

Beramu materiālu vibropresēšanas procesa strukturālā identifikācija un optimizācijas kritēriji

Agrita Kovaļska, Rīgas Tehniskā universitāte

Kopsavilkums. Beramu materiālu vibropresēšanas procesa strukturālās identifikācijas un optimizācijas kritēriju noteikšanai tika veiktas vairākas eksperimentu sērijas, izmantojot *Instron* un *Zwick* testēšanas mašīnas. Tika formēti betona paraugi, izmantojot formēšanas vibropresēšanas procesu. Par beramu materiālu tika izvēlēta betona java ar nemainīgu konsistenci un ar zemu ūdenscimenta attiecību. Vibropresēšanas process tika identificēts ar sakarību $f = f_0 + f_A \sin(\omega t)$, kur f_0 – presēšanas spēks, f_A – spēka amplitūda un ω – vibrēšanas frekvence. Šie trīs parametri tika variēti ar mērķi optimizēt vibropresēšanas procesu paraugu veidošanā. Rezultāti analizēti ar *EDAOpt* programmatūru.

Atslēgas vārdi: identifikācija, kompaktēšana, optimizācija, vibropresēšanas process.

I. IEVADS

Vibropresēšanas procesu var raksturot kā materiāla pakļaušanu presēšanai un vibrāciju ietekmei vienlaicīgi. Vibropresēšanas procesu pielieto vairāku produktu formēšanas laikā. Reaktoplastu (termoreaktīvās plastmasas) ražošanā vibropresēšanas formēšana ļauj ietaupīt formēšanas laiku un palielināt reaktoplasta kvalitāti [1]. Aglomerātu ražošanā vibropresēšanas tehnoloģijas pielietošanas rezultātā tiek iegūti materiāli, kuriem mikroporas un starpfракciju tukšumi ir pilnībā likvidēti [2]. Vibropresēšanu pielieto breķešu ražošanā metalurģijā [3] un asfalta plākšņu ražošanā [1]. Vibropresēšanas tehniku plaši pielieto augstas izturības betona produktu – sienu bloku, bruģakmens, apmaļu – izstrādē, kā arī cita veida betona izstrādājumu ražošanā.

Vibropresēšanas process realizēts laboratorijas apstākļos, izmantojot *Zwick* un *Instron* testēšanas mašīnas. Par beramo materiālu, kas pakļauts vibropresēšanas formēšanai, izvēlēta betona java ar nemainīgu konsistenci un ar zemu ūdenscimenta attiecību (0,36), kas ieteicama augstas izturības betona produktu iegūšanai. Sagatavotā betona java ar masu 1 kg tika ievietota cilindriskā presformā ar diametru 8,4 cm.

Vibropresēšanas process identificēts ar sakarību:

$$f = f_0 + f_A \sin(\omega t), \quad (1)$$

kur f_0 – presēšanas spēks, f_A – spēka amplitūda un ω – vibrēšanas frekvence.

Pēc Latīņu hiperkuba metodes tika izstrādāts un realizēts eksperimentu plāns, variējot trīs iepriekšminētos mainīgos parametrus. Reģistrētie dati tika apkopoti un analizēti, un par to darbā izklāstīts plašāk.

Iegūtie paraugi tika sagrauti pēc 28 dienām, un to izturības robežas tika reģistrētas. Daļa no eksperimentiem tika veikta „TMB elements” laboratorijas telpās. Sākumā visi paraugi tika rūpīgi nosvērti un nomērīti, pēc tam tika meklētas sakarības

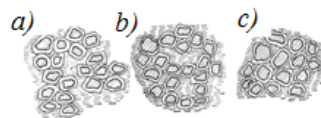
starp uzdotajiem un iegūtajiem lielumiem ar *EDAOpt* programmatūras palīdzību. Respektīvi, tika meklētas tās mainīgo parametru vērtības, kurām atbilst visaugstākā paraugu kvalitāte, un kā katrs no mainīgajiem uzdotajiem parametriem iespaido gatavo produkciju.

II. BERAMU MATERIĀLU KOMPAKTĒŠANA

Beramo materiālu, kuru sastāvā ir dažāda izmēra sīkas daļiņas jeb granulas, efektīvas kompaktēšanas galvenais uzdevums ir panākt, lai materiālam būtu pēc iespējas lielāks blīvums, t.i., lai attālumi starp daļiņām būtu pēc iespējas mazāki. Porās un starp granulām atrodas gaiss.

