

THE ESTIMATION METHODS OF MICROFILLERS INFLUENCE ON CEMENT STONE PROPERTIES

J. Deltuva & Ž. Rudžionis

To cite this article: J. Deltuva & Ž. Rudžionis (1997) THE ESTIMATION METHODS OF MICROFILLERS INFLUENCE ON CEMENT STONE PROPERTIES, *Statyba*, 3:10, 69-75, DOI: [10.1080/13921525.1997.10531686](https://doi.org/10.1080/13921525.1997.10531686)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.1997.10531686>



Published online: 26 Jul 2012.



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



Article views: 55

MIKROUŽPILDŲ ĮTAKOS CEMENTINIO AKMENS SAVYBĖMS ANALITINIO ĮVERTINIMO PRINCIPAI

J. Deltuva, Ž. Rudžionis

1. Įvadas

Mikroužpildai gali būti naudojami cemento granulimetrinei sudėčiai pagerinti, tešlos tūriui padidinti, ar kitai specialiai paskirčiai. Betonų mikroužpildai yra įvairios dispersinės medžiagos. Dažniausiai tai būna įvairios tinkamai paruoštos gamybos mineralinės atliekos arba specialiai perdirbtos ir iki reikiamo smulkumo susmulkintos uolienos. Pagal aktyvumą mikroužpildus galima skirstyti į tris grupes: chemiškai aktyvius, inertinius ir latentinius. Chemiškai aktyvūs mikroužpildai, dažniausiai turintys daugiau kaip 50% amorfinio SiO_2 , dalyvauja cemento kietėjimo procese. Prie jų priskiriama malta opoka, trepelis, pelenai, ferosilicio gamybos atliekos ir kt. Jų aktyvumas priklauso nuo dispersiškumo ir SiO_2 kristalINGUMO laipsnio. Taip pat kuo didesnis šių mikroužpildų dispersiškumas ir kuo mažesnis SiO_2 kristalINGUMO laipsnis, tuo aktyviau jie sudaro papildomus kalcio hidrosilikatus sąveikaudami su iš cemento tešlos išsiskyrusiu Ca(OH)_2 . Chemiškai reaguoja tik paviršinė aktyviųjų mikroužpildų dalis, o kita didesnioji grūdėlių dalis lieka nesureagavusi.

Antrajai grupei – inertiniams mikroužpildams – priskiriami dolomitas, granitas, iš dalies maltas smėlis, pigmentai ir įvairios kitos dispersinės medžiagos. Šios grupės mikroužpildai dažniausiai visai nereaguoja su cementu arba jų sąveika nepastebima.

Latentiniai mikroužpildai yra tokie, kurie turi vadinamųjų paslėptų reikalingų sužadavimo, rišimosi savybių. Tai dauguma metalurginių šlakų.

Mikroužpildų dedama į betono mišinius struktūrai pagerinti ir rišamosioms medžiagoms sutaupyti. Mokslinių tyrimų autoriai [1, 2] teigia, kad betonų gamyboje cemento su mikroužpildais mišinys gali būti interpretuojamas kaip mažesnio aktyvumo portlandcementis, tik jo aktyvumas mažesnis proporcingai

mikroužpildų kiekiui. Kitų autorių darbuose [3, 4] nurodoma, kad žemų ir vidutinių markių betonuose mikroužpildų priedas leidžia efektyviau išnaudoti cementą, nes pagerinama užpildų granulimetrinė sudėtis. Daugelis tyrinėtojų apsiriboja galimybe naudoti inertinius mikroužpildus tik žemo ir vidutinio stiprumo betonams.

