

## RESEARCH ON THE STABILITY OF BUILDING MIXTURE STRUCTURE

J. Deltuva

To cite this article: J. Deltuva (2001) RESEARCH ON THE STABILITY OF BUILDING MIXTURE STRUCTURE, *Statyba*, 7:6, 441-445, DOI: [10.1080/13921525.2001.10531770](https://doi.org/10.1080/13921525.2001.10531770)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.2001.10531770>



Published online: 30 Jul 2012.



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



Article views: 49

---

## STATYBINIŲ MIŠINIŲ STRUKTŪROS TYRIMAS

J. Deltuva

*Kauno technologijos universitetas*

### 1. Įvadas

Kiekviena dirbtinė statybinė medžiaga tam tikroje gamybos stadijoje yra mišinys. Mišinio paruošimo stadijoje komponuojama medžiagos cheminė ir mechaninė sudėtis, sudaromos prielaidos fizikiniams, cheminiams ir technologiniams procesams vykti tokia kryptimi, kad būtų gautas norimų savybių galutinis produktas. Vienas iš plačiausiai naudojamų heterogeninių mišinių yra nesukietėjęs betono mišinys ir kietasis mišinys – betonas.

Įprastojo betono kokybei įvertinti galiojantys standartai reglamentuoja tik vienos iš svarbiausių savybių – stiprio rodiklio patikimumą, nustatytą pagal išbandytų bandinių skaičių ir apskaičiuotą pagal stiprio kitimo variacijos koeficientą. Tai yra labai svarbu, bet dažnai to nepakanka. Betono stiprumą galima užtikrinti įvairiais būdais – keičiant mišinio sudėtį, ypač vandens ir cemento santykį, užpildų granulimetrinę sudėtį ir taikant specialias technologines priemones.

Kol kas betono struktūros stabilumo patikimumas tiesiogiai neregamentuojamas, o apibūdinamas tik netiesioginių bandymų rodikliais – pagal vandens įgėrio kinetiką, uždarytųjų ir atvirųjų porų kiekį, atsparumą šalčiui ir kt. Savaiame suprantama, kad kiekvienas šių rodiklių savaip ir tik iš dalies įvertina betono struktūrą. Kita vertus, netiesioginiais būdais yra įvertinamos betono struktūros tobulumo ar netobulumo pasekmės, bet ne pati struktūra. Pastaruoju metu vis plačiau taikomi tam tikros paskirties specialieji betonai: didelio stiprumo; nelaidūs vandeniui; atsparūs šalčiui; atsparūs šalčio ir druskų poveikiui; atsparūs cheminiam poveikiui; atsparūs dilimui; atsparūs aukštai temperatūrai (iki 250°C) povandeninio betonavimo ir kt. Šie betonai vienas nuo kito skiriasi savita struktūra, todėl ir vienodos struktūros užtikrinimas juos gaminant yra ypač svarbus.

Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų skaičiavimui greta betono stiprio charakteristikos reikalingi ir

kitų savybių rodikliai: tamprumas, deformatyvumas, atsparumas kai kuriems specifiniams mechaniniams, cheminiams bei fizikiniams poveikiams. Prognozuojant betono atsparumą minėtiems poveikiams, dažnai taikomi panašumo teorijos ir modeliavimo metodai. Todėl betono struktūros, vienodumo, panašumo ir patikimumo aprašymui turi būti nustatyti ir taikomi tokie vertinimo kriterijai, kurie atitiktų panašumo bei modeliavimo teorijos reikalavimus.

Kiekvienos sistemos patikimumo analizė turi remtis tiksliais ir vienareikšmėmis sąvokomis bei terminais. Tam geriausiai tinka tikimybių teorijoje vartojamos sąvokos ir terminai.

Žinant, kad medžiagos kokybės patikimumas yra technologinė savybė, remiantis patikimumo teorijos dėsniais, galima suformuluoti mišinio, kaip medžiagos, struktūros stabilumo patikimumo apibrėžimą.

