónu a dosiahnutie absorpčnej frekvencie zhutňovania, In: Stavebné hmoty, č. 3 (2007), s. 13–15, ISSN 1336-6041
- [8] Čverha K.: Rýchlosť zmeny polohy častíc v čerstvom betóne pri vibrácií, In: Stavebné hmoty, roč. 3, č. 4 (2007), s. 42–45, ISSN 1336-6041
- [9] Filouš J.: Technologie stavebních dílců I, Praha: SNTL, 1983
- [10] Hela R.: Technologie stavebních dílců, VUT Brno, 2001, ISBN 80-214-1991-1
- [11] Komloš K.: Reológia čerstvého betónu, VEDA: Bratislava, 1984
- [12] Říha J.: Technologie stavebních dílců – Technologické subsystémy, Praha: SNTL, 1982
- [13] Říha J.: Základy výroby stavebních dílců – Technologické subsystémy, Praha: SNTL, 1981
- [14] Stork J.: Teória skladby betónovej zmesi, Bratislava: SAV, 1964
- [15] Unčik S.: Technologija stavebných díelcov, Bratislava: STU, 1991

Vzťah medzi zrýchlením a frekvenciou vibrácie

$$a = A_0 \omega^2 = A_0 4\pi^2 f^2 \quad [\text{ms}^{-2}], \quad (33)$$

kde a je zrýchlenie vibrácie [ms^{-2}], A_0 okamžitá amplitúda [m], ω uhlová rýchlosť [rads^{-1}] a f frekvencia vibrácie [Hz].

Hodnoty zrýchlenia vibrácie v jednotkách [G] dostaneme predelením rovnice (33) gravitačnou konštantou $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$.

Zloženie receptúry

Pre betón bol použitý Cement I 42,5 R (Hranice) 320 kg/m^3 , ako jemné kamenivo frakcie 0–4 kopaný piesok, prany (Žabčice) objemové hmotnosti $2\,560 \text{ kg/m}^3$, ako hrubé kamenivo frakcie 8–16 amfibolit (Želešice) objemové hmotnosti $2\,950 \text{ kg/m}^3$ a voda.

Z tab. 2 je zrejmé, že zloženie všetkých 16 receptúr pozostávalo z dvoch frakcií kameniva, (0/4 a 8/16), ktoré sa menili vo vzájomnom pomere, taktiež sa menila konzistencia. Z každej receptúry bolo vyhotovených päť kociek, ktoré sa zhutňovali pri frekvenciách 50; 66,7; 83,33; 100 a 116,7 Hz, čo zodpovedalo zrýchleniam vibrácie 1,2073; 2,2357; 3,7728; 5,7346 a 8,3258 G. Celkovo bolo vyhotovených 80 kociek, na ktorých sa sledovala zmena objemovej hmotnosti zatvrdnutého betónu pôsobením rôzneho zrýchlenia vibrácie.

ZÁVER

Pri dávkovaní zmesi čerstvého betónu do skúšobnej formy bol používaný nadstavec, ktorý zaručoval rovnaké množstvo nadávkovaného betónu, v rámci jednej receptúry sa hmotnosti kociek líšili len nepatrne.

Vplyv vibračného zrýchlenia na objemovú hmotnosť zatvrdnutého betónu v závislosti od času zhutňovania je zrejmý.

Pri receptúrach zo zastúpením pomerov frakcií kameniva 70/30 (70 % frakcie 0/4 a 30 % frakcie 8/16) so zreteľom na konzistenciu čerstvého betónu, sú pri uvedených časoch zhutňovania (obr. 12d) dosahované najnižšie hodnoty objemovej hmotnosti zatvrdnutého betónu (obr. 10d).

S narastajúcou dobou zhutňovania (obr. 12a až d), ktorá je zrejmá pri zvyšujúcom zastúpení frakcie 8/16 s ohľadom na konzistenciu, majú hodnoty objemovej hmotnosti mierne zvyšujúcu tendenciu (obr. 10a až d).

Zo zmenšujúcou sa dobou zhutňovania, ktorá sa dosahuje pri zmesi čerstvého betónu s vyšším zastúpením frakcie 0/4 dosahujú hodnoty objemovej hmotnosti zatvrdnutého betónu nižšie hodnoty.

Text článku byl posouzen odborným lektorem.

*Ing. Kamil Čverha, EUR ING
 Stavebná fakulta Žilinskej univerzity
 Komenského 52, 010 01 Žilina
 Slovenská republika
 e-mail: kamil.cverha@zoznam.sk*

K ČLÁNKU BEZSPARÉ DODATEČNĚ PŘEDPÍNANÉ BETONOVÉ PODLAHY, BETON TKS 6/2008

Článek neinformuje o standardech, kterým návrh podlahy hangáru Mošnov vyhovuje, tj. jakým způsobem je do průkazu odolnosti konstrukce uvažována geometrie konstrukce, smršťování, teplota, předpětí, zatížení a geologie podloží. Informace, že objemové změny byly posuzovány Stavební fakultou ČVUT není vyčerpávající. Není také podána informace o návrhu betonové směsi.

Do podlahy hangáru Mošnov byla instalována předpínací výztuž v ceně 960 Kč/m² (materiál, montáž a předpětí), zatím co cena vyztužení srovnatelné podlahy vyztužené rozptýlenou výztuží je 225 Kč/m². Výhodnost řešení spočívá jen v jiné kvalitě, která musí být zaplácena a ne v láci, jak vyznívá z článku.

Ing Jaroslav Vácha