Pētāmā betona javas sastāvā ietilpst smiltis (ar frakciju 0,3–12 mm), cements un ūdens, turklāt ūdens un cementa attiecība ir ļoti zema – 0,36 –, kas ļauj pieņemt esošo materiālu par beramo. Kompaktēšanas jeb presēšanas pirmajā stadijā lielākās gaisa poras tiek pārvietotas iedarbības spēka virzienā, tādējādi gaiss tiek daļēji izvadīts no materiāla. Nākamo kompaktēšanas stadiju var raksturot ar plastisko deformāciju, proti, daļēju granulū formu izmaiņu un saskarsmes virsmu palielināšanu starp tām. Vienlaicīgi no granulām uz to saskarsmes virsmām tiek izspiests ūdens ar tajā izšķīdušajam cementa daļiņām, kā rezultātā saķere starp daļiņām palielinās. Toties materiālā var palikt saspīests gaiss, kas nespēj izspiesties ārā. Ja paraugu ar šādu gaisu izņem no presformas, tad, gaisam izplešoties, var notikt materiāla noslāņošanās, kas nav pieļaujams augstas izturības betona izstrādājumos [4] un [5].

Vibrēšanas procesa ietekmē no betona tiek izvadīts ieslēgtais gaiss, kā rezultātā betona java tiek sablīvēta vēl vairāk [6]. Aptuveno daļiņu izkārtojumu pirms un pēc sablīvēšanas var apskatīt 1. attēlā: *a* – betona javas granulometriskais attēls pirms presēšanas; *b* – betona javas granulometriskais attēls pēc presēšanas jeb formēšanas ar iespiesto gaisu; un *c* – granulometriskais attēls, ja gaiss ir izspiests ārā.

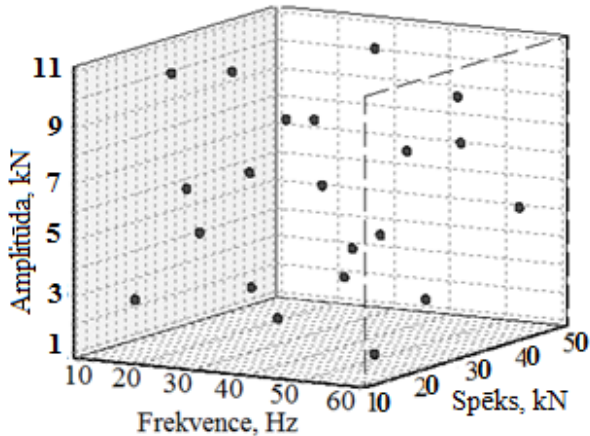


1. att. Beramā materiāla dažāda lieluma sastāvdaļu jeb graudu kompaktēšana [5].

Ar vibrēšanu ieteicams apstrādāt betona javu ar zemu ūdens konsistenci, kas ļauj ar mazāku cementa patēriņu iegūt augstas izturības betonu [6]. Apvienojot presēšanu ar vibrēšanu, daļiņas tiek mehāniski ierosinātas un reizē saplacinātas. Tātad gaisa ieslēgumi tiek izspiesti ārā, daļiņas tiek ciešāk saspīestas un līdz ar to palielinās to saķeres virsma, kas arī ir nepieciešams augstas izturības betona iegūšanai.