Statybinių grūdėtųjų mišinių struktūros stabilumo patikimumą galima apibrėžti taip: tai tikimybė, kad, esant sėkmingoms sąlygoms, per tam tikrą laikotarpį bus pagamintas vienodos sudėties, vienodos struktūros ir vienodų savybių reikiamas mišinio (medžiagos) kiekis.

Sistemoje atsiradusią neatitiktį reikia suprasti kaip laiko funkciją, kurią galima išreikšti taip [1]:

$$P(t < t) = F(t), \quad t > 0, \quad (1)$$

$t$  – atsitiktinis dydis, apibūdinantis sistemą iki neatitikties;  $F(t)$  – tikimybė, kad sistema be neatitikties bus naudojama iki laikotarpio  $t$ .

Tikimybė, kad sistema laikotarpį  $t$  bus naudojama be trukdžių, galima užrašyti taip:

$$R(t) = 1 - F(t) = P(t > t), \quad (2)$$

$R(t)$  – tikimybė, kad sistema dirbs be trukdžių.

Medžiagos struktūros vienodumo ar panašumo patikimumas gali būti įvertinamas dviem etapais: pagal paruošimo operacijas arba pagal galutinio produkto, nustatyto eksperimentiniu būdu, patikimumą. Gamybos ope-

racijų patikimumo nustatymo būdas yra pranašesnis už patikimumo nustatymą pagal galutinį produktą tuo, kad greičiau galima aptikti galutinio produkto neatitiktis priešastis, jei tokių yra, arba rasti rezervų technologiniams procesams tobulinti.

Šio darbo tikslas – taikant struktūrinių elementų metodą, sudaryti diskretinių dydžių, kuriais galima būtų įvertinti betono struktūros stabilumą, sistemą ir kad per reikiamą gamybos laikotarpį mišinių ir gaminių struktūra būtų įvardyta kaip patikimai vienoda.

## 2. Betono komponentų kai kurių savybių kitimo ribos

Pagal galiojančius betono atitikties vertinimo standartus jis laikomas vienodu, jeigu į mišinį dedama vienoda komponentų koncentracija ir jis buvo pagamintas vienodomis sąlygomis. Tačiau dažnai neįvertinamas realus komponentų savybių kitimas todėl, esant tai pačiai komponentų koncentracijai, gaunamas skirtingos struktūros ir savybių betonas. Leistinas komponentų savybių kitimas yra nevienareikšmis. Leistini platūs rodiklių nuokrypiai komponentų gamybos metu, tačiau betono gamyboje turėtų būti kur kas mažesni tų pačių rodiklių nuokrypiai.

Iš kai kurių betono ir gelžbetonio įmonių surinkus duomenis apie betono komponentus, nustatyta šių medžiagų techninių rodiklių, kurie turi įtakos betono struktūrai, sklaida. Į gamyklas tiekiamo tos pačios CEM 42,5 klasės skirtingų partijų cemento stiprio sklaidos ribos – 10 MPa. Vien tik dėl skirtingo cemento stiprio betono stipris gali kisti iki 30%. Norint sumažinti betono stiprio kitimą, reikėtų koreguoti mišinio sudėtį, t. y. keisti betono struktūrą.

Kur kas didesnė užpildų savybių rodiklių sklaida. Stambų užpildą dažniausiai sudaro tik dviejų frakcijų dalelės, todėl jų granulimetrinė sudėtis turėtų nedaug kisti. Bandymai parodė, kad realiai taip nėra, nes, stambų užpildą sijojant per vidutinio tankumo sieta, išbiros masės variacijos koeficientas siekia 62%. Dar didesnė smėlio stambumo rodiklių sklaida. Eksperimentais nustatyta, kad betonui naudojamo to paties telkinio polifraccinio smėlio (0/4 mm frakcijos) stambumas yra nevienodas. Šis nevienodumas atsiranda dėl žaliavos skirtingos granulimetrinės sudėties, geologinės sanklodos nevienodumo, perdirbimo technologijos savitumo ir kitų priežasčių.

Betono mikro- ir makrostruktūros formavimui didelės įtakos turi smulkioji smėlio frakcija (0/0,25 mm). Kai jos nėra, susidaro cementinės teslos sancaupų tarp stambesnių kaip 0,25 mm dalelių užpildo. Tarp tų dalelių, kietėjant cementui, dėl fizikinių ir cheminių procesų gali atsirasti lokalinių mikroplyšių.