Šiuo metu vis daugiau dėmesio skiriama chemiškai aktyviems mikroužpildams ir jų naudojimui stipriesiems betonams. Šie mikroužpildai cheminės reakcijos metu jungiasi su laisvu kalcio hidroksidu, sudarydami stabilią kalcio hidrosilikato formą CSH , be to, aktyviai dalyvauja reakcijoje su šarmais ir laisvais CA^{+2} jonais. Kalcio hidrosilikatas, susidaręs iš amorfinio SiO_2 ir Ca(OH)_2 , yra kitokios struktūros ir turi kitokias savybes nei kalcio hidrosilikatai, susidarę iš portlandcemenčio mineralų. Jų tankis truputį mažesnis už hidrosilikatų, susidariusių iš portlandcemenčio mineralų [5, 6]. Teigiama šių mikroužpildų įtaka yra tokia, kad jie reaguodami su Ca(OH)_2 sudaro stabilesnius kalcio hidrosilikatus. Tinkamas šių mikroužpildų priedas betonuose leidžia mažinti cemento sąnaudas, didina betono stiprumą, tankį, pagerina jo kitas savybes.

Įvairių mokslininkų atlikti mikroužpildų betonuose tyrimai patvirtina jų naudingumą, tačiau V. Solomatos ir kt. nurodo [7], kad iki šiol nėra rasta funkcinės priklausomybės tarp mikroužpildų kiekio, dispersiškumo, aktyvumo ir betono ar cemento savybių kitimo.

2. Mikroužpildų ir cemento mišinio santykinio tankio ir granulimetrinės sudėties optimizavimo principai

Vienas iš galimų būdų įvertinti mikroužpildų įtaką cemento ir betono gaminiams yra struktūrinis elementų metodas. Jis leidžia įvertinti sudėtingų

heterogeninių medžiagų makrostruktūrą ir jų savybes [8]. Tyrimai rodo, kad heterogeninės medžiagos struktūrinis elementas yra mažiausias medžiagos narvelis, aproksimuotas į taisyklingos geometrinės formos erdvinį kūną, į kurio sudėtį įeina visi komponentai tokiais pat proporcijomis, kokiomis jie esti visame tūryje. Struktūrinio elemento matmenis apriboja kietųjų komponentų stambesniųjų grūdelių vidutinis skersmuo, nes šios dalelės sudaro struktūrinių elementų branduolius. Smulkesniosios dalelės bei jungiančioji fazė (skystoji, amorfinė ar dujinė) sudaro branduolių gaubiantįjį sluoksnį. Struktūrinių elementų metodas sudaro sąlygas netvarkingą medžiagų struktūrą pakeisti taisyklinga, supaprastinti analitinį bei grafinį jos aprašymą, sudaryti medžiagų persiformavimo skaičiavimo schemas.

Laikantis polifracinių užpildų mišinių viena-reikšmės stambiųjų ir smulkiųjų dalelių sampratos ir jų tūrių santykio, t.y. kad stambiosios dalelės, kurios sudaro 50% mišinio tūrio, o smulkiosios dalelės - visą kitą tūrį, iš daugelio eksperimentinių tyrimų buvo gauta tokia analitinė biriųjų medžiagų santykinio tankio apskaičiavimo funkcinė priklausomybė:

$$\rho_s = a \cdot \ln(D/d) + b, \quad (1)$$

čia: ρ_s - santykinis polifracinės biriosios medžiagos tankis;

- D - stambiųjų dalelių vidutinis skersmuo, mm;
- d - smulkiųjų dalelių vidutinis skersmuo, mm;
- a - koeficientas, pagal tuštumą tarp stambaus užpildo dalelių užpildymo smulkiomis dalelėmis laipsnį;
- b - stambiųjų dalelių santykinis tankis.

