

THE RULING PRINCIPLES OF PRESSED CONCRETE MIX COMPACTION PROCESS AND PROPERTIES

J. Deltuva & Ž. Rudžionis

To cite this article: J. Deltuva & Ž. Rudžionis (1999) THE RULING PRINCIPLES OF PRESSED CONCRETE MIX COMPACTION PROCESS AND PROPERTIES, *Statyba*, 5:3, 206-210, DOI: [10.1080/13921525.1999.10531463](https://doi.org/10.1080/13921525.1999.10531463)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.1999.10531463>



Published online: 26 Jul 2012.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 62

PRESUOJAMO BETONO MIŠINIO SAVYBIŲ IR TANKINIMO PROCESO DERINIMO PRINCIPAI

J. Deltuva, Ž. Rudžionis

1. Įvadas

Gaminių presavimo technologija sudaro sąlygas automatizuoti gamybą, gaminti tikslių matmenų, didelio stiprumo, lygių paviršių statybinius elementus, kurie statyboje plačiai naudojami apdailai ir aplinkai tvarkyti. Tačiau yra daug ir neišspręstų presavimo technologijos klausimų. Vienas iš svarbiausių – nepakankamai tiksliai įvertinamas betono mišinių savybių, presavimo slėgio ir mišinio tankinimo funkcinis suderinimas. Dažnai presavimo slėgis parenkamas intuityviai, todėl gaminiai būna nepakankamai sutankinti arba suslėgti tiek, kad trupa užpildai. Ir vienu, ir kitu atveju nukenčia gaminių kokybė. Presuoto betono savybių prognozavimas, įvertinant technologinio proceso operacijas, labai svarbus gamybos etapas. Norint skaičiavimais nustatyti reikiamas įrenginių charakteristikas (preso slėgį, hidraulinio cilindro eigą, presformos aukštį) ir gaminio savybes (jo aukščio tolerancijų pastovumą, tankį, stiprumą), reikia nustatyti svarbiausių technologinių procesų ir betono mišinio struktūrinių charakteristikų matematinės priklausomybes.

Mišinių presuojamumą apskritai lemia betono mišinio reologinės savybės. Įvairių mokslininkų tyrimai aiškinant presuotą betono mišinių savybių priklausomybes nuo įvairių faktorių buvo mažai susiję su inžineriniais skaičiavimais. Jų gauti rezultatai labai išsibarstę [1–6] arba išreikšti sudėtingomis matematinėmis priklausomybėmis [7, 8]. Aiškinama, kad betono mišinio presuojamumą lemia labai daug veiksnių: tai ir betono mišinio komponentų santykis, užpildų stambumas, jų paviršiaus šiurkštumas, vandens, plastifikatų ir dispersinių priedų kiekis, presformos paviršiaus lygumas ir sutepimas, presavimo greitis ir kt.

Skirtingi autoriai taiko įvairius presuojamo betono mišinio tankinimo optimizavimo kriterijus. Tačiau visų bendras tikslas yra gauti kuo tankesnę betoną, nes tuomet jis būna labai stiprus ir ilgaamžis. I. Bleščikas [7] ir I. Dudaris [8] pateikė priklausomybės tarp

santykinės betono mišinio deformacijos ir presavimo slėgio nustatymo būdą, kuris yra pakankamai sudėtingas dėl gausybės įvairių veiksnių, koeficientų, kurių dydžio parinkimas ir prasmės apibūdinimas dažnai būna problemiškas. Z. Tadmoras [5] ir A. Berežnojus [3] aprašė betono poringumo priklausomybę nuo presavimo slėgio. Jų gautų empirinių funkcijų koeficientai skirtingų sudėčių betono mišiniams yra kintami ir nepakankamai apibrėžti. I. Achverdovas [6] ir I. Kandaurovas [4] dispersinių sistemų deformavimąsi siūlo apskaičiuoti pagal kompresijos kreives, kurios nustatomos eksperimentiškai. Keičiantis dispersinių sistemų komponentų charakteristikoms ir norint gauti patikimus skaičiavimo rezultatus, kiekvienam atvejui būtina nustatyti kompresijos kreivę. O tam reikia atlikti daug eksperimentų.