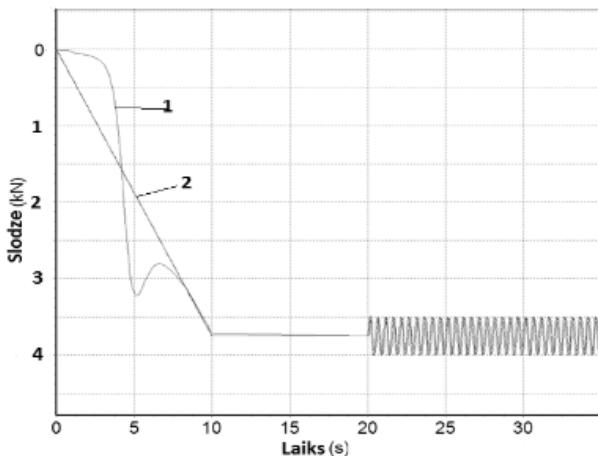
III. EKSPERIMENTU PLĀNS UN NORISE

Eksperimentu plāns tika sastādīts pēc Latīņu hiperkuba metodes [7] ar programmatūras *EDAOpt* palīdzību, ko var aplūkot 2. attēlā. Svārstību frekvence ω tika variēta intervālā no 10 Hz līdz 60 Hz, presēšanas spēka jeb pieliktās slodzes f_0 intervāls bija no 10 kN līdz 50 kN, un spēka amplitūdas f_A robežas – no 1 līdz 11 kN.



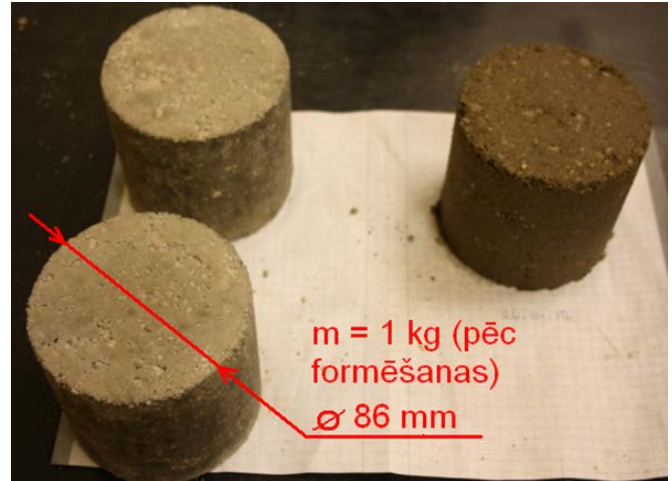
2. att. Eksperimentu plāns, sastādīts pēc Latīņu hiperkuba metodes.

Katrā punktā (2. attēlā) tiek veikti vismaz trīs mēģinājumi (eksperimenti), kas atbilst uzdotajiem parametriem; parametri neatkārtojas un pēc iespējas minimāli un vienmērīgi ir izkliedēti Latīņu hiperkuba telpā. Mainīgo parametru robežnosacījumus ietekmē betona javas formēšanas raksturīpašības un izmantoto testēšanas mašīnu iespējas.



3. att. Vibropresēšanas procesa vizuālizācija.

Vibropresēšanas process, ko raksturo sakarība (1), ir vizualizēts 3. attēlā. Ar *Instron* testēšanas mašīnas palīdzību tika konstruētas attēlā redzamās līknes. Vispirms parauga betona javu ar masu 1 kg cilindriskajā presformā noslogoja līdz uzdotajai slodzei f_0 , un pēc tam realizēja svārstību spēka amplitūdu ar noteiktu frekvenci $f_A \sin(\omega t)$. Grafikā redzama pieliktās slodzes izmaiņa laikā [8]. Līkne 2 attēlo uzdoto režīmu (1), bet līkne 1 – realizēto režīmu. Pirmajā posmā līknēm nav sakritības, un, iespējams, realizētā procesa līknes izliekumu var izskaidrot ar lielāko daļiņu sabrukšanu un primāro gaisa izspiešanu.

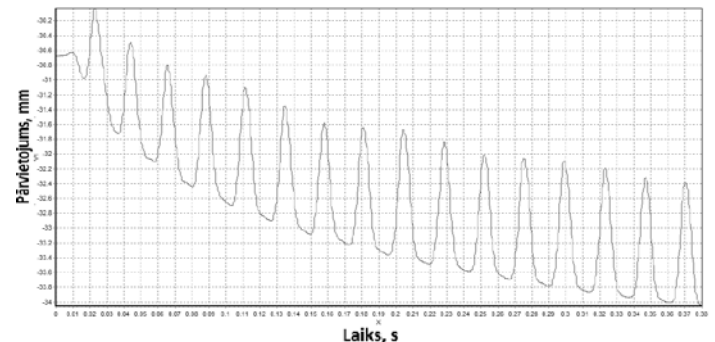


4. att. Betona paraugi.

Vibropresēšanas procesa rezultātā tika iegūti betona paraugi cilindriskajā presformā (skat. 4. att.). Pēc formēšanas katra parauga masa bija 1 kg un diametrs – 86 mm.