Iš funkcinės priklausomybės (1) pastebima, kad didėjant polifracinio mišinio D/d santykiui, didėja jo santykinis tankis. Sudarant mišinį iš dviejų ar daugiau polifracinių komponentų ir proporcingai keičiant jų santykį, gaunamas skirtingo tankio mišinys. Norint rasti didžiausią mišinio tankį ir nustatyti polifracinio mišinio, t.y. mikroužpildo ir cemento optimalią sudėtį, būtina žinoti tokius pradinius duomenis: cemento ir mikroužpildo granulimetrines sudėtis bei jų santykinis tankius. Keičiant mikroužpildo kiekį nuo 0% iki 100% cemento masės apskaičiuojama mišinio granulimetrinė sudėtis pagal šią formulę:

$$C_i = \frac{\lambda A_i \rho_c + (1-\lambda) B_i \rho_m}{\lambda \rho_c + (1-\lambda) \rho_m}, \quad (2)$$

čia: λ - cemento masės dalis mišinyje (optimizuojant granulimetrinę sudėtį, λ buvo keičiama pasirinktu žingsniu nuo 0 iki 1); C_i - mišinio dalinė liekana ant i-ojo sieto, %; A_i - cemento dalinė liekana ant i-ojo sieto, %; B_i - mikroužpildo dalinė liekana ant i-ojo sieto, %; ρ_c ir ρ_m - atitinkamai cemento ir mikroužpildo tankis, kg/m^3 .

Išbiras per kiekvieną iš sietų apskaičiuojame pagal formulę:

$$I_i = 100 - \sum_{n=1}^i C_n, \quad (3)$$

čia: I_i - išbiras per i-ąjį sietą, %.

Bet kuriai λ reikšmei gaunama skirtinga mišinio granulimetrinė sudėtis, kurios išbirų kitimo priklausomybė nuo jų stambumo aprašoma šia formule:

$$F_I(x, \lambda) = I_{i-1}(\lambda) + (x - d_{i-1}) \frac{I_i(\lambda) - I_{i-1}(\lambda)}{d_i - d_{i-1}}, \quad (4)$$

kai $(d_{i-1} < x) \cdot (x < d_i)$,

čia: I_i ir I_{i-1} - išbiras per i-uosius sietus, %; d_i ir d_{i-1} - sietų akelių matmenys, mm; x - ieškomų stambiųjų ir smulkiųjų dalelių vidutiniai matmenys, kai išbirų dydžio reikšmė $F_I(x, \lambda)$ stambiosioms dalelėms lygi 75%, o smulkiosioms - 25%.

Įrašius į formulę (4) $F_I(x, \lambda)$ reikšmę 75 ir išsprendus lygtį gaunamas x sprendinys, atitinkantis mišinio stambiųjų dalelių vidutinį diametrą D , o įrašius $F_I(x, \lambda) = 25 - x$ sprendinys atitinka mišinio smulkiųjų dalelių diametrą d .

Apskaičiavus λ pasirinktu žingsniu pagal formulę (1) randama didžiausioji santykinio tankio reikšmė, t.y. $\rho_s(\lambda_0) > \rho_s(\lambda_i)$. Apskaičiuotoji λ_0 reikšmė rodo optimalų komponentų santykį, norint gauti didžiausią mišinio santykinį tankį. Kadangi šiam matematiniam uždaviniui reikia daug skaičiavimų, ypatingai tais atvejais, kai norima gauti tikslus rezultatus, pasirinkus mažą λ žingsnį buvo sudaryta biriųjų mišinių santykinio tankio optimizavimo kompiuteriu programa. Skirtingo stambumo mikroužpildai betono mišinyje turi skirtingas funkcijas. Todėl mikroužpildus pagal stambumą ir jų veiką betono mišinių savybėms sutartinai galima skirstyti į tokias grupes: stambius, vidutinio stambumo ir smulkius.