2. Betono mišinio presuojamumo tyrimas

Šiame darbe buvo siekiama gauti priklausomybę tarp presavimo slėgio ir betono mišinio santykinio tankio, įvertinant apibendrintas betono mišinio struktūros charakteristikas.

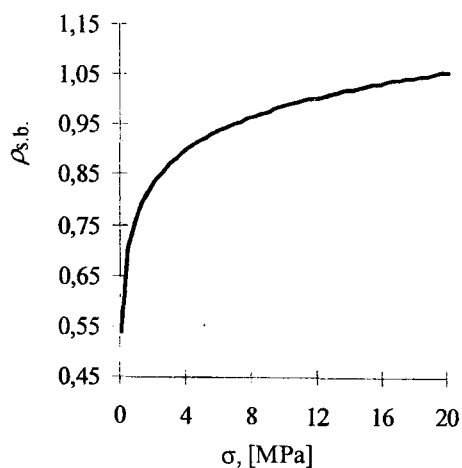
Eksperimentiniai tyrimai buvo atlikti taip: paruošti betono mišiniai buvo presuojami nekintančiu greičiu (0,3...0,4 MPa/s) iki 20 MPa slėgio; kartu buvo matuojamos betono mišinio deformacijos (ne mažiau kaip 7 slėgio etapuose). Pagal supresuoto bandinio tankį, deformaciją ir savitąjį tankį buvo apskaičiuojama betono mišinio santykinio tankio kitimo kinetika presavimo metu. Santykinis betono mišinio tankis apskaičiuotas taip:

$$\rho_{s.b.} = \frac{\rho_{b.m.p.}}{\rho_{sav.b.m.}}, \quad (1)$$

$\rho_{s.b.}$ – santykinis betono mišinio tankis; $\rho_{sav.b.m.}$ – savitasis betono mišinio tankis; $\rho_{b.m.p.}$ – presuoto betono mišinio tankis įvairiuose slėgio etapuose.

Betono mišinių sudėtys šiems skaičiavimams buvo parenkamos taip, kad kuo labiau atitiktų presuotų gaminių charakteristikas. Buvo keičiamas vandens ir cemento santykis, užpildų stambumas, smulkiųjų ir stambiųjų užpildų santykis, dedami į betono mišinius įvairūs priedai, kurių optimalūs kiekiai buvo nustatyti pagal cementinio akmens savybes. Skaičiavimais apibendrinta 30 įvairių betono mišinio sudėčių presuojamumo duomenys. Kad gauti rezultatai būtų patikimesni, bandymai buvo kartojami ne mažiau kaip po tris kartus su tos pačios sudėties betono mišiniu. Apskaičiuotų rezultatų išsibarstymas apibūdintas santykinę paklaidą kiekviename iš gautų santykinio tankio kitimo taškų. Nustatyta, kad santykinės paklaidos vidutinė reikšmė yra 1,79%, maksimali – 11,12%. Tai leidžia teigti, kad eksperimentai buvo atlikti pakankamai tiksliai.

Analizuojant bandinių presavimo procesą, pastebėta, kad į presformą laisvai supilant betono mišinį, iš stambiųjų dalelių ir jas gaubiančio smulkaus mišinio susidaro savitas tuštymėtas karkasas. Kuo didesnis vandens kiekis, tuo šis tuštymėtumas mažesnis. Kad betono mišinys sutankėtų, būtina papildoma išorinė apkrova, kuri turi būti didesnė už mišinio vidaus trintį. Iš 1 pav. pateiktos kreivės, apibendrinančios visų 30-ties betono sudėčių santykinio tankio kitimą presuojant, matyti, kad, slegiant betono mišinį, iš pradžių jis intensyviai tankėja. Didėjant tankiui betono mišinio deformacija mažėja. Tankinimui reikia nuolat didėjančio slėgio, nes mažėja presuojamo betono mišinio poringumas, didėja vidinė trintis, sunkiau pasislenka dalelės.



1 pav. Betono mišinio santykinio tankio kitimas nuo presavimo slėgio

Fig 1. Concrete mix relative density change depending on

pressing pressure

Presavimas yra efektyvus tik iki tol, kol susiformuoja užpildo skeletas, kuris gali perimti presavimo jėgą. Slėgiui viršijus šią ribą, skilinėja užpildai. Norint išvengti užpildų skilinėjimo, naudojami betono mišiniai su padidintu cementinės tešlos, arba ir mikroužpildo, kiekiu, t. y. užpildų tuštymių perpildymo koeficientas β turi būti didesnis už vienetą. Kai $\beta \approx 1$, tokiam mišiniui sutankinti reikia didelio slėgio. Didinant tuštymių perpildymo koeficientą, galima mažinti presavimo slėgį. Rekomenduojamas $\beta > 1,2$.