IV. VIBROPRESĒŠANAS PROCESA IDENTIFIKĀCIJA

Testēšanas mašīna *Zwick* vibropresēšanas procesu vizualizēja ar virzuļa pārvietojumu līkni jeb ar parauga formēšanas līkni (skat. 5. att.).

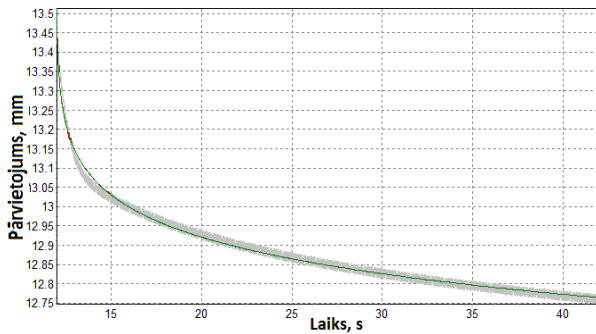


5. att. Parauga formēšanas līkne.

Pie uzdotās konstantās slodzes un slodzes amplitūdas, kas parādītas 3. attēlā, redzams, ka parauga kompaktēšana notiek praktiski ar katru periodu 5. attēlā redzamajā laika posmā – sākumā straujāk, un tad arvien mērenāk. Jo vairāk paraugs tiek saspiests, jo vairāk tas tiek sablīvēts. Parauga sablīvēšanas pakāpe norāda uz parauga turpmāko izturību [9]. Visefektīvākais vibropresēšanas pielietojums betona paraugu formēšanā ir tajā posmā, kad parauga kompaktēšana notiek visstraujāk, jo vibropresēšanas process prasa lielus enerģijas patēriņus.

Analizējot parauga kompaktēšanas līkni, tai tiek meklēta funkcija, kas varētu aproksimēt iegūtos rezultātus, balstoties uz mazāko kvadrātu metodi, ar mērķi aprakstīt vibropresēšanas procesa kompaktēšanas uzvedību.

Pilna parauga kompaktēšanas līkne ir parādīta 6. attēlā.



6. att. Parauga kopmaktēšanas līkne un aproksimētā līkne.

Šādu tipisku parauga formēšanas līkni ir izdevies diezgan precīzi aproksimēt ar funkciju:

$$x(t) = x_0 + R(t - t_0 + \Delta)^p, \quad (2)$$

kurai ir četri parametri – x_0 , R , Δ un p . Aproksimētās funkcijas līkni var apskatīt 6. attēlā. Raksturojot katru no parametriem, tiek iegūts, ka $x_0 = x(t_0)$, $\Delta = 0,02$, $p = 0,05$ (parametri ar konstantām vērtībām), bet parametru R var variēt, pielāgojot to kompaktēšanas līknei. Var secināt, ka tieši parametra R atkarība no trim sākumā uzdotajiem mainīgajiem vibropresēšanas procesa parametriem $R = f(f_0, f_A, \omega)$ ļauj analizēt un optimizēt vibropresēšanas procesu [2].

V. VIBROPRESĒŠANAS PROCESA OPTIMIZĀCIJAS KRITĒRIJI

Lai optimizētu vibropresēšanas procesu, tiek izvirzīti šādi kritēriji:

1) procesa ilgums, $(t, s) \rightarrow \min$;

Īsākā vibropresēšanas laikā testēšanas mašīna tiek izmantota lietderīgāk, jo vibropresēšanas procesu ir efektīvi pielietot parauga straujai kompaktēšanai.

2) patērētā enerģija, $(W, J) \rightarrow \min$;

Ja pie dažāda enerģijas patēriņa paraugu stiprība ir vienāda, tad noteikti jāizvēlas minimālā patērētā enerģija, kas nodrošina paraugu stiprību. Patērēto enerģiju ietekmē trīs parametri f_0 , f_A un ω , kas ievadīti procesa sākumā.

3) kompaktēšanas raksturlielums, $(h, mm) \rightarrow \min$;

Jo vairāk paraugs tiek saspiests, jo mazāks ir tā augstums h un jo lielāks ir parauga blīvums, kas noved pie lielākas parauga stiprības;

4) paraugu izturība pēc 28 dienām, $(P, kN) \rightarrow \max$;

Vibropresēšanas procesa realizācija ļauj paaugstināt paraugu stiprību, ja betona javas sastāvs paliek nemainīgs.