1 lentelė. Cemento ir mikroužpildų mišinio skaičiuojamosios ir eksperimentinės struktūrinės charakteristikos
Table 1. Calculating and experimental structural characteristics of cement and microfillers mix

Eil. Nr.	Priedo atmaina	Priedo kiekis cemento masėje, %	Skaičiuojamieji duomenys				Eksperimentiniai duomenys	Santykinė paklaida %
			$d, \mu\text{m}$	$D, \mu\text{m}$	D/d	ρ_s		
1	–	0	3.3	15.4	4.739	0.623	0.624	0.23
2	Granito dulkės, $s=297.5 \text{ m}^2/\text{kg}$	3.29	3.2	15.5	4.829	0.624	0.650	4.01
3		7.24	3.2	15.6	4.941	0.626	0.641	2.35
4		11.23	3.1	15.7	5.058	0.627	0.643	2.44
5		28.69	2.9	16.2	5.666	0.634	0.637	0.41
6	Granito dulkės, $s=109.1 \text{ m}^2/\text{kg}$	14	3.5	19.0	5.466	0.632	0.652	3.08
7		28.5	3.7	23.3	6.279	0.641	0.670	4.36
8		43.8	4.0	27.9	6.974	0.647	0.671	3.48
9		59.7	4.5	33.1	7.373	0.651	0.687	5.30
10	Granito dulkės, $s=37.8 \text{ m}^2/\text{kg}$	9.45	3.7	20.5	5.615	0.634	0.653	3.01
11		19.15	4.2	26.8	6.444	0.642	0.658	2.42
12		39.28	5.6	76.6	13.610	0.689	0.665	3.65
13	Maltas smėlis, $s=277 \text{ m}^2/\text{kg}$	3	3.2	15.6	4.827	0.624	0.646	3.40
14		7	3.2	15.9	4.948	0.626	0.654	4.34
15		12	3.2	16.4	5.177	0.629	0.631	0.41
16		25	3.1	18.1	5.884	0.637	0.655	2.80
17	Maltas smėlis, $s=110.4 \text{ m}^2/\text{kg}$	8	3.3	17.2	5.160	0.628	0.636	1.15
18		15	3.4	19.4	5.694	0.635	0.640	0.89
19		30	3.6	24.4	6.778	0.646	0.619	4.35
20	Maltas smėlis, $s=60.8 \text{ m}^2/\text{kg}$	10	3.5	19.4	5.500	0.632	0.646	2.03
21		25	4.0	27.5	6.854	0.646	0.643	0.53
22		40	4.7	50.3	10.623	0.674	0.646	4.36

Stambūs mikroužpildai: tai mikroužpildai, stambesni už cementą ir naudingi tuo atveju, kai užpilduose stokojama smulkiagrūdės frakcijos. Granulimetrinės sudėties optimizavimo skaičiavimuose mikroužpildus, stambesnius nei $63 \mu\text{m}$, tikslinga priskirti užpildams.

Vidutinio stambumo mikroužpildai yra artimo cementui smulkumo. Jų priedas yra efektyvus žemų ir vidutinių markių betonuose, norint padidinti cemento tešlos kiekį mišinyje. Šie mikroužpildai taip pat gali turėti teigiamos įtakos cemento granulimetrinės sudėties pagerinimui. Todėl tikslinga optimizuoti cemento ir mikroužpildo mišinio granulimetrinę sudėtį.

Smulkūs ir ypatingai smulkūs mikroužpildai yra daug smulkesni už cementą, ir jų dalelės telpa tarp cemento grūdelių. Aproximuojant cemento ir mikroužpildo grūdelius į rutulio formą ir remiantis teoriniais grūdelių maksimaliai tankaus susidėstymo

skaičiavimais, buvo gautas cemento ir mikroužpildo grūdelių skersmenų santykis d_c / d_m , kuris ir apibūdina jų smulkumo santykį.

Skaičiuojant cemento tešlos struktūrinių elementų charakteristikas, ypatingai smulkių mikroužpildų turi tikslinga priskirti prie vandens tūrio, nes mišinio tankio atžvilgiu jie atlieka adekvačią (lygiavertę) funkciją - užpildo tuštumas tarp cemento grūdelių.

Teoriniams skaičiavimams patikrinti buvo atlikti eksperimentiniai tyrimai, dedant įvairaus stambumo mikroužpildų į cementą. Mikroužpildų ir cemento granulimetrinės sudėties buvo nustatytos lazeriniu granulimetru „Fritsch Analizete 22“. Remiantis gautais tyrimo rezultatais buvo apskaičiuotos cemento ir mikroužpildų struktūrinės charakteristikos: stambesniųjų dalelių vidutinis diametras D , smulkesniųjų dalelių vidutinis diametras d ir santykinis mišinio tankis ρ_s . Duomenys pateikti 1 lentelėje.

Biriųjų medžiagų apskaičiuotas santykinis tankis ρ_s apibūdina sutankintos būklės medžiagą. Eksperimentiniuose tyrimuose bandiniai buvo sutankinami presuojant. Presavimo slėgis ir vandens kiekis buvo parinktas skaičiavimais ir ieškomaisiais eksperimentais. Jų metu nustatyta, kad esant vandens kiekiui, reikalingam gauti normalaus tirštumo tešlą, ir 20 MPa presavimo slėgiui, gaunamas mišinio sutankinimas artimas maksimaliam. Eksperimentiniai tyrimo rezultatai (santykinis mišinio tankis be vandens) pateikti 1 lentelėje. Palyginus gautus eksperimentinius duomenis ir skaičiavimo rezultatus, galima pastebėti jų pakankamą tapatumą.

Iš gautų tyrimo ir skaičiavimo rezultatų matyti, kad esant didesniai cemento ir mikroužpildo smulkumo skirtumui gaunamas ryškesnis mišinio santykinio tankio padidėjimas. Norint gauti geresnės granulometinės sudėties mišinį, mikroužpildą reikia parinkti kelis kartus stambesnę arba smulkesnę už cementą. Artimas cemento smulkumui mikroužpildas neturi didelės reikšmės granulometrinės sudėties ir tankio pagerinimui, tačiau jį efektyvu naudoti kartu su aukštos klasės cementu žemų ir vidutinių klasių betonams. Šiuose betonuose paprastai stokojama cemento tešlos, t.y. užpildų mišinio tuštumų perpildymo cemento tešla koeficientas $\beta < 1$. Čia:

$$\beta = \frac{\varphi_{c.t.}}{1 - \rho_{s.u.}}, \quad (5)$$

$\varphi_{c.t.}$ – cemento tešlos tūrinė koncentracija vieneto dalimis 1 m^3 betono mišinio; $\rho_{s.u.}$ – santykinis betono užpildų mišinio tankis.

Padidinus cemento tešlos tūrį mikroužpildais, β skaičiuojamas taip:

$$\beta = \frac{\varphi_{c.t.} + \varphi_{m.}}{1 - \rho_{s.u.}}, \quad (6)$$

čia: $\varphi_{m.}$ – mikroužpildo tūrinė koncentracija vieneto dalimis 1 m^3 betono mišinio.

Šiuo atveju mikroužpildas, užpildydamas tuštumas tarp užpildo dalelių, padidina betono mišinio tankį, pagerina kitas jo fizikines mechanines savybes.

3. Presuotojo cementinio akmens su mikroužpildo priedu savybių įvertinimo principai

Įvairių mokslininkų atlikti betono ir cementinio akmens fizikinių ir mechaninių savybių tyrimai [1, 9,

10] leidžia teigti, kad vienas iš svarbiausių cementinio akmens ir betono struktūros rodiklių yra V/C santykis. Jis turi didelės įtakos cementinio akmens poringumui ir mechaninėms savybėms.

Pakeičiant dalį cemento įvairaus smulkumo mikroužpildu, greta V/C santykio svarbu įvertinti ir inertinio mikroužpildo įtaką cementinio akmens tankiui. Remiantis A.Šeikino ir kt. [9] išvesta cementinio akmens santykinio tankio skaičiavimo formule:

$$\rho_{s.c.a.} = \frac{1 + 0.23\alpha\rho_c}{1 + \rho_c V/C}, \quad (7)$$

čia: α – cemento hidratacijos laipsnis; ρ_c – cemento tankis, g/cm^3 0,23 – 1 g cemento chemiškai prijungto vandens masė, esant hidratacijos laipsniui $\alpha=1$; V/C – vandens ir cemento santykis.

Remiantis (7) formule buvo išvesta formulė skaičiuoti cementinio akmens su inertiniu mikroužpildu santykiniam tankiui:

$$\rho_{s.c.a.m.} = \frac{1/\rho_c + 0.23\alpha + M/\rho_m}{1/\rho_c + V/C + M/\rho_m} X_1, \quad (8)$$

čia: M – mikroužpildo dalis cimente; ρ_m – mikroužpildo tankis, g/cm^3 ; X_1 – koeficientas, įvertinantis cementinio akmens tankio su mikroužpildais padidėjimą, nes dalis jų telpa tarp cemento dalelių. X_1 apibūdina mikroužpildo ir cemento tankių santykį.

$$X_1 = \frac{\rho_{s.m.}}{\rho_{s.c.}}, \quad (9)$$

$\rho_{s.m.}$ – cemento ir mikroužpildo sauso mišinio santykinis tankis; $\rho_{s.c.}$ – sausojo cemento santykinis tankis.

Šiuo metu daug kas remiasi išvesta cementinio akmens stiprumo ir V/C santykio empirine priklausomybe, tačiau pastebėta, kad ji galioja tik absoliučiai sutankintam cementiniam akmeniui ir neleidžia įvertinti tankio pokyčio įtakos cementinio akmens stiprumui.

Siekiant aprašyti mikroužpildų įtaką cementinio akmens stiprumui, buvo remtasi T. Pauerso [11] išvesta priklausomybe:

$$R_c = A\rho_{s.c.a.}^n, \quad (10)$$

čia: A ir n – empiriniai koeficientai; $\rho_{s.c.a.}$ – cementinio gelio tūrio santykis su viso gelio ir tuštumų tūriu; R_c – cementinio akmens stipris.

Šios priklausomybės empirinių koeficientų reikšmės A ir n įvairūs mokslininkai pateikia skirtingas. Pastebėta, kad jų reikšmės priklauso nuo

cemento cheminės sudėties ir sutankinimo laipsnio. Remiantis kai kurių mokslininkų teiginiu, kad inertiniai mikroužpildai mažina cemento aktyvumą proporcingai jų kiekiui, ir atsižvelgiant į jų įtaką cementinio mišinio tankiui buvo gauta funkcinė priklausomybė cementinio akmens su mikroužpildo priedu stiprio skaičiavimui:

$$R_c = 130\rho_{s.c.a.m.}^{2.8} (1 - \varphi_m), \quad (11)$$

čia: R_c - cementinio akmens su mikroužpildu stipris, Mpa; $\rho_{s.c.a.m.}$ - cementinio akmens su mikroužpildo priedu santykinis tankis; φ_m - mikroužpildo tūrinė koncentracija sausajame mišinyje vieneto dalimis.

Funkcinėms priklausomybėms (8) ir (11) patikrinti buvo pagaminti ir išbandyti bandiniai. Gauti rezultatai palyginti su skaičiuojamaisiais ir pateikti 2 lentelėje.

Aktyvių mikroužpildų įtakos cementinio akmens savybėms ir (8) bei (11) funkcijoms patikrinti buvo atlikti kiti eksperimentiniai tyrimai. Į cementinį skiedinį buvo dedamas įvairus kiekis ferosilicio gamybos

atliekų (mikrodulkių). Bandiniai buvo presuojami 20 MPa slėgiu, esant V/C santykiui, reikalingam normalaus tirštumo tešlai gauti. Eksperimentiniams tyrimams naudotos mikrodulkės iš Stachanovo metalurgijos kombinato (Ukraina), kurių savitasis paviršius, nustatytas ПСХ-4 prietaisu, yra 26,4 m²/g. Šioje medžiagoje silicio dioksido kiekis, nurodytas techniniame pase, buvo 92%.

Pastebėta, kad mišiniai su ferosilicio gamybos atliekų priedu homogeniškesni, o suformuoti gaminiai kokybiškesni. Į cementą dedant daugiau kaip 10% dulkių ir nekeičiant V/C santykio (nors vandens poreikavimas ir didesnis), gaminiai susiformuoja didesnio santykinio tankio nei be priedų. Manoma, kad viena iš gaminių struktūros pagerėjimo priežasčių yra ta, kad presuotose sistemose pageidautinas didesnis smulkiadisversės fazės tūris, dėl kurio mažėja mechaninio sukibimo ir trinties jėga tarp dalelių.

2 lentelė. Presuoto cementinio akmens su inertinio mikroužpildo priedu savybių tyrimo duomenys

Table 2. Investigation data of pressed cement stone with inert microfillers admixture

Eil. Nr.	Priedo atmaina	Priedo kiekis nuo cemento masės, %	Eksperimentiniai duomenys		Skaičiuojamieji duomenys		Santykinė paklaida, %	
			Santykinis tankis	Stipris, MPa	Santykinis tankis	Stipris, MPa	Santykinis tankio	Stiprio
1	-	0	0.898	79.9	0.887	93.02	1.20	17.75
2	Granito dulkės, s=297.5 m ² /kg	3.29	0.938	92	0.921	99.76	1.87	8.44
3		7.24	0.921	94	0.910	92.74	1.11	1.34
4		11.23	0.910	79.2	0.900	86.01	1.06	8.60
5		28.69	0.850	55.4	0.857	60.18	0.83	8.63
6		Granito dulkės, s=109.1 m ² /kg	14	0.900	81.5	0.901	83.60	0.15
7	28.5		0.863	61.8	0.873	63.62	1.20	2.94
8	43.8		0.818	45	0.838	44.55	2.41	1.00
9	59.7		0.789	24.5	0.797	27.76	1.01	13.31
10	Granito dulkės, s=37.8m ² /kg	9.45	0.918	100	0.917	92.35	0.08	7.65
11		19.15	0.888	79.8	0.899	78.12	1.31	2.10
12		39.28	0.810	54.2	0.905	59.72	11.75	10.18
13	Maltas smėlis, s=277 m ² /kg	3	0.926	105	0.923	100.82	0.30	3.98
14		7	0.932	112	0.913	93.63	2.05	16.41
15		12	0.885	88	0.902	85.63	1.94	2.70
16		25	0.875	68	0.875	67.13	0.05	1.28
17	Maltas smėlis, s=110.4 m ² /kg	8	0.896	86	0.914	93.10	2.03	8.25
18		15	0.884	83	0.902	82.78	2.02	0.26
19		30	0.810	57	0.874	62.35	7.82	9.39
20	Maltas smėlis, s=60.8 m ² /kg	10	0.902	102	0.912	90.54	1.15	11.24
21		25	0.846	71	0.887	69.71	4.80	1.81
22		40	0.800	52	0.877	54.07	9.62	3.98

Greta teigiamo ferosilicio gamybos atliekų mechaninio poveikio betono mišiniams, jos yra chemiškai aktyvios ir intensyviai dalyvauja reakcijose su cemento akmens hidratacijos produktais. Atlikus cementinių bandinių su ferosilicio gamybos atliekomis rentgenografinę analizę pastebėta, kad cemento hidratacijos metu SiO_2 jungiasi su laisvu kalcio hidroksidu, sudarydamas stabilius dispersinius kalcio hidrosilikatus.

Nors naujadarai iš mikrodulkių yra mažesnio tankio, tačiau nustačius cementinio akmens absoliutinį tankį matyti, kad jis didėja, didėjant ferosilicio gamybos atliekų kiekiui mišinyje. Tai galima paaiškinti tuo, jog naujadarai iš mikrodulkių su kalcio šarmu yra dispersiniai ir užpildo tarpus tarp cemento dalelių ir lieka hidratacijos produktuose.

Ferosilicio gamybos atliekų priedas iki 10% cemento masės didina cementinio akmens stiprumą 54,7% ir turi teigiamos įtakos betonų fizikinėms ir mechaninėms savybėms. Gaminiai atsparesni atmosferos poveikiams. Be to, presuotose sistemose dėl didelio jų tankio ir mažo V/C lieka nemažai nesihidratavusių cemento dalelių. Betonuose su ferosilicio gamybos atliekomis hidratacijos produktų padaugėja 10-25%.

Įvertinus chemiškai aktyvių mikroužpildų poveikį cemento hidratacijos produktams, buvo redukuota (8) formulė ir gauta formulė skaičiuoti cementinio akmens su šiuo mikroužpildu santykiniam tankiui:

$$\rho_{s.c.a.m.} = \frac{1/\rho_c + 0.23\alpha_1(1+M) + M/\rho_m}{1/\rho_c + V/C + M/\rho_m} X_1, (12)$$

čia: α_1 - cemento ir chemiškai aktyvaus mikroužpildo mišinio hidratacijos laipsnis.

4. Išvados

1. Optimizuojant mikroužpildų ir cemento mišinio granulimetrinę sudėtį pagal (2) ir (4) formules, o tankį ir stiprį pagal (8), (11) ir (12) formules, susidaro galimybė racionaliai išnaudoti abu komponentus, taupyti cementą ir pagerinti betono fizikinių bei mechaninių savybių rodiklius.

2. Į cementą pridedant iki 10% inertinių mikroužpildų, visais atvejais padidėja cementinio akmens tankis iki 4,5%, o stipris iki 40,2%. Pridedant chemiškai aktyvių mikroužpildų (ferosilicio atliekų) 10%,

cemento akmens tankis padidėja iki 7,4%, o stipris iki 54,7%. Įdėjus 15-20% cemento su ferosilicio atliekomis akmens stipris prilygsta cemento be priedų stipriui.

Literatūra

1. Ю.М.Баженов. Технология бетона. Москва: Высшая школа, 1987. 415 с.
2. В.И.Саламатов, Д.Ш.Кодверова. Влияние количества наполнителя и добавок на свойства бетона и бетонной смеси / ТПИ. Ташкент, 1986. 111 с.
3. В.С.Рамачандран, В.Ф.Фельдман, М.Колитарди и др. Добавки в бетон: Справочное пособие. Москва: Стройиздат, 1988. 575 с.
4. A.Goldman, A.Bentur. The influence of microfillers on enhancement of concrete strength // Cement and concrete reseach. 1993. Vol. 23, Nr. 1, p. 963-972.
5. G.G.Carette, M.F.Pistilli. Silica fume in concrete // ACI Materials journal, 1987, Nr. 2, p. 159-167.
6. Gapesh Dadu A., Surya Prakash P.V. Efficiency of silica fume in concrete // Cement and Concrete Research, 1995, Nr. 6, p. 1273-1282.
7. В.И.Соломатов, М.К.Тахиров, Такер Шах Мд. Интенсивная технология бетонов. Москва: Стройиздат, 1989. 261 с.
8. J.Deltuva. Struktūrinių elementų metodas - priemonė heterogeninių medžiagų tyrimui // Mokslas ir technika, Nr. 4, 1995.
9. А.Е.Шейкин, Ю.Е.Чеховский, М.И.Брусер. Структура и свойства цементных бетонов. Москва: Стройиздат, 1979. 343 с.
10. И.Н.Ахвердов. Основы физики бетона. Москва: Стройиздат, 1981. 464 с.
11. Т.К.Пауэрс. Физическая структура портландцементного теста // Химия цемента / Под ред. Х.Ф.У.Тейлора. Москва: Стройиздат, 1969. 264 с.

Įteikta 1997 05 07

THE ESTIMATION METHODS OF