Presuojant betono mišinius, iš kai kurių išspausintas vanduo. Išspaudžiant vandenį persiskirsto betono mišinio dalelės, pakinta betono mišinio komponentų tūrinės koncentracijos, didėja jo savitasis tankis. Skaičiuojant galima gauti $\rho_{s.b.} > 1$ (1 pav.). Tokia santykinio betono mišinio tankio reikšmė realiai negalima. Gali būti tik skaičiuotina ($\rho_{s.b.sk.}$) ir tik tuo atveju, kai iš presuojamo betono mišinio išspaudžiamas vanduo.

Presuojamo betono mišinio struktūrai įvertinti galima taikyti struktūrinių elementų metodą ir struktūrinės charakteristikas, kurių išraiškos plačiau aprašytos [9, 10] publikacijose. Šios charakteristikos yra tokios: – santykinis betono užpildų tankis:

$$\rho_{s.u.} = A \ln(D/d) + B, \quad (2)$$

D ir d – atitinkamai stambesniųjų (struktūrinių elementų branduolių) ir smulkesniųjų dalelių vidutiniai skersmenys, A ir B – koeficientai;

- užpildų tuštymių perpildymo koeficientas β cementine tešla:

$$\beta = \frac{\varphi_{c.t.}}{1 - \rho_{s.u.}}, \quad (3)$$

$\varphi_{c.t.}$ – cementinės tešlos tūrinė koncentracija vieneto dalimis $1m^3$ betono mišinio.

Betono mišinio struktūrinio elemento tūris yra mažiausias sąlygiškai išskirto narvelio tūris, į kurį įeina visi komponentai tomis pačiomis proporcijomis kaip visame tūryje:

$$V_{st.} = \frac{\pi D^3}{3 \rho_{s.u.}} [(1 - \rho_{s.u.})(\beta - 1) + 1] \quad (4)$$

Vandens įtakai betono mišinio presuojamumui įvertinti buvo pasirinktas viso vandens kiekio V ir fiziškai surišto vandens V_v (cemento, užpildų, mikroužpildų, pigmentų dalelių paviršiais) santykis mišinyje. Kadangi presuojamame betono mišinyje pagal hid-

raulikos dėsnius kapiliarais ir poromis gali laisvai judėti tik laisvasis vanduo, galima teigti, kad galimas vandens išspaudimas presuojamame mišinyje, tik kai V/V_s santykis didesnis už vieneta. Fiziškai surišto vandens plėvelės storis ant kietosios fazės paviršiaus yra nevienodas, ypač presuotuose mišiniuose. I. Achverdovo [6] ir I. Bleščiko [7] darbuose nustatytos jų vidutinės reikšmės visų betono mišinio komponentų atžvilgiu yra pakankamai tikslios. Remiantis šių mokslininkų skaičiavimų metodika, buvo apskaičiuotos V_s ir V/V_s reikšmės.

3. Presuojamo betono mišinio savybių įvertinimo principai

Ieškant funkcinės priklausomybės tarp santykinio betono mišinio tankio ir presavimo slėgio, pastebėta, kad geriausiai ją apibūdina logaritminė funkcija (1 pav.).

Gaunama tokia presavimo slėgio ir santykinio betono mišinio tankio priklausomybė:

$$\rho_{s.b.} = a \ln \sigma + b. \quad (5)$$

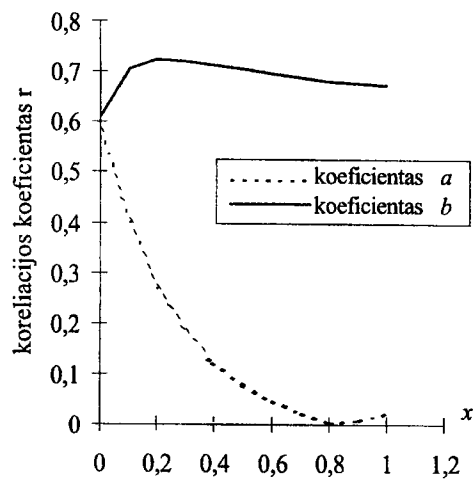
Kiekvienai betono sudėčiai mažiausių kvadratų metodu apskaičiavus a ir b koeficientų reikšmes ir nustačius statistinės kreivės koreliacijos koeficientus, gautos jų kitimo ribos nuo $r=0,968$ iki $r=0,998$.