5) produkta izmaksas $(Ls) \rightarrow \min$.

Efektīvs vibropresēšanas procesa pielietojums ļauj ietaupīt enerģētiskos resursus un samazināt cementa daudzumu betona javas sastāvā, kas kopumā samazina produkta izmaksas.

VI. SECINĀJUMI

Iidentificēts vibropresēšanas process ar trim mainīgajiem parametriem, kas tika izmantoti eksperimentu plāna uzbūvē pēc Latiņu hiperkuba metodes, izmantojot *EDAOpt* programmatūru. Veikti betona vibropresēšanas formēšanas eksperimenti ar materiālu dinamiskās testēšanas iekārtām un noteikta paraugu stiprība. Beramais materiāls – betona java ar zemu ūdens-cementa attiecību – tika formēts cilindriskā tilpnē. Izstrādāti metamodeļi, kas raksturo kompaktēšanas procesa parametru atkarību no tehnoloģiskā procesa parametriem. Balstoties uz izvēlēto dinamiskā procesa raksturparametriem un ņemot vērā vibropresēšanas procesa īpašības un beramā materiāla (betona) sastāvu, tika noteikti multikriteriālās optimizācijas kritēriji, kuri tiks izmantoti vibropresēšanas procesa turpmākajā optimizācijā un analizē.

LITERATŪRAS SARAKSTS

1. Устройство вибропрессования термореактивных материалов. <http://kursknet.ru/~niki/plastic/yvr.htm>
2. Грант-Камень. http://www.grand-kamen.ru/catalog_aglo.php
3. История брикетирования. http://briket.ru/briket_his.shtml
4. Karasik, V. L., Uchitel, A. D., Vavilov, A. F., et. al. Basic parameters in vibropressing large dinas quartzite cement blocks, *Refractories and Industrial Ceramics*, 31, (11–12), 1990, p. 636–643.
5. Ахвердов, И. Н. Основы физики бетона. Москва: Стройиздат, 1981.
6. Керамис. <http://ceramis.ru/index.php?id=133>
7. Auziņš, J., Januševskis, A. Eksperimentu plānošana un analīze. Rīga: RTU, 2006.
8. Auziņš, J., Januševskis, A., Kovaļska, A., Ozoliņš, O. Experimental Identification and Optimization of the Concrete Block Vibropressing Process. *JVE Journal of Vibroengineering*, March 2010., p. 1–12.
9. Вибрирование бетона. <http://rsbeton.ru/uchod-za-betonom/vibrirovanie-betona.html>

Agrita Kovaļska, M. sc. ing., postgraduate student, Institute of Mechanics, Riga Technical University.

Address: 6 Ezermalas iela, Rīga, LV-1006, Latvia. Phone: +371 67089396;

E-mail: agritakovalska@inbox.lv

Agrita Kovaļska. Structural identification and optimization criteria of the vibropressing process of bulk materials

The vibropressing regime was implemented by means of the testing machines Instron and Zwick. As a bulk materials concrete with low water-cement ratio was used. The form of the samples was cylindrical with a 84.5-mm diameter. A series of experiments was conducted according to the Mean Square Error Latin hypercube design [1]. The vibropressing regime described by the formula $f = f_0 + f_A \sin(\omega t)$ was realized by changing three parameters: f_0 – pressing force (10–50 kN); f_A – force amplitude (1–11 kN); and frequency (10–60 Hz). The three parameters were varied in a specified range. At each point of the Latin hypercube, three samples were formed. The curve describing the compression of the sample was approximated by the expression $x(t) = x_0 + R(t - t_0 + \Delta)^p$ (2), where $x_0 = x(t_0)$, $\Delta = 0,02$, and $p = 0,05$, but parameter R can be changed adapting it to the specific compression curve of the sample [2]. The obtained function (2) was used for further processing of the vibropressing process in general. The samples were tested for strength by compression after 28 days. The criteria and constraints for multi-criteria optimization were advanced. The optimization of pressing force, force amplitude and frequency on the vibropressing process [3] and on the strength of the samples was investigated. The registered force curves were smoothed and approximated with 3-parameter functions. The results are analyzed using the software Design Expert and EDAOpt.