Išanalizavus smėlio, gaunamo iš to paties tiekėjo, granulimetrinę sudėtį (keturiolika partijų), nustatyta, kad smėlio išbiros per 0,25 mm akelių sieta kitimo ribos labai plačios. Jos masės variacijos koeficientas 66,50%. Eksperimentais nustatyta, kad gaminant vienos atmainos betoną smulkiųjų dalelių kartais yra per daug, o kartais – per mažai. Dėl šios priežasties faktiškai gaunamas skirtingos struktūros ir skirtingų savybių betonas, nes gaunamas skirtingas betono stipris, vandens igėris ir pan.

Smėlio granulimetrinė sudėtis turi didelės įtakos cemento sąnaudoms ir betono struktūrai. Kitoje gamykloje nustačius per pusę metų tiekto 28 partijų smėlio piltinį tankį gauta, kad jis kinta nuo 1430 kg/m<sup>3</sup> iki 1620 kg/m<sup>3</sup>, arba santykinis tankis kinta nuo 0,563 iki 0,616. Tai rodo, kad suprojektuotas betono mišinių sudėtis gamybos metu būtina koreguoti ir optimizuoti, atsižvelgiant į gaunamų komponentų techninius rodiklius: naudojamo smėlio stambumą, santykinį tankį, cemento aktyvumą, betono reikiamą stiprį ir fizikines savybes. Tačiau kartu turėtų būti atitinkamai kontroliuojama ir betono struktūra, bet tokio reikalavimo betono atitikties standarte nėra.

## 3. Betono mišinių makrostruktūros projektavimo principai

Projektuojant tankios struktūros betono mišinio racionalią sudėtį, būtina optimizuoti užpildų granulimetrinę sudėtį. Optimizavimui galima taikyti kelis būdus: eksperimentinį, pagal sudarytus grafikus, pagal stambumo modulių santykius, pagal stambiųjų ir smulkiųjų dalelių vidutinių skersmenų santykį ir kitus. Optimizavimas pagal stambiojo ir smulkiojo užpildo santykį turi privalumą, nes pagal šių dalelių skersmenis galima apskaičiuoti struktūrinių elementų matmenis ir analizuoti betono makrostruktūrą. Skaičiavimus tikslinga atlikti tokiu tvarka:

1. Apskaičiuojamas viso užpildų mišinio santykinis tankis  $\rho_s$ , pagal (3) formulę turėtų būti  $\rho_s \geq 0,75$ . Jeigu gautas rezultatas netenkina, reikia keisti  $(D/d)$  santykį:

$$\rho_s = a \ln(D/d) + b, \quad (3)$$

$D$  ir  $d$  – atitinkamai stambiųjų ir smulkiųjų dalelių vidutiniai skersmenys;  $a$  ir  $b$  – koeficientai ( $a = 0,063$ ;  $b = 0,63$ ).

2. Apskaičiuojamas užpilde esančių tuštymių tūris  $T$  l/m<sup>3</sup> mišinio:

$$T = (1 - \rho_s) 1000. \quad (4)$$

3. Apskaičiuojamas cementinės tešlos tūris, reikalingas užpildo tuštymėms užpildyti. Projektuojant tankios struktūros betono mišinį, cementinės tešlos tūris turi būti šiek tiek didesnis už užpilde esančių tuštymių tūrį. Jis gali būti apskaičiuojamas pagal tokią formulę:

$$V_{t.už.} = (1 - \rho_s) \beta 1000, \quad (5)$$

$V_{t.už.}$  – užpildo tuštymių tūris, l/m<sup>3</sup>;  $\beta$  – tuštymių perpildymo koeficientas, parenkamas atsižvelgiant į norimo gauti mišinio slankumą ir struktūrą.

Apskaičiuojant cementinės tešlos tūrį, kai užpildai sausi, pridedamas vandens kiekis užpildų paviršiumi sudrėkinti ir paviršiniam įgėrimui, o kai užpildai šlapi, atitinkamai įvertinamas juose esančio vandens kiekis.

4. Cemento kiekis apskaičiuojamas pagal tipines formules, atsižvelgiant į projektuojamo betono stiprį, cemento klasę,  $V/C$  santykį ir reikalingą betono mišinio slankumą.

Betono stiprumui įvertinti galima taikyti supaprastintą funkcinę priklausomybę, kuri bendroju atveju būtų tokia:

$$R_b = f(A R_c), \quad (6)$$

$A$  – proporcingumo koeficientas, įvertinantis užpildų kokybę,  $V/C$  santykį ir kitus veiksnius,  $R_c$  – cementinio akmens stipris.

Iš (6) formulės matyti, kad betono stipris tiesiogiai priklauso nuo cemento stiprio, jei kitos sąlygos yra vienodos. Be to, nuo cemento klasės iš dalies priklauso ir betono mikrostruktūra. Tačiau šio tipo ir kitos panašios formulės neįvertina projektuojamo betono struktūros, nuo kurios priklauso kitos labai svarbios fizikinės savybės, pvz., tamprumas, vandens įgėris, atsparumas šalčiui ir kitos.

#### 4. Mišinio struktūriniai elementai

Betonas yra polistruktūrinė medžiaga ir reikia analizuoti kiekvieno lygmens struktūrą. Be to, tai yra kietasis grūdėtas mechaninis mišinys. Pagal medžiagotyros sampratą tokių medžiagų erdvinė struktūra apibūdinama

ma ją sudarančių dalelių arba iš jų susidariusių bloką, kurie gali būti apibūdinti kaip diskretiniai tos medžiagos struktūriniai elementai, susidėstymu ir ryšiais tarp jų. Struktūrinis elementas – mažiausias medžiagos narvelis, į kurio sudėtį įeina visi tą medžiagą sudarantys komponentai tomis pačiomis proporcijomis kaip ir visame tūryje. Struktūrinį elementą sudaro viena vidutinio skersmens stambioji dalelė ir jai priskirtas gaubiantysis sluoksnis, sudarytas iš smulkiųjų dalelių ir skystųjų komponentų.

Norint apskaičiuoti betono mišinio struktūrinio elemento parametrus, būtina diskretiškai nustatyti stambiojo ir smulkiojo užpildo dalelių vidutinius skersmenis. Įprastojo betono stambiuoju užpildu laikytinos stambiausios dalelės, kurios sudaro 50% viso užpildo tūrio, o likusius 50% priskiriamos smulkiosioms. Kai naudojamas trūkios granulometrinės sudėties užpildas, stambusis užpildas gali sudaryti daugiau arba mažiau kaip 50%. Kiekvienu konkrečiu atveju jį reikia atitinkamai apskaičiuoti. Stambiojo ir smulkiojo užpildo dalelių skersmenys apskaičiuojami pagal šių užpildų granulometrinės sudėties [2, 3].

Betono mišinio skaičiuojamąjį struktūrinį elementą aproksimavus į kubelio formą, jo kraštinės ilgį galima apskaičiuoti pagal tokią funkcinę priklausomybę:

$$A = D (\pi/(6 \varphi_z))^{1/3} \approx 0,8 D/\varphi_z^{1/3}, \quad (7)$$

$A$  – struktūrinio elemento kraštinės ilgis, mm;  $D$  – struktūrinio elemento branduolio skersmuo, mm;  $\varphi_z$  – stambiojo užpildo tūrinė koncentracija mišinyje.

Įvertinus tai, kad stambiojo užpildo koncentracija betono mišinyje rekomenduojama nuo 0,35 iki 0,45, šias vertes įrašius į (7) formulę, gaunama:

$$A = (1,04...1,14) D.$$

Smulkiojo užpildo dalelių, kurios gali tilpti į struktūrinio elemento ribas, didžiausias skersmuo  $d$  gali būti apskaičiuotas pagal (8) funkcinę priklausomybę:

$$d_{max} = A(3^{1/2} - 1) / (3^{1/2} + 1) \approx 0,268 A. \quad (8)$$

Vidutinis didžiausias smulkiojo užpildo dalelių skersmuo turėtų būti apie 1,8 karto mažesnis, tai būtų:

$$d = 0,15 A.$$

Analogiškai galima apskaičiuoti betono mišinio skiedininės dalies struktūrinio elemento kraštinės ilgį:

$$a = d (\pi/(6 \varphi_s))^{1/3} \approx 0,8 d/\varphi_s^{1/3}, \quad (9)$$

$a$  – skiedininės dalies struktūrinio elemento kraštinės ilgis, mm,  $d$  – stambesniųjų smėlio dalelių (kurios su-

daro 50% smėlio tūrio) vidutinis skersmuo, mm;  $\varphi_s$  – stambesniųjų smėlio dalelių tūrinė koncentracija skiedinėje dalyje:

$$\varphi_s = V_s / [V_s + 2(V_c + V_v + V_p)], \quad (10)$$

$V_s, V_c, V_v, V_p$  – atitinkamai smėlio, cemento, vandens ir porų tūriai,  $l/m^3$ .

Nustačius cemento dalelių granulimetrinę sudėtį ir stambiųjų bei smulkiųjų dalelių skersmenis, galima apskaičiuoti cementinės tešlos struktūrinio elemento geometrinis matmenis pagal tokią empirinę formulę:

$$A_c = D_c [(\pi/3) (1 + \rho_c (V/C))]^{1/3}, \quad \mu m \quad (11)$$

$$A/D_c = [(\pi/3) (1 + \rho_c (V/C))]^{1/3}, \quad (12)$$

$A_c$  – cemento tešlos struktūrinio elemento kraštinės ilgis,  $\mu m$ ;  $D_c$  – cemento stambesniųjų dalelių vidutinis skersmuo,  $\mu m$ ;  $\rho_c$  – cemento dalelių tankis,  $g/cm^3$ .

Vienas iš betono struktūros rodiklių gali būti struktūrinių elementų skaičius tūrio vienetė, kuris apskaičiuojamas pagal (13) formulę. Šis rodiklis taikytinas vertinant originalo ir prototipo matmenų mastelio įtaką nustatant gaminių stiprumą ir deformacijas:

$$N = V \varphi / v, \quad (13)$$

$N$  – struktūrinių elementų skaičius tūrio vienetė;  $V$  – tūrio vieneto tūris,  $dm^3, cm^3, mm^3$ ;  $v$  – vieno struktūrinio elemento branduolio tūris,  $cm^3, mm^3$ ;  $\varphi$  – struktūrinių elementų branduolių tūrinė koncentracija.

Remiantis šiais ir ankstesniais tyrimais [4], galima suformuluoti monostruktūrinių ir polistruktūrinių mišinių (medžiagų) struktūros vienodumo apibrėžimą:

Monostruktūrinių grūdėtųjų mišinių (medžiagų), pagamintų vienodomis sąlygomis, struktūra yra patikimai vienoda, jei struktūriniai elementai yra vienodo didumo ir vienodo tankumo.

Polistruktūrinių grūdėtųjų mišinių (medžiagų), pagamintų vienodomis sąlygomis, struktūra yra patikimai vienoda, jei jų atitinkamo struktūros lygmens struktūriniai elementai yra vienodo didumo ir vienodo tankumo.

Struktūrinių elementų didumas apibūdina apibendrintus struktūros geometrinius parametrus, o elementų tankis – fizikinius. Šie rodikliai gali būti analitiškai apskaičiuoti ir pagal matematinės statistikos bei tikimybių teorijos dėsnius nustatytas mišinio (medžiagos) struktūros vienodumo patikimumas.

Analizuojant (7), (9) lygtis, galima pastebėti, kad struktūrinio elemento tūris priklauso nuo branduolio

skersmens bei jo tūrio dalies elemente ir nuo gaubiančiojo sluoksnio santykinio tankio. Kai gaubiančiojo sluoksnio tankis didėja, struktūrinio elemento užimamas tūris mažėja, tačiau didėja jo santykinis tankis. Iš to galima padaryti tokias labai svarbias išvadas:

1) mišinyje didinant stambiųjų dalelių tūrinę koncentraciją iki ( $\varphi \leq \pi/6$ ), jo kietosios fazės santykinis tankis didėja;

2) turi būti išlaikyta sąlyga, jog smulkiųjų dalelių skersmuo turi būti mažesnis už tuštymų, kurios susidaro tarp stambiųjų dalelių, skersmenį pagal (8);

3) didėjant stambiųjų užpildų koncentracijai, gali būti naudojamas smulkesnis smėlis arba, atvirkščiai, naudojant smulkesnį smėlį, tikslinga į mišinį dėti daugiau stambiųjų užpildų;

4) užpildo struktūrinio elemento geometriniai matmenys mažėja, didėjant gaubiančiojo sluoksnio tankiui.

Analogiškai pagal struktūrinius elementus galima analizuoti ir cementinės tešlos mikrostruktūrą. Išvardytieji rodikliai yra įrankiai betono mikro- ir makrostruktūrai analizuoti, modeliuoti, ieškoti priklausomybių tarp betono struktūros ir atitinkamų jo savybių dėsningumo.

## 5. Išvados

1. Pateiktas struktūrinių elementų metodas gali būti taikomas, kai norima diskretiškai apskaičiuoti, palyginti ar modeliuoti betonų arba kitokių statybinių mišinių struktūras bei apskaičiuoti jų atitinkamo lygmens struktūros vienodumo rodiklius.

2. Taikant struktūrinių elementų metodą, galima nustatyti užpildų granulimetrinės sudėties leistuosius nuokrypius, kad būtų galima užtikrinti reikiamą vienodą betono makrostruktūrą ir reikiamus stiprumo bei deformatyvumo savybių rodiklius.

3. Betono struktūros vienodumo patikimumas turi būti reglamentuojamas pagal jo atmainas ir tai, kuriam tikslui jis naudojamas. Tai ypač svarbu laikančiosioms gelžbetoninėms konstrukcijoms, kai reikia, kad realios betono deformacijos atitiktų apskaičiuotas leistinasias.

## Literatūra

1. К. Капур, Л. Ламберсон. Надежность и проектирование систем. Москва: Мир, 1980. 604 с.
2. H. U. Litzner, L. Meyer. Beton nach neuem Regelwerk // Beton, 11/2000, p. 628–632.

- 3 Reschke, E. Siebel, G. Thielen. Einfluss der Granulometrie und Reaktivität von Zement und Festigkeits- und Gefügeentwicklung von Mörtel und Beton (Teil 1) // Beton, 12/1999, p. 719–724, (Teil 2) 1/2000, p. 47–50.
- 4 J. Deltuva. Heterogeninių statybinių mišinių sandara ir savybės. Kaunas: Technologija, 1998. 263 p.

Įteikta 2001 11 30

## RESEARCH ON THE STABILITY OF BUILDING MIXTURE STRUCTURE

**J. Deltuva**

### S u m m a r y

The aim of this work is to establish the system of quantities that would be suitable to evaluate the stability of the structure of concrete in order to assure that the structure of mixtures and building articles is uniform during the given production period.

Concrete is a polystructured material and therefore its structure must be analyzed at all levels. According to concept of the materials science, the spatial structure of such a material is defined by the arrangement and interconnections of component particles or component blocks that can be considered as discrete structural elements. A structural element is the smallest cell of material that contains all the material

ingredients at the same proportions as the entire volume. A structural element is formed by a large particle of medium size and the interface layer is of small particles and liquid components.

The presented method may be applied when it is desirable to compute, compare or model the structures of concrete and other building mixtures and calculate the structural uniformity indices.

According to given uniformity of macrostructure, it is possible to determine by the use of structural elements the admissible aggregate grain-size tolerances, in order to achieve the uniform structure, the strength and deformability.

The reliability of the uniformity of a concrete structure must be regulated according to its type and function; it is especially important for load bearing reinforced concrete where a real deformation of concrete must conform to the calculated allowable one.

.....  
**Juozas DELTUVA**. Doctor, Associate Professor. Dept of Building Materials. Kaunas University of Technology (KTU). Studentų g. 48, 3031 Kaunas, Lithuania.  
 E-mail: lab0960@saf.ktu.lt

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