Iš (5) statistinės priklausomybės matyti, kad koeficientas a apibūdina presuojamo betono mišinio tankio kitimo kinetiką. Koeficientas b apibūdina betono mišinio pradinę santykinio tankio reikšmę, esant mažai presavimo apkrovai (šiuo atveju $\rho_{s.b.} \approx b$, esant presavimo slėgiui 0,1 MPa). Norint nustatyti a ir b koeficientų priklausomumą nuo įvairių veiksnių, darančių įtaką betono mišinio presuojamumui, buvo rentasi apibendrinančiomis betono mišinius struktūrinėmis charakteristikomis.

Pastebėta, kad tuštymų perpildymo koeficientas β netiesiogiai apibūdina galimą stambųjų dalelių persiskirstymą presuojant, t. y. jų laisvumo lygį skiedininėje dalyje. Šiam veiksniui įvertinti buvo pasirinktas struktūrinio elemento kraštinės ilgio L ir jo branduolio skersmens D santykis. Išreiškus šį dydį minėtomis struktūrinėmis charakteristikomis gauta formulė:

$$\frac{L}{D} = 3 \sqrt[3]{\frac{\pi}{3} \left(\frac{\varphi_{c.t.}}{\rho_{s.u.}} + 1 \right)} = 1,0153 \sqrt[3]{\frac{\varphi_{c.t.}}{\rho_{s.u.}} + 1}. \quad (6)$$

Išanalizavus presuojamo betono mišinio tankėjimo kinetiką, nustatyta, kad lemiamą vaidmenį šiam



2 pav. Koreliacijos koeficiento priklausomybė nuo struktūrinių charakteristikų L/D ir V/V_s įtakingumo dalių x
Fig 2. Dependence of correlation coefficient on structural characteristics L/D and V/V_s influential parts x

procesui turi laisvasis vanduo ir skiedininės dalies tarpsluoksnio storis, t. y. atitinkamai šios struktūrinės charakteristikos V/V_s ir L/D . Pastebėta, kad šios struktūrinės charakteristikos geriausiai apibūdina presuojamumą ir tiesiškai priklauso nuo (5) formulės a ir b koeficientų verčių. Nustatyta, kad viso ir surišto vandens (V/V_s) bei struktūrinio elemento kraštinės ilgio ir branduolio skersmens (L/D) santykiai turi nelygiavertę įtaką betono mišinio presuojamumui. Iš eksperimentinių duomenų buvo sudarytos (5) lygties koeficientų a ir b funkcinės priklausomybės:

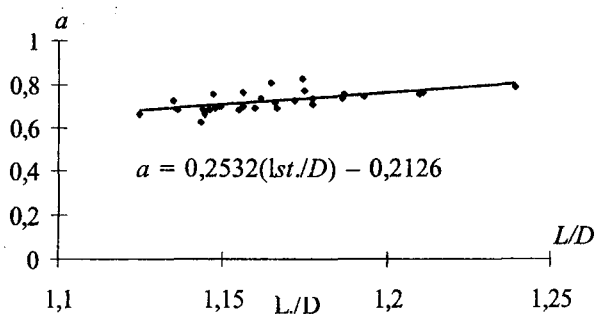
$$a = c \left(x \frac{V}{V_s} + (1-x) \frac{L}{D} \right) + e, \quad (7)$$

$$b = f \left(x \frac{V}{V_s} + (1-x) \frac{L}{D} \right) + g, \quad (8)$$

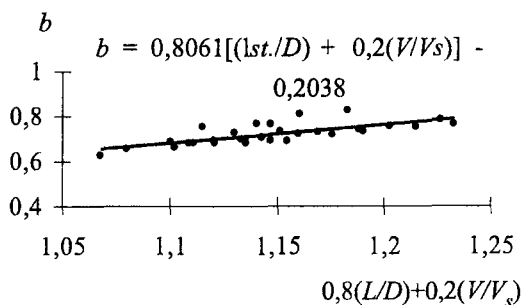
c, e, f, g – empiriniai koeficientai; x – V/V_s ir L/D įtakingumo dalys.

