

MECHANICS
MEHĀNIKADEVELOPMENT OF GEOMETRICAL AND COMPUTATIONAL MODEL OF
VIBRO IMPACT PRESS

VIBROTRIECIENPRESES ĢEOMETRISKĀ UN APRĒĶINU MODEĻU IZSTRĀDE

Alexander Janushevskis, Head of Laboratory, assoc. prof., Dr.sc.ing.
Machine and Mechanism Dynamics Research Laboratory
Riga Technical University
Address: 6 Ezermalas Street, Riga, LV-1006, Latvia
Phone: +371 67089396, Fax: +371 67089396
E - mail: janush@latnet.lv

Janis Auzins, Leading Researcher, assoc. prof., Dr.sc.ing.
Machine and Mechanism Dynamics Research Laboratory
Riga Technical University
Address: 6 Ezermalas Street, Riga, LV-1006, Latvia
Phone: +371 67089396, Fax: +371 67089746
E - mail: auzinsjp@latnet.lv

Agrita Kovalska, Postgraduate Student, Mg.sc.dat.
Machine and Mechanism Dynamics Research Laboratory
Riga Technical University
Address: 6 Ezermalas Street, Riga, LV-1006, Latvia
Phone: +371 67089396, Fax: +371 67089746
E - mail: agritakovalska@inbox.lv

Anatolijs Melnikovs, Undergraduate Student, B.sc.ing.
Institute of Mechanics
Riga Technical University,
Address: 6 Ezermalas Street, Riga, LV-1006, Latvia
Phone: +371 67089396, Fax: +371 67089746
E - mail: marshall@one.lv

Olgerts Ozolins, Researcher, Mg.sc.ing.
Institute of Construction and Materials
Riga Technical University
Address: 3 Azenes Street, Riga, LV-1006, Latvia
Phone: +371 67089164, Fax: +371 67089746
E - mail: olgerts@bf.rtu.lv

Atslēgas vārdi: vibrotrieciensprese, ģeometriskais modelis, tehnoloģiskās slodzes metamodelis

1. Ievads. Augstas stiprības betona tehnoloģijas un to attīstības perspektīvas.

Veidojot betonu, jācenšas pēc iespējas pilnīgāk izmantot portlandcimenta vai jebkuras citas saistvielas hidro cietināšanas enerģiju, radot cementa akmeni ar optimālu mikrostruktūru. Parasti cenšas samazināt makroporas un paaugstināt cementa akmens un pildvielu kontakta zonu stiprību, kā arī noturību pret plaisu rašanos, izmantojot saistvielu hidroaktivitāti un

pieejas ar regulējamu spriegumu enerģiju un vienlaicīgi nodrošinot intensīvu ražošanas tehnoloģiju.

Viens no plaši ražotajiem ir augstas kvalitātes un tehnoloģiskuma HPC (High Performance Concrete) betons, kas nodrošina augstas ekspluatācijas īpašības, stiprību, ilgizturību, zemu difūzijas koeficientu un dilšanu, drošu tērauda armatūras aizsardzību, augstu ķīmisko un baktericīdo noturību un tilpuma stabilitāti. HPC [1] tiek veidoti no augsti kustīgiem, lejamiem betonu maisījumiem ar ierobežotu ūdens saturu, kas nodrošina spiedes stiprību pēc 2 diennaktīm 30 – 50 MPa, bet pēc 28 diennaktīm 60 ... 150 MPa, salizturību F 600 un augstāku, ūdens necaurlaidību W 12 un augstāku, ūdens absorbciju 1 ... 2% no masas, dilumizturību 0.3 ... 0.4 g/cm², regulējamu rukumu pēc cietēšanas un augstu gāzu necaurlaidību.

Pašlaik ir vispāratzīts, ka augsti dispersu minerālo pildvielu izmantošana ir viena no ekonomiski izdevīgākajām un būtiskākajām rezervēm, lai paaugstinātu betona stiprību un uzlabotu tā tehnoloģiskās īpašības. Tomēr nav vienprātības par šo pildvielu ietekmi uz cementa akmens struktūru un īpašībām, ievadot inertas augsti dispersas minerālās piedevas. Darbā [2] norādīts, ka betonu minerālās piedevas un sasaistošās vielas ir dabiskas vai tehnoloģiski iegūtas pārsvarā neorganiskas vielas, kas nešķīst ūdenī (atšķirībā no ķīmiskajām piedevām) un kuru graudu izmērs ir mazāks par 0.16 mm (pildvielas ir ar lielākiem izmēriem). Parasti tie ir ogļu termoelektrostaciju vai tērauda, čuguna, ferosilīcija ražošanas metalurģisko krāšņu blakus produkti.

Granulometriskā analīze jau 20 gadsimta 70. gados parādīja lielas rezerves ūdens cementa (Ū/C) attiecības samazināšanā un hidratācijas reakcijas intensifikācijā. Tika izstrādāti tā sauktie DSP (Densified with Small Particles) kompozīti (blīvētas sistēmas ar homogēni izkliedētām ultra mazām daļiņām). Šie materiāli satur īpaši ar speciāliem tehnoloģiskiem paņēmieniem sagatavotu cementu, krameni (silīcija mikrodaļiņas), īpašas pildvielas un mikrošķiedras [1] pie Ū/C = 0.12 ... 0.22 ļauj sasniegt stiprību 270 MPa ar lielu korozijas noturību un mazu dilšanu. Formēšana ar spiedienu [1] 138 MPa pirms autoklāvēšanas ļauj cementa līmei samazināt Ū/C līdz 0.06 un sasniegt cementa akmens stiprību līdz 330 MPa pēc 28 diennakšu normālas cietēšanas, bet alumīnātu cementu un karstās presēšanas ar spiedienu 345 MPa izmantošana ļauj sasniegt 650 MPa stiprību.

Desmit gadus vēlāk tika izstrādāts MDF (Macro Defect Free) cements, proti, cements bez makrodefektiem. Pēc Berčela sniegtajiem datiem [1], kalandējot cementu un lietojot superplastifikatorus un gēla veidotājus (piemēram, polivinilacetātu) pie Ū/C = 0.1 ... 0.18 var iegūt kompozītus ar ļoti blīvu mikrostruktūru praktiski bez kapilārajām porām. To lieces stiprība sasniedz 40 ... 150 MPa, Junga modulis 35 ... 50 GPa, spiedes stiprība 100 ... 300 MPa. Līdzīgi rezultāti var tikt iegūti, izmantojot ar strūklu maltu mālzemes cementu, superplastifikatorus un acetilētu polivinilspirtu.

Tradicionālo betonu pakāpeniski aizstāj daudzkomponentu betons, kuros izmanto ķīmiskos struktūras un tehnoloģisko īpašību modifikatorus, tai skaitā kompleksos modifikatorus, kas satur vairākus desmitus individuālu ķīmisko piedevu, aktīvās minerālās komponentes ar dažādu dispersiju (no 2000 līdz 25000 cm²/g), kompozītās saistvielas, tai skaitā saistvielas ar zemu ūdens nepieciešamību, neorganiskas un organiskas piedevas, dispersas šķiedru pildvielas [3] (metāla, oglekļa, stikla, polipropilēna, kevlaru un augu izcelsmes šķiedras). Vairāk kā 30 gadus tiek pētīts un pielietots SIFCON (Slurry Infiltrated Fiber CONcrete) [4] betons. Betona maisījuma daudzās komponentes ļauj vadīt struktūras veidošanu tehnoloģiskā procesa visos etapos un iegūt materiālus ar visdažādākajām īpašībām. Sevišķi augstas stiprības betonu izmantošanas sasniegumi doti darbā [5], tai skaitā arī dati par RPC (Reactive Powder Concrete) betonu.

Neizbēgami paaugstinās prasības materiālu dozēšanai un maisīšanai, tā kā bieži vien maisījumā jāievada dažādi modifikatori nelielās devās un jāmaisā augsti dispersi pulveri (cements + pildviela) līdz viendabīgas masas iegūšanai. To var nodrošināt tikai ar atbilstoša

aprīkojuma izmantošanu. Neapšaubāmi, cik to ļaus enerģētiskās izmaksas, attīstīsies arī intensīvās betona tehnoloģijas, proti, izejvielu maisījumu ķīmiski mehāniskā aktivācija divkameru turbulentajos maisītājos, barotermiskas iedarbes, elektroimpulsu un viļņu agregāti, vibrotriecienformēšana [6], tehnoloģiju datorvadība, gatavo izstrādājumu un konstrukciju piesātināšana ar dziļi iekļūstošiem un cietējošiem kompozītiem, kuru īpašības un struktūra tuva betonam. Sagaidāma jaunu nanotehnoloģisko materiālu [1] izmantošana (iespējams, mikro silīciju aizstās nanosilikāti ar īpatnējo virsmu virs $180000 \text{ cm}^2/\text{g}$). Lai realizētu efektīvas intensīvās tehnoloģijas, ir nepieciešama tādu iekārtu projektēšana, kas nodrošinātu nepieciešamās dinamiskās iedarbes. Līdz ar to liela nozīme ir adekvāta betona formēšanas tehnoloģiskā modeļa ieguvei un tā ērtai izmantošanai iekārtu dinamiskajos aprēķinos.

Līdz šim plaši pētījumi ir veikti betona maisījumu reoloģijas jomā betona iestrādāšanas tehnoloģiskajai fāzei. Betona maisījumu reoloģiskie raksturojumi ietekmē cietēšanas procesā izveidojošos struktūru. Tāpēc šīs īpašības ir tik svarīgas ražošanas tehnoloģiskajā procesā. Galvenie faktori, kas ietekmē šīs īpašības ir 1) pildvielu koncentrācija, granulometrija un daļiņu forma, 2) dinamiskās iedarbības uz maisījumu raksturs, 3) daļiņu kustības režīms, 4) tiksotropo īpašību parādīšanās pakāpe, 5) laika faktors un citi parametri. Dažādi autori kā svarīgākos min atšķirīgus faktoros. Piemēram, darbā [7] apgalvots, ka betona maisījuma reoloģiskās īpašības galvenokārt ietekmē 2 faktori, proti, mazāko (sīkāko) frakciju virsmas lielums un lielo frakciju masa. Darbā [8] faktori tiek klasificēti iekšējos un ārējos. Iekšējie ir 1) cementa līmes plūstamība, 2) pildvielas tips un 3) cementa līmes un pildvielas tilpumu attiecība. Cementa līmes plūstamību nosaka \bar{U}/C , cementa tips (tā īpatnējais virsmas laukums, ģipša piejaukums, sārmu un C_3A saturs) un piedevas. Pildvielas tipu nosaka daļiņu maksimālais izmērs, granulometriskais sastāvs, mazo ($<300 \text{ mkm}$) daļiņu klātbūtne, porainība. Ārējie faktori ir 1) maisīšanas nosacījumi, maisījuma temperatūra un 2) laiks no ūdens pievienošanas momenta maisījumam līdz formēšanas momentam.

Darbā [9] norādīts, ka ķīmiskais un mineraloģiskais cementa sastāvs maz ietekmē cementa līmi (izņēmums ir cements ar regulējamu cietēšanas laiku, kura līmei ir paaugstināta viskozitāte). Palielinot \bar{U}/C , cementa līmes viskozitāte samazinās. Tas pats novērojams rupjāka maluma cementam un cementa līmes maisīšanai hidratācijas laikā. Darbā [10] atzīmēts, ka tecēšanas, slīdes un iekšējās berzes procesi ir atkarīgi no daļiņu savstarpējā pārvietojuma un ūdens stāvokļa starp cementa un pildvielas graudiem un uz to virsmas, proti, no tā sauktā „starp graudu ūdens”.

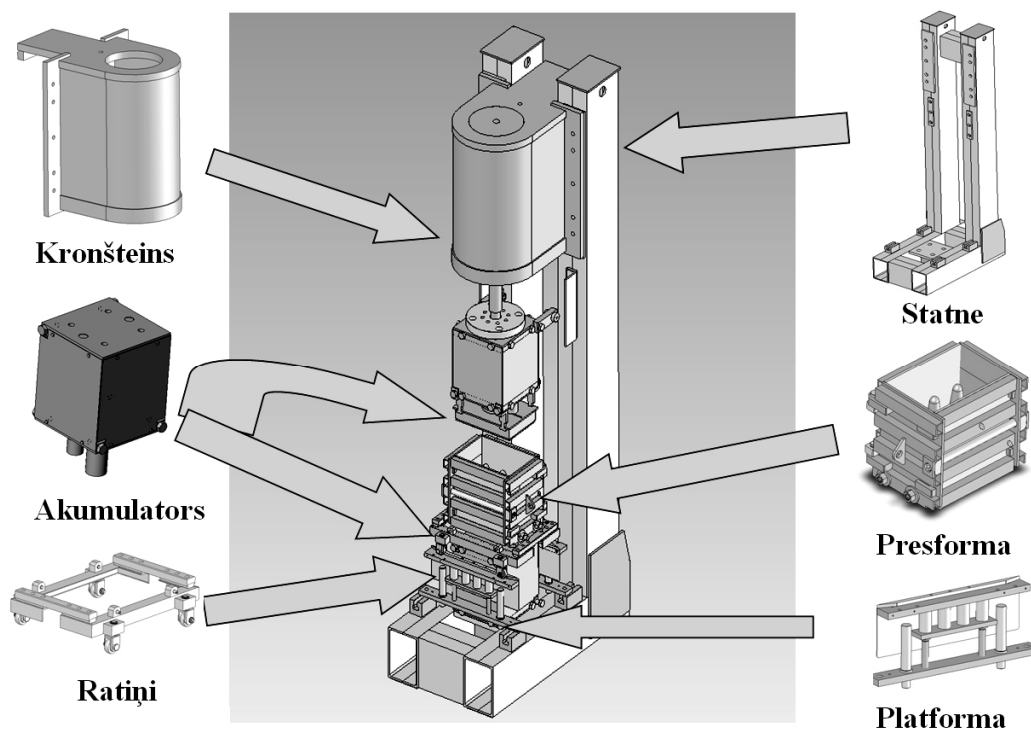
Liela nozīme ir cementa graudu ģeometrijai. Darbos [11, 12] norādīts, ka betona maisījuma plūstamību nosaka ūdens plēves biezums ap cementa daļiņām, kas darbojas kā smērviela un cementa līmes daudzumam, kurš aptver pildvielu daļiņas. Zinot betona maisījuma cietās fāzes graudu sastāvu, var aprēķināt tukšās telpas tilpumu, ko aizņem ūdens, bet hidratācijas procesā cementa līme. Līdz ar to principā ir nosakāms ūdens plēves biezums, kura aptver cietās fāzes graudus. Hidratācijas rezultātā ūdens ap graudiem samazinās un maisījuma plastiskums samazinās. Darbos [10, 12] betona maisījuma reoloģiju nosaka 1) kohēzija (pamatā to ietekmē betona līmes kohēzija), 2) viskozitāte (pie vibroiedarbības) un 3) iekšējā berze. Kohēzijas lielumu nosaka galvenokārt ūdens daudzums, bet iekšējā berze atkarīga no pildvielu daudzuma un ģeometrijas. Nosauktie parametri atkarīgi no spēkiem, kas darbojas betona maisījumā, proti, berzes spēkiem, kapilārajiem Vandervalisa spēkiem, struktūras veidošanās koagulācijas spēkiem un koloīdās mijiedarbības spēkiem. Šo spēku relatīvo nozīmību nosaka graudu izmērs un attālums starp graudiem. Šie spēki ir mainīgi laikā, jo cementa daļiņas pakāpeniski reaģē ar ūdeni. Jo tie ir mazāki, jo vieglāk betonu formēt. Taču šo spēku pārlietu samazināšana noved pie maisījuma segregācijas un ūdens atdalīšanās, kas krasi pasliktina betona ekspluatācijas īpašības. To daļēji var novērst, papildus pievienojot cementu, bet tas savukārt var izsaukt plaisu parādīšanos rukuma deformāciju dēļ un papildus siltuma izdalīšanās dēļ.

No īsā apskata var secināt, ka aktuāla ir efektīvu intensīvo tehnoloģiju izstrādāšana, tai skaitā vibrotriecienpresēšana. Reoloģiskie modeļi apraksta sarežģītos fizikāli ķīmiskos procesus un apstrādājamās vides īpašības pārsvarā betona iestrādāšanas fāzē. Šajā darbā tiek veidoti metamodeļi vibrotriecienpresēšanas tehnoloģiskai slodzei, izmantojot aproksimācijas, kas pietiekami viegli varētu tikt izmantotas, optimizējot vibrotriecienpresēšanas iekārtas dinamiskās piedziņas mezglus. Šādi metamodeļi pēc relatīvi vienkāršiem eksperimentiem atļaus ātri ievērtēt konkrēto vietējo izejmateriālu elastīgi disipatīvās īpašības, lai noteiktu nepieciešamās dinamiskās iedarbes raksturojumus - intensitāti, lielumu un laiku.

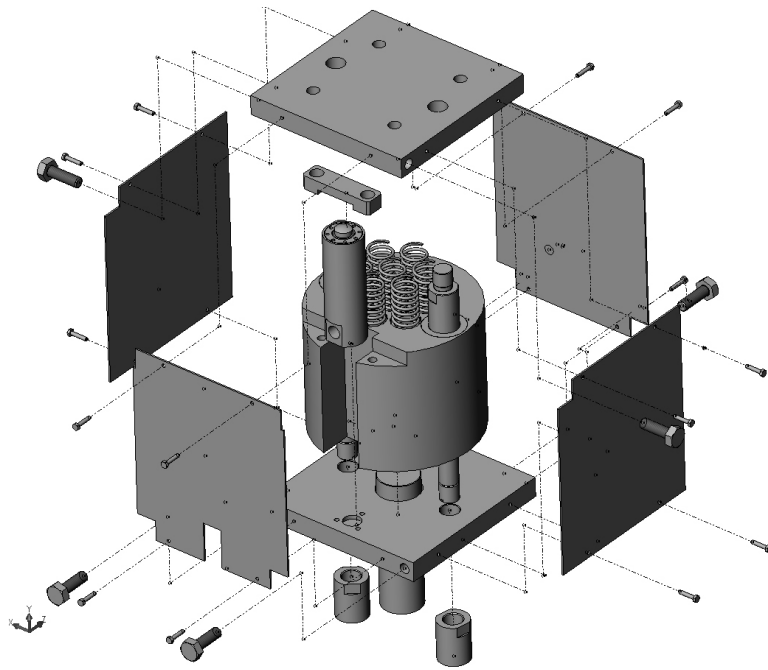
2. Iekārtas un aprīkojuma ģeometriskos modeļu izstrāde

RTU izstrādātās vibrotriecienpresēšanas iekārtu shēmas un paņēmieni [13, 14, 6] būtiski atvieglo formējamā materiāla iekšējās berzes spēku pārvarēšanu un sekmē ļoti blīvas masas iegūšanu, kas rezultātā nodrošina izstrādājumu ievērojamu stiprības pieaugumu. 1. attēlā ir parādīts izveidotais betona bloku formēšanas iekārtas telpiskais ģeometriskais modelis. Modelis ir būvēts, izmantojot CAD programmatūru SolidWorks un satur sekojošus pamatmezglus: statni, presformu un tās elastīgo atbalstu - platformu, presēšanas hidrocilindru ar kronšteinu un divus analogiskas konstrukcijas puansonu mezglus, katrs no kuriem savukārt sastāv no puansona un enerģiju akumulējošās iekārtas (skat. 2. att.). Ar to tiek nodrošināta intensīva triecieniedarbība uz formējamo izstrādājumu. Tas sastāv no belzņa, kas var pārvietoties pa divām vertikālām vadotnēm, belzņa uzvilkšanas plunžera un enerģiju akumulējošām atsperēm.

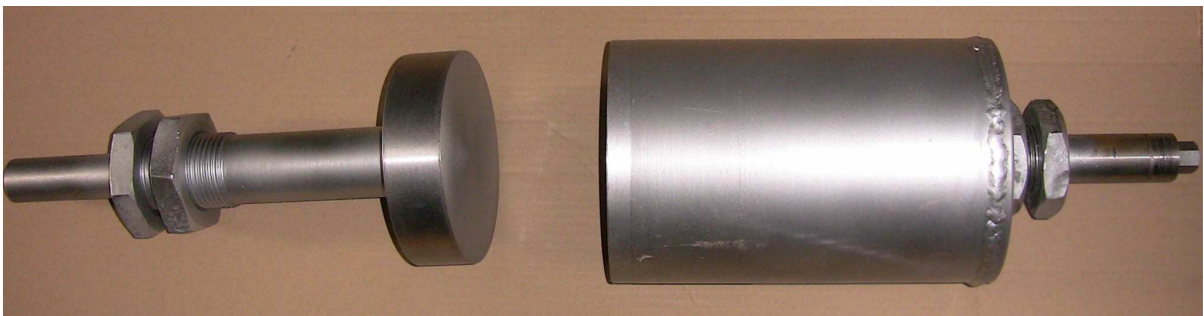
Izmantojot izveidotos 3D ģeometriskos modeļus, ir iespējams ar augstu precizitāti iegūt vērtības iekārtas inerciālajiem un citiem parametriem. Tie ir nepieciešami, lai korekti formulētu dinamisko un stiprības aprēķinu modeļus, kuru izpētei ir izšķiroša nozīme, lai radītu bloku formēšanas iekārtu, kas pakļauta intensīviem dinamiskiem slodzumiem. Dinamikas modeļa pilnvērtīgai izstrādei nepieciešams adekvāti aprakstīt presformā formējamā objekta – betona bloka javas modeli.



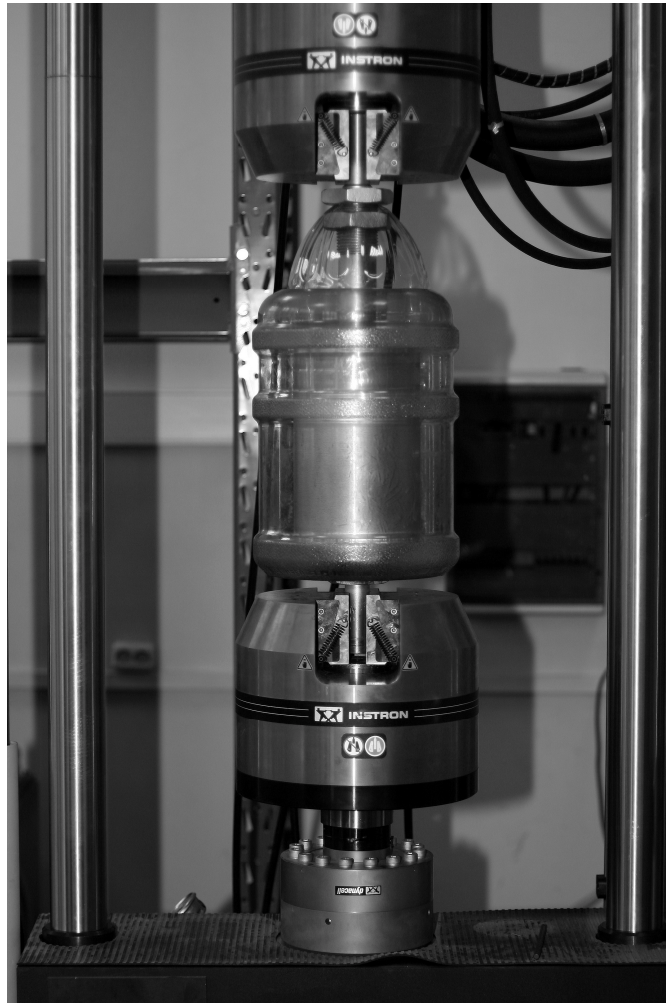
1. attēls. Bloku formēšanas iekārtas kopskats un tās pamatmezgli



2. attēls. Iekārtas enerģiju akumulējošais mezgls -akumulators izjauktā veidā



3. attēls. Betona masas testēšanas cilindrs



4. attēls. Testēšanas iekārtas Instron 8802 hidrožokļos iestiprinātais testēšanas cilindrs

Tāpēc tika izstrādāts 3. attēlā parādītais aprīkojums betona masas elastīgi disipatīvo īpašību eksperimentālai pētīšanai. Aprīkojuma izmēri (cilindra iekšējais diametrs 150 mm) tika izvēlēti tādi, lai maksimāli tuvinātos bloka faktiskajiem izmēriem un mazinātu neizbēgamos mēroga efektus, bet tai pat laikā varētu nodrošināt attiecīgo spēka iedarbību uz pieejamās testēšanas iekārtas Instron 8802 [15] (skatīt 4. attēlu), kura var attīstīt līdz 250 kN lielas slodzes, t.sk. dinamiskas ar uzdotu spēka kā laika funkciju. Aprīkojums izprojektēts tā, lai nodrošinātu hermētiskumu un nesabojātu dārgo testēšanas aparāturu.

3. Tehnoloģiskās slodzes aprēķinu modeļa izstrāde

Darbā [6] tehnoloģiskā slodze pirmajā tuvinājumā tika ievērota ar lineāru atsperi. Šis darbs ir veltīts tehnoloģiskās slodzes precizētā modeļa izstrādāšanai, pamatojoties uz fizikāliem eksperimentiem.

3.1. Eksperimentu apraksts

Eksperimenti tika veikti, izmantojot testēšanas mašīnu Instron 8802 (skat. 4. attēlu) un realizējot tās vadību gan pēc spēka gan pēc pārvietojuma. Tie ir uzskatāmi par sākotnējiem eksperimentiem, kuros tika izmēģināts uzprojektētais un izgatavotais aprīkojums, kā arī izveidota eksperimentu metodika.

Pavisam tika slogoti četri dažādi betona maisījumi. Maisījumu gatavošanai tika izmantotas sekojošas komponentes:

1. Smiltis (Sm) - Saulkalnes dabīgas, žāvētas, frakcionētas smiltis būvdarbiem: frakcija 0.3 – 2.5 mm, mitrums 0.2%;
2. Skaidas (Sk) - sausas zāģskaidas;
3. Cements (C) - Brocēnu Cementa rūpnīcas CEMEX portlandcements ar garantētu spiedes stiprību pēc 2 dienām 15 MPa un pēc 28 dienām 45 MPa (LVS EN 197 – 1:2000; LVS EN 197 –2: 2000; CEM II B-T 32.5 R);
4. Ūdens (Ū).

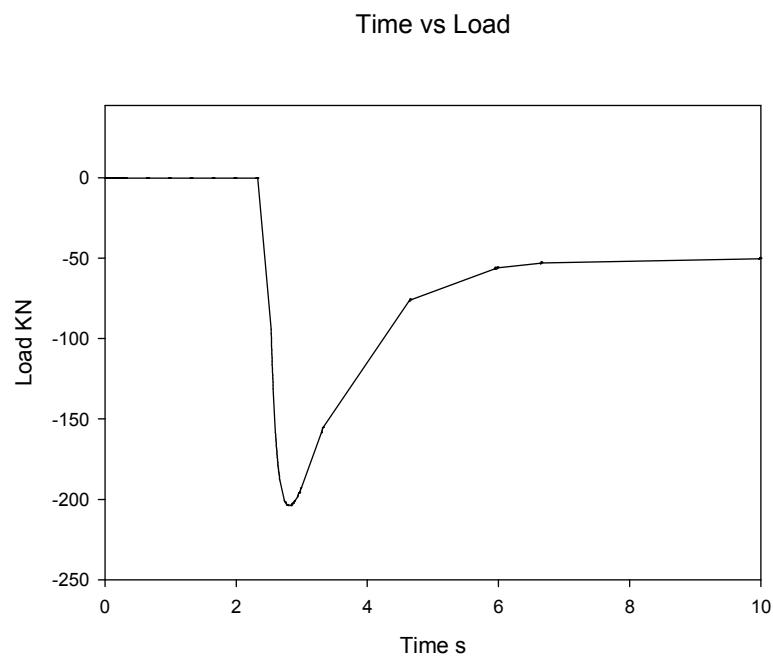
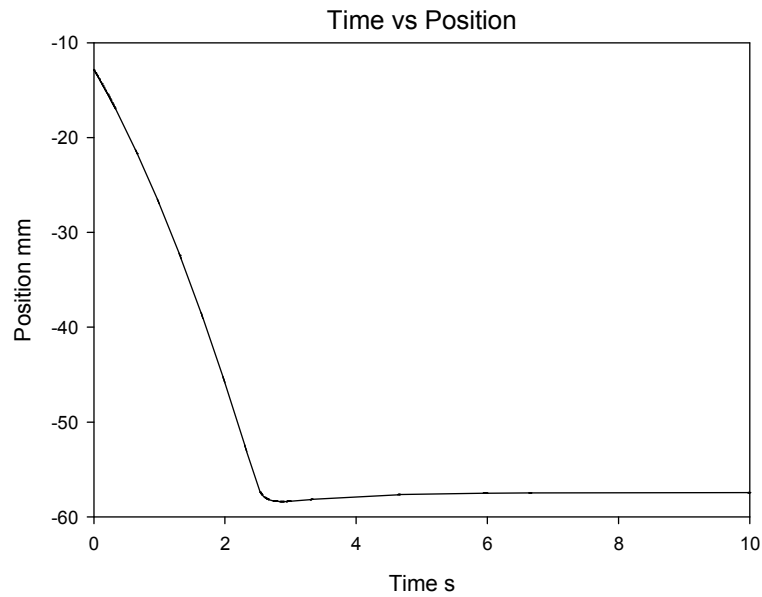


5. attēls. Testēšanas mašīnā Instron 8802 uzformētie betona cilindru paraugi

Pirmajam maisījumam C : Sm ir 1:4.6 un $\bar{U}/C = 0.645$, otrajam pie tā paša tilpuma attiecības $\bar{U}/C = 0.8$. Trešajam maisījumam C : Sk : Sm 1:2.58:2.61. Bez tam tika veikts viens atsevišķs statistiskās slogošanas eksperiments ar maisījumu, kuram $\bar{U}/C = 0.38$. Komponentu svēršanai tika izmantoti digitālie laboratorijas svāri JZC-TCS ar precizitāti 0.5g un laboratorijas svāri KERN CH50K50, tilpumu noteikšanai tika lietotas mērglāzes DIN 1268072 ar tilpumu 250, 1000 un 2000 ml un iedaļas vērtību 2 ml. Uzformētie bloki redzami 5. attēlā.

3.2. Eksperimentu rezultāti

Eksperimentālā aprīkojuma virzuļa tipiskā slogojuma raksturs ir redzams 6. attēlā.



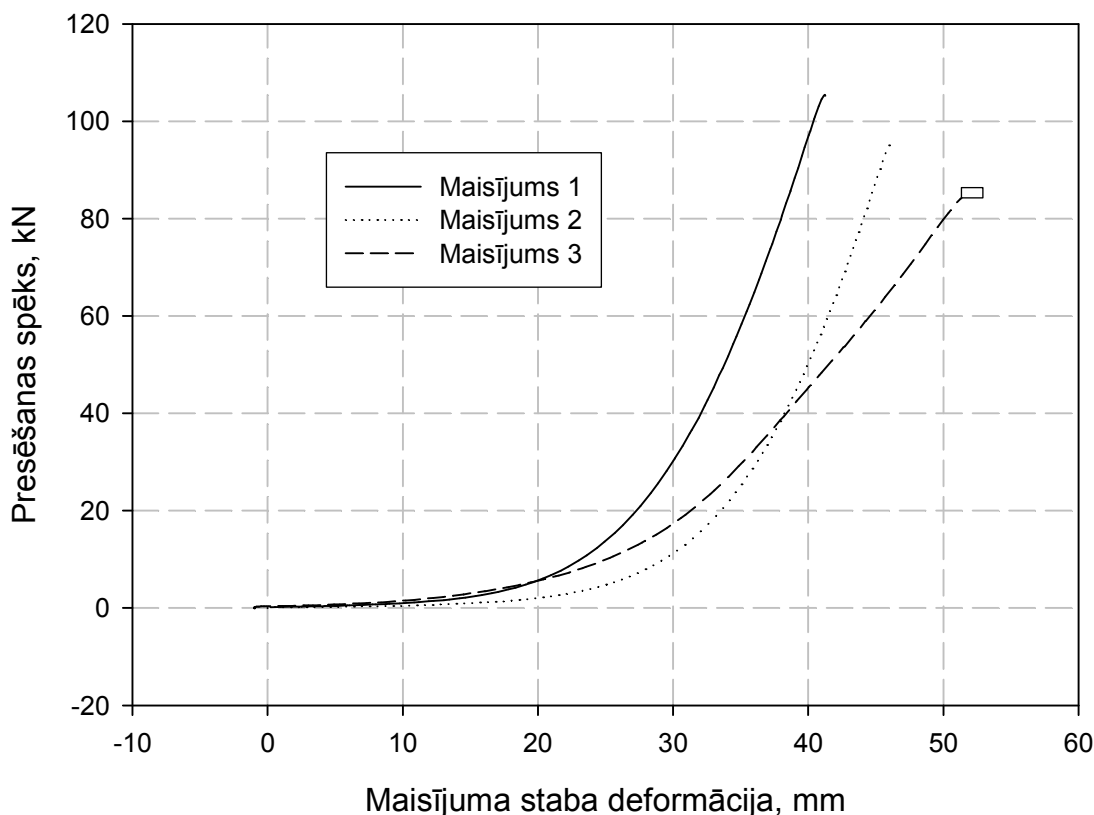
6. attēls. Virzuļa pārvietojuma un sloģojuma eksperimentālās diagrammas

Sākotnēji puansona virzulis tiek tuvināts darba masai. Sastopot betona masu, spēks pieaug līdz ~200 kN, jo testēšanas mašīnas inerces dēļ virzulis, kādu laiku kustoties uz leju, turpina saspīest formējamo masu.

3.2.1. Kvazistatiskais sloģojums

Izmantojot eksperimentāli iegūtās sloģošanas un pārvietojuma diagrammas, attēlā 7 parādītas maisījumu raksturliķnes. Savukārt raksturliķņu aproksimācijai izmantota RTU Mašīnu un mehānismu dinamikas laboratorijā izstrādātā metodika un programmatūra EDAOpt [16].

Kvazistatisks slogojums



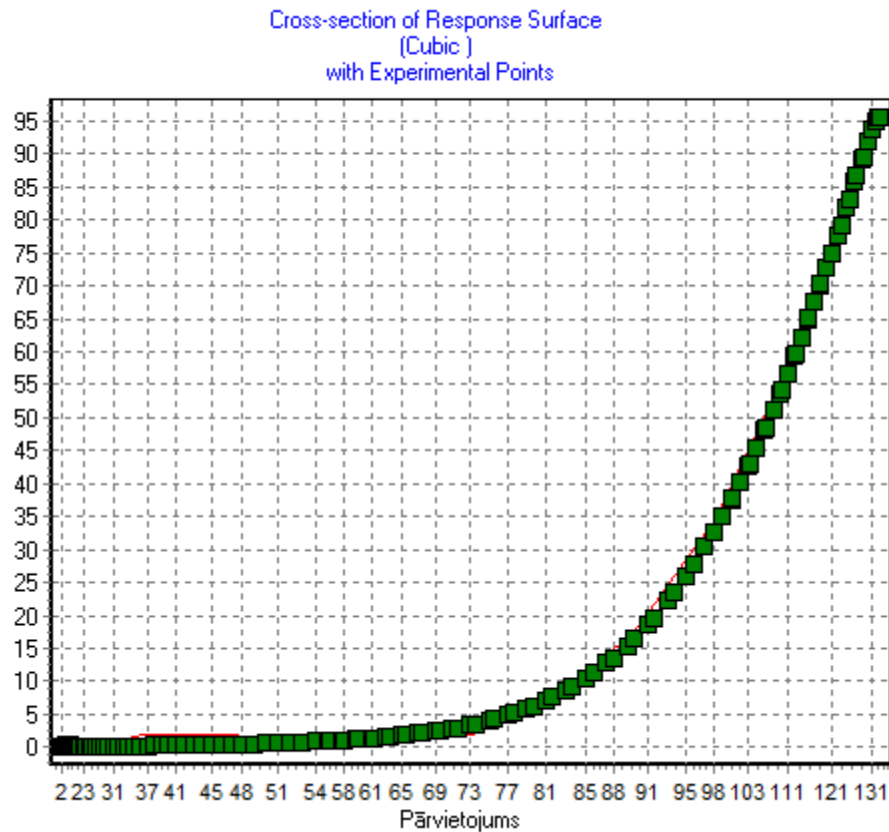
7. attēls. Eksperimentālās raksturlīknes, kas iegūtas kvazistatiski slogojot maisījumus

Ar EDAOpt iegūtas eksperimentālo raksturlīkņu sekojošas aproksimāciju izteiksmes trīs maisījumiem:

- 1) $F1 = -1.17558228708756E+0000 + 7.82643846185790E-0001 * X1 - 8.78075285548194E-0002 * X1 * X1 + 3.23854369426988E-0003 * X1 * X1 * X1$,
- 2) $F1 = -9.59638141215501E-0001 + 1.01754849938709E+0000 * X1 - 1.01386862435673E-0001 * X1 * X1 + 2.70919438292038E-0003 * X1 * X1 * X1$,
- 3) $F1 = 5.63255030564954E-0001 - 2.43172110938512E-0001 * X1 + 1.76557112201706E-0002 * X1 * X1 + 3.78791168681786E-0004 * X1 * X1 * X1$,

kur F1 ir presēšanas spēks kN un X1 ir maisījuma staba deformācija mm.

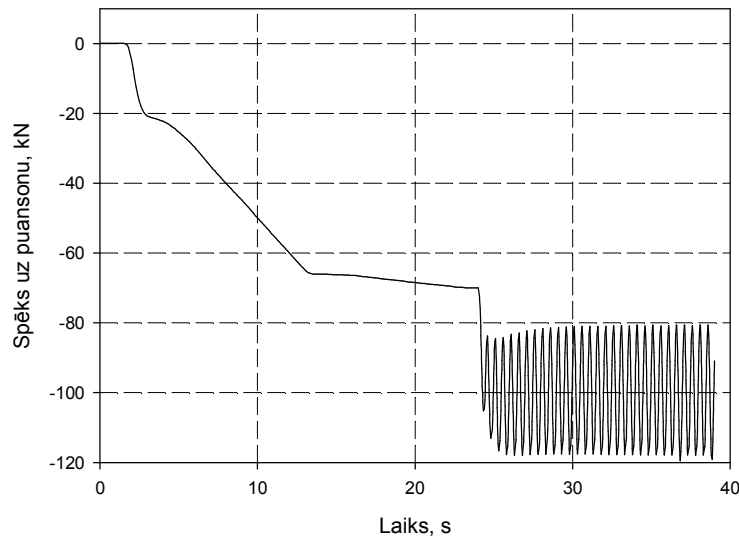
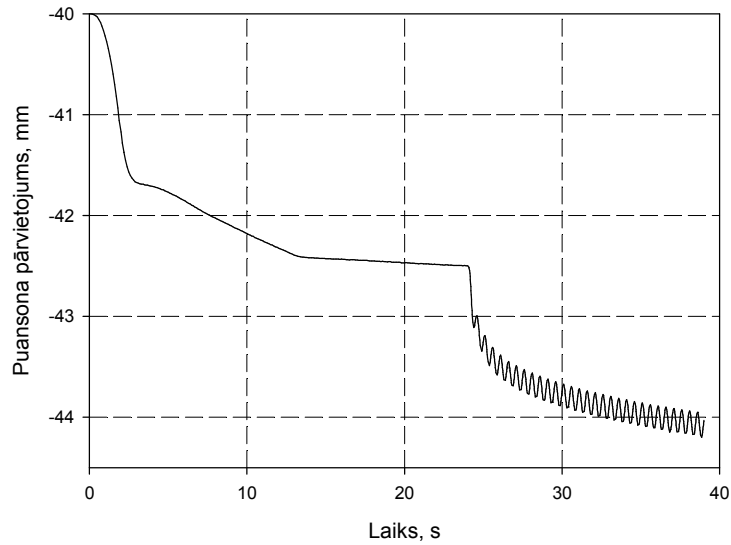
Kā redzams, maisījumam 1 ir viscietākā raksturlīkne un maisījumam 3, kas satur zāģskaidas, pie lielām deformācijām ir vismazākais stingums. Maisījuma 2 raksturlīkne pie deformācijām virs 30 mm ir nobīdīta un praktiski proporcionāla maisījuma 1 raksturlīknei, kas loģiski atspoguļo maisījuma palielinātā Ū/C attiecības efektu. Maisījumu raksturlīknes ļoti labi aprakstās ar kubiskām aproksimācijām. 8. attēlā parādīts, ka eksperimentālās un aproksimētās raksturlīknes praktiski sakrīt un vizuāli atšķirības nav redzamas.



8. attēls. Maisījuma 2 ar EDAOpt aproksimētā raksturlīkne, uz kuras uzvietoti eksperimentālie punkti

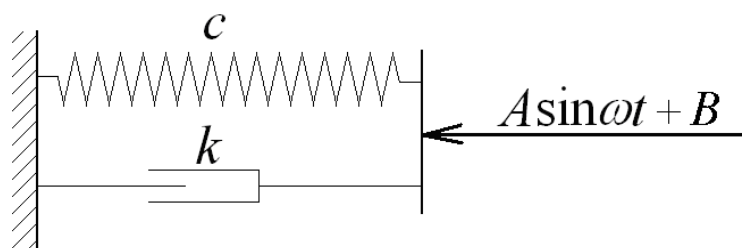
3.2.2. Dinamiskais slogojums

9. attēlā parādītas maisījuma 1 eksperimentālās diagrammas, presējot to vispirms ar konstantu spēku un pēc tam papildus iedarbojoties ar sinusoidāli pulsējošu spēku. No diagrammām ir redzams, ka statiski slogojot ar spēku virs 65 kN, maisījuma blīvēšana praktiski ir apstājusies. Taču tiklīdz uz maisījumu iedarbojas papildus pulsējošs spēks - maisījuma blīvēšana atsākas, par ko liecina summārais puansona pārvietojums uz leju.

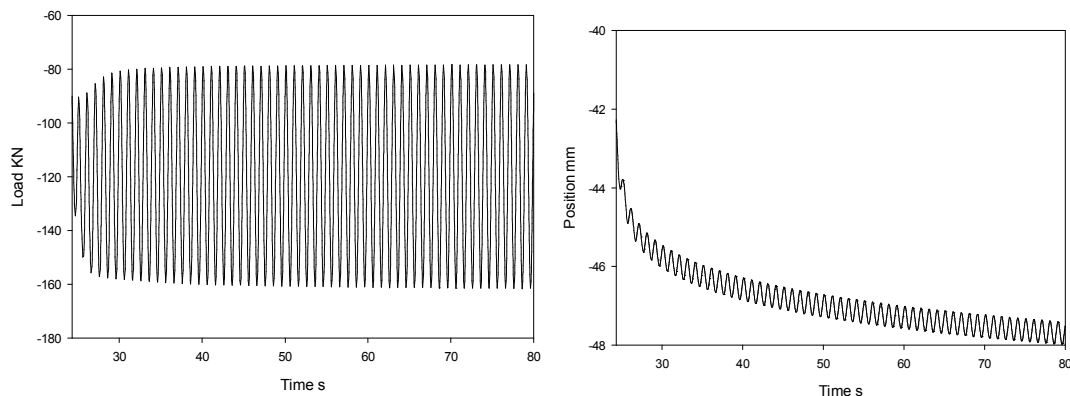


9. attēls. Puansona virzuļa pārvietojuma un spēka eksperimentālās diagrammas

Vienkāršākā formējamā javas maisījuma dinamiskā modeļa shēma parādīta 10. attēlā. Šajā modelī formējamā javas maisījuma stingums c un iekšējās berzes (viskozitātes) koeficients k ir lielumi, kuri mainās procesa laikā. Formējamās masas inerciālās īpašības netiek ņemtas vērā, jo paātrinājums ir relatīvi neliels un pat visas masas kopējais inerces spēks $m\ddot{x}$ ir mazs, salīdzinot ar preses radīto spēku.



10. attēls. Formējamā javas maisījuma dinamiskā modeļa shēma



11. attēls. Puansona virzuļa spēka un pārvietojuma izmaiņas vibropresēšanas laikā

Procesa grafiki garam laika posmam parādīti 11. attēlā.

Tuvinātus koeficientu novērtējumus varam iegūt no dinamikas modeļa īsam laika posmam, kurā koeficientus uzskatīsim par nemainīgiem:

$$k\dot{x} + c(x - x_0) = A \sin(\omega t) + B, \quad (1)$$

kur ar x_0 ir apzīmēts laikā mainīgais formējamās masas augšējās virsmas līdzsvara stāvoklis, ap kuru notiek svārstības ar uzspiedējspēka frekvenci ω . Īsā laika posmā virzuļa pārvietojums $x(t)$ tad ir iegūstams kā

$$x = \alpha \sin(\omega t + \varphi) + x_0, \quad (2)$$

No eksperimentos reģistrētajām pārvietojuma x un spēka Q vērtībām uzbūvētajos grafikos varam iegūt aptuvenas svārstību amplitūdas α , līdzsvara stāvokļa x_0 un fāzu nobīdes starp spēku un pārvietojumu φ vērtības (skat. 12. attēlu).

Ir spēkā sekojošas sakarības:

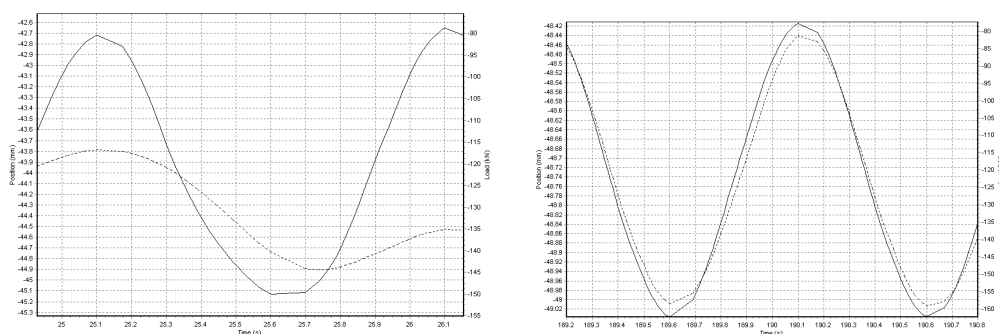
$$c = A \cos \varphi / \alpha, \quad (3)$$

$$k = -\frac{A \sin \varphi}{\alpha \omega}. \quad (4)$$

Sākuma posmā $\Delta t = -0.1$ s, $\varphi = -0.1 \times 2\pi = -0.628$ rad, $\cos \varphi = 0.809$, $\sin \varphi = -0.588$. Spēka amplitūda $A = 20000$ N, deformācijas amplitūda $\alpha = 0.6$ mm.

Svārstības notiek ar frekvenci 1 Hz, tātad leņķiskā frekvence $\omega = 6.28$ rad/s un tātad

$$c = A \cos \varphi / \alpha = 27 \text{ kN/mm}, \quad k = -\frac{A \sin \varphi}{\alpha \omega} = 3.1 \text{ kN} \cdot \text{s/mm}. \quad (5)$$

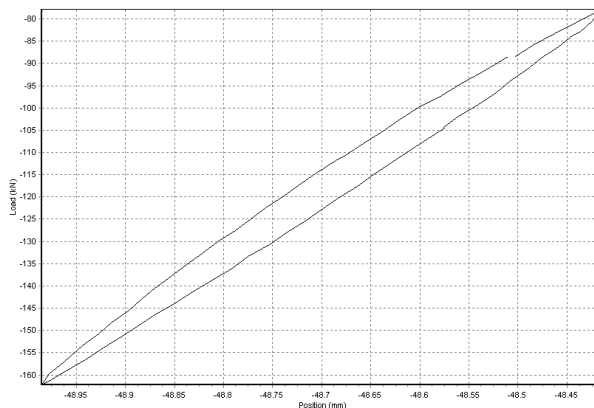


12. attēls. Spēka (—) un pārvietojuma (- -) grafiki vibropresēšanas sākuma posmā (pa kreisi) un beigu posmā (pa labi)

Vibrotriecienpresēšanas beigu posmā (skatīt 12. attēlu) līdzīgā veidā iegūstam praktiski neizmērāmi mazu fāzu nobīdi $\varphi = 0.09$ rad un procesu amplitūdas $A = 42000\text{N}$ un $\alpha = 0.3$ mm. Izmantojot izteiksmes (3) un (4), ir iegūstamas koeficientu vērtības $c = 140\text{ kN/mm}$ un $k = 2\text{ kN}\cdot\text{s/mm}$. Tādējādi varam iegūt formējamās javas maisījuma iekšējās berzes un stinguma koeficientus dažādos formēšanas procesa laika momentos.

Stinguma un berzes koeficientus beigu posmā varam vērtēt arī pēc viena perioda histerēzes cilpas grafika, skat. 13. attēlu. Iegūstam $c = 140\text{ kN/mm}$ un, pieņemot, ka svārstības ir tuvas sinusoidālām, $k = 2.3\text{ kN}\cdot\text{s/mm}$. Tādējādi procesa laikā javas stinguma koeficients ir būtiski palielinājies, bet berzes koeficients ir nedaudz samazinājies.

Demonstrētais momentānās iekšējās berzes un stinguma aprēķina paņēmieni ir visai neprecīzs, tāpēc turpmākajā darbā paredzēts šo parametru izmaiņu procesa laikā novērtēt ar lokāli svērtās lineārās aproksimācijas metodi, izmantojot ar skaitlisko diferencēšanu un izgludināšanas metodēm [16, 17] iegūtas virzļa ātruma un paātrinājuma līknes.



13. attēls. Spēka atkarība no pārvietojuma vibropresēšanas beigu posmā

Secinājumi

Veikta vibrotriecienpreses ģeometriskā 3D modeļa izstrāde, kas nodrošina izprojektētās iekārtas aprēķinam nepieciešamos inerciālos parametrus ar augstu precizitāti. Izstrādātais eksperimentu aprīkojums un metodika ļauj veikt visdažādākās receptūras betona maisījumu eksperimentālu elastīgi disipatīvo raksturojumu iegūšanu, izmantojot Instron 8802 testēšanas iekārtu. Veikta vairāku maisījumu metamodeļu izveide. Iegūtas matemātiskās sakarības un parametru skaitliskās vērtības, kas pamatojas uz eksperimentālajiem rezultātiem, ļauj precizēt vibrotriecienpreses kopējo aprēķina modeli. Izmantojot iegūtos tehnoloģiskās slodzes metamodeļus, var tikt veikti vibrotriecienpreses stiprības un dinamikas pilnvērtīgi aprēķini un iekārtas optimizācija.

Perspektīvā, izmantojot radīto aprīkojumu un pilnveidojot metodiku, iespējams veikt unikālu eksperimentu sēriju, kas ļautu novērtēt gan tehnoloģisko slodzi dažādiem vietējo materiālu maisījumiem, gan vienlaicīgi iegūto izstrādājumu stiprības u.c. īpašības ar mērķi iegūt tehnoloģiskos režīmus augsti konkurētspējīgas produkcijas ražošanai.

Pateicības

Šis darbs ir daļēji atbalstīts un veikts LR Izglītības un Zinātnes ministrijas projektu Nr. R7236 un Nr. R7325 un LZP granta projekta Nr. 05.1668 ietvaros. Autori ir pateicīgi RTU Materiālu

un konstrukciju institūta vadībai prof. A. Čatem un prof. R. Rikardam par iespēju izmantot testēšanas mašīnu Instron 8802.

Literatūra

1. Fishman G. Manufacturing Technique of Carrying Elements from Easy Constructional Concrete. Doctoral Thesis – TUM, 2006 - p.166.
2. Высоцкий С. Минеральные добавки для бетонов // В: Бетон и железобетон - 1994, No 2 – p. 7-10.
3. Krasnikovs A., Lapsa V., Eiduks M. Non-Traditional Reinforcement for Concrete Composites – State of the Art. Scientific Proceedings of RTU: Transport and Engineering. Mechanics. Series 6. Vol. 24 - Riga, Riga Technical University, 2007 – p. 191-199.
4. Lankard D.R. Slurry Infiltrated Fiber Concrete (SIFCON): Properties and Applications. Materials Research Society. Vol. 42 - Pittsburgh, 1985 - p. 227 -286.
5. Rahman S., Molyneaux T., Patnaikuni I. Ultra High Performance Concrete: Recent Applications and Research // In: Australian Journal of Civil Engineering. Vol.2, Issue 1, 2006 - p. 13-20.
6. Januševskis A., Auziņš J., Onževs O., Pfafrods J. Simulation of Dynamics of Molding Assembly // In: Scientific Proceedings of RTU: Transport and Engineering. Mechanics. Series 6, Vol. 24 - Riga, Riga Technical University, 2007 – p. 174 -182.
7. Смирнов А. К вопросу о взаимосвязи реологических характеристик и технологических параметров бетонных смесей. Куйбышевский фил. ВИППОЭС - Куйбышев, 1989 – с. 7.
8. Collepardi M. The Influence of Admixtures on Concrete Rheological Properties // In: Cemento -1982, No 4 –p. 217-242.
9. Okajima Tatsuo, Ishikawa Tokyo. The Effect of Moisture Content on the Strength of Hydrated Cement and its Relation to the Surface Energy // In: Rev.35th Gen. Meet. Cem. ASSoc. Jap. Techn. Sess. - Tokyo, 1981 – p. 75-77.
10. Bombléd J.B. Rhéologie du béton frais // Cim. béton, plâtres, chaux. -1978, No 1 – p. 27-29.
11. Lane R.O., Best J.F. Properties and Use of Fly Ash in Portland Cement Concrete // In: Concrete International -1982, Vol.4, No 7 –p. 81-92.
12. Matsufuji Y., Kohhata H., Harada S. Strength Characteristic of Mixtures with Ultrafines // In: CAJ Proc. Cem. and Concr. -1991, No 45 – p. 264-269.
13. Onževs O., Januševskis A. Iekārta materiālu vibrotriecienpresēšanai. LR patents Nr.11601 no 20.04.1997.g. un LR Patents Nr. 12477 no 20.08.2000.g.
14. Onževs O., Januševskis A., Auziņš J. Automātiski vadāma iekārta materiālu vibrotriecienpresēšanai. LR Patents Nr. 12478 no 20.08.2000.g.
15. <http://www.instron.com/>
16. Auzins J.; Janushevskis A.; Rikards R. Software Tool EDAOpt for Optimization of Complex Systems // In: Book of Abstracts. XXXI International Conference “Advanced Problems in Mechanics”, June 22 - July 2, 2003, Russian Academy of Sciences, Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik - St. Petersburg, Russia, p. 24-25.
17. Auziņš J., Januševskis A. Eksperimentu plānošana un analīze. ISBN 978-9984-32-157-8 – Rīga, RTU, 2007. - 256. lpp.

Januševskis A., Auziņš J., Kovaļska A., Meļņikovs A., Ozoliņš O. Vibrotriecienpreses ģeometriskā un aprēķinu modeļu izstrāde

Tiek apspriesta augstas stiprības betona tehnoloģiju efektivitāte. Vibrotriecienpresēšana ir viens no betona tehnoloģiju intensīvākajiem dinamiskajiem paņēmieniem. Radīts vibrotriecienpreses ģeometriskais 3D modelis, kas nodrošina aprēķiniem nepieciešamos inerciālos parametrus ar augstu precizitāti. Tiek apspriesta formējamās vides adekvāta dinamiskā modeļa izstrādes nepieciešamība. Izprojektēts un izgatavots nepieciešamais aprīkojums, kas ļauj veikt eksperimentus ar visdažādākās receptūras maisījumiem, lai identificētu to elastīgi disipatīvos raksturojumus. Izstrādāta eksperimentu metodika, izmantojot Instron 8802 testēšanas mašīnu, lai noteiktu dažādu formējamo objektu raksturojumus kā pie statiska tā arī dinamiska slodzes. Pamatojoties uz iegūtajiem eksperimentālajiem rezultātiem, iegūtas tehnoloģiskā spēka statisko raksturojumu aproksimācijas un elastīgi disipatīvo parametru vērtības konkrētas receptūras maisījumiem. Veiktie eksperimentālie darbi un iegūtie rezultāti ļauj formulēt vibrotriecienpresēšanas iekārtas pilnvērtīgu modeli, ievērtējot precizētu tehnoloģiskās slodzes modeli.

Janushevskis A., Auzins J., Kovalska A., Melnikovs A., Ozolins O. Development of geometrical and computational model of vibro impact press

The high strength concrete technologies are considered. Vibro impact pressing is one of the intensive dynamical methods of concrete technologies. 3D geometrical model of vibro impact press is developed giving inertial parameters with high precision for calculations. Necessity of developing of adequate dynamic model of molding object is discussed. Necessary equipment is designed and produced allowing implementation of experiments for various compositions of concrete mixtures with aim to identify the elastic and dissipative characteristics. Methodic for experiments by using testing machine Instron 8802 is developed to detect characteristics of different molding items in case of static and dynamic loading. Based on experimental results the approximations of static characteristics as well as elastic and dissipative parameters of technological load are obtained for the specific compositions of mixture. The realized experimental works and obtained results allow formulating the valuable model of vibro impact press taking into account the accurate model of technological load.

Янушевскис А., Аuzиньши Я., Ковальска А., Мельниковс А., Озолиньши О. Разработка геометрической и расчетной моделей виброударного пресса

Обсуждается эффективность технологий бетона высокой прочности. Виброударное прессование является одним из способов интенсивных динамических технологий бетона. Создана пространственная геометрическая модель виброударного пресса, которая обеспечивает получение значений с высокой точностью для инерционных параметров необходимых для расчетов. Обсуждается необходимость разработки адекватной динамической модели обрабатываемой среды. Спроектирована и изготовлена необходимая оснастка, которая позволяет проведение эксперимента со смесями разнообразной рецептуры с целью идентификации их упруго диссипативных характеристик. Разработана методика экспериментов с использованием машины тестирования Instron 8802 для определения характеристик различных формируемых объектов, как при статической, так и динамической нагрузках. Основываясь на полученные экспериментальные результаты, приведены аппроксимации статических характеристик технологической нагрузки, а также значения упруго диссипативных параметров для смесей конкретной рецептуры. Проведенные экспериментальные работы и полученные результаты позволяют сформулировать полноценную модель виброударного пресса, учитывающую уточненную модель технологической нагрузки.