Atitinkamai keičiant V/V_s ir L/D įtakingumo dalis (x), nustatyti šių funkcijų koreliacijos koeficientai. Koreliacijos koeficientų priklausomybė nuo struktūrinių charakteristikų, įvertinant įtakingumo dalį (x), pateikta 2 paveiksle. Iš 2 pav. duomenų matyti, kad koeficiento a , t. y. presuojamo betono mišinio santykinio tankio kitimo kinetiką geriausiai apibūdina L/D santykis. Tuomet gaunama ši (9) funkcinė priklausomybė (3 pav.):

$$a = 0,25 \frac{L}{D} - 0,21. \quad (9)$$



3 pav. Koeficiento a priklausomybė nuo L/D
Fig 3. Dependence of coefficient a on L/D



4 pav. Koeficiento b priklausomybė nuo $0,8(L/D)+0,2(V/V_s)$
Fig 4. Dependence of coefficient b on $0,8(L/D)+0,2(V/V_s)$

Presavimo pradžioje, esant nedideliame slėgiui, betono mišinys tankėja intensyviai. Šiuo metu didžiausią įtaką turi ne tik L/D , bet ir V/V_s santykis. Koeficiento b priklausomybė nuo $(0,2V/V_s + 0,8L/D)$ sumos aprašyta funkcija (10) ir pavaizduota 4 paveiksle:

$$b = 0,8 \left(0,8 \frac{L}{D} + 0,2 \frac{V}{V_s} \right) - 0,2 = 0,64 \frac{L}{D} + 0,16 \frac{V}{V_s} - 0,2. \quad (10)$$

Pagal gautas matematinės išraiškas (5), (9) ir (10) apskaičiuavus skaičiuojamąsias santykinio betono mišinio tankio reikšmes ir paklaidą tarp skaičiuojamųjų ir bandymų metu gautų rezultatų (gauta vidutinė santykinė paklaida lygi 4,79%), galime teigti, kad šių formulių patikimumas yra pakankamas. Norėtusi pabrėžti, kad šios formulės gautos iš eksperimentinių rezultatų, bandant standžius betonų mišinius, jos tinka tiems betonų mišiniams, kurių slankumas yra lygus 0 cm.

Iš formulių (5), (9), (10) įmanoma prognozuoti apie galimą vandens išspaudimą iš presuojamo betono mišinio. Apskaičiuavus supresuoto betono mišinio santykinio tankio reikšmę ir gavus daugiau kaip vieną, galima tikėtis, kad iš betono mišinio bus išspaus-

vanduo, kartu keisis tūrinės betono komponentų koncentracijos ir savitasis betono mišinio tankis. Pastarasis bus lygus:

$$\rho_{sav.} = \rho_{sav.b.m.} \cdot \rho_{s.b.sk.}, \quad (11)$$

$\rho_{sav.}$ – savitasis betono mišinio tankis be išspaus vandens.

Esant vandens išspaudimui, betono mišinyje keičiasi komponentų tūrio koncentracijos, todėl būtina apskaičiuoti šių koncentracijų pakitimo koeficientą ϵ_v . Jis lygus:

$$\epsilon_v = \frac{1}{1 - \left(\frac{V_{iš.}}{1000} \right)}, \quad (12)$$

$V_{iš.}$ – išspaus vandens kiekis litrais iš 1 m³ betono mišinio.

Išspaus iš betono mišinio vandens kiekį galime apskaičiuoti pagal tokią formulę:

$$V_{iš.} = \frac{\rho_{sav.} - \rho_{sav.b.m.}}{\left(\frac{\rho_{sav.}}{1000} \right) - 1}. \quad (13)$$

Palyginę teoriškai apskaičiuotą, t. y. galintį išspaus vandens kiekį su eksperimentiškai nustatytu išspaus vandens kiekiu 1m³ betono mišinio, gavome apytiksliai vienodus reikšmes. Norint apskaičiuoti patikslintas struktūrines charakteristikas po vandens išspaus, būtina įvertinti išspaus vandens kiekį ir betono mišinio komponentų tūrinių koncentracijų pasikeitimą.

Apskaičiuojant supresuoto betoninio gaminio aukštį ir sutankinimo lygį, reikia žinoti galimą santykinę betono mišinio deformaciją (betono mišinio susispaudimo aukštį). Ją galima apskaičiuoti taip:

$$\epsilon_h = \frac{\rho_{s.b.sk.} - \rho_{s.b.o.}}{\rho_{s.b.sk.}} 100, \quad (14)$$

$\rho_{s.b.o.}$ – piltinis betono mišinio tankis, apskaičiuojamas esant nuliniame presavimo slėgiui pagal (5), (9), (10) formules.

4. Išvados

Šiame darbe atliktas presuojamų betonų mišinių eksperimentinių tyrimų matematinis aprašymas, įverti-

nantis apibendrintas betono mišinio struktūrinės charakteristikas, leido gauti pakankamai tikslias formules, tinkančias patikslinti presuojamo betono sudėtis, presavimo slėgiui optimizuoti ir sutankinto betono mišinio tankiui, santykinei betono mišinio deformacijai prognozuoti.

Literatūra

1. М. Райнер. Деформация и течение. Введение в реологию. М.: Гостоптехиздат, 1963. 381с.
2. Л. А. Файтельсон. К определению реологических характеристик бетонных смесей // Автоматизация и совершенствование процессов приготовления, укладки и уплотнения бетонных смесей: Труды НИИЖБ. Вып. 21. М.: Стройиздат, 1981, с. 286-291.
3. Н. Ф. Еремин. Процессы и аппараты в технологии строительных материалов. М.: Высшая школа, 1986. 280 с.
4. И. И. Капдауров. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве. Ленинград: Стройиздат, 1988. 280 с.
5. З. Тадмор, К. Гогос. Теоретические основы переработки полимеров. М.: Химия, 1984. 629 с.
6. И. Н. Ахвердов. Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.
7. И. П. Блещик. Структурно-механические свойства и реология бетонной смеси и прессвакуумбетона. Минск: Наука и техника, 1977. 232 с.
8. Промышленность строительных материалов. Серия 3. Промышленность сборного железобетона. Выпуск 2. Совершенствование технологии производства изделий из вибропрессованных бетонов. М.: ВНИИЭСМ, 1989. 81 с.
9. J. Deltuva. Heterogeninių medžiagų sandara ir savybės: Monografija. Kaunas: Technologija, 1998. 264 p.
10. J. Deltuva. Betono makrostruktūros transformavimas į struktūrinius elementus // 4-osios tarptautinės konferencijos „Naujos statybinės medžiagos, konstrukcijos ir technologijos“, įvykusios Vilniuje 1995 m. gegužės 10-13 d., straipsniai. Vilnius: Technika, 1995, I t., p. 86-91.

Įteikta 1999 06 10

THE RULING PRINCIPLES OF PRESSED CONCRETE MIX COMPACTION PROCESS AND PROPERTIES

J. Deltuva, Ž. Rudžionis

S u m m a r y

The pressed products technology allows to automate production, to manufacture construction elements for finishing and grinding with precise dimensions, high strength, plain surface. But there are many unsolved problems in pressed products technology. The main of them are connected with the dependence of pressing pressure on concrete mix compaction level and its properties.

The article deals with the mathematical description of pressed concrete mix properties when using concrete mix structural characteristics. The possibility was found to forecast pressed concrete mix needful pressure weight, density of product or relative deformation.

Juozas DELTUVA. Doctor, Associate Professor. Dept of Building Materials. Kaunas University of Technology (KTU). Studentų 48, 3031 Kaunas, Lithuania.

Doctor (1966). In 1969-79 and 1988-95 Head of the Dept of Building Materials at KTU. In 1995-99 Head of the Research Laboratory of Building Materials and Construction. Research interests: mineral raw materials, their remaking, structural analysis of heterogeneous materials.

Žymantas Rudžionis. Senior Assistant. Dept of Building Materials. Kaunas University of Technology (KTU). Studentų 48, 3031 Kaunas, Lithuania.

Since 1989 at KTU laboratory of Building Materials. Since 1991-96 a postgraduate student at KTU. Research interests: dense decorative concrete: production and investigation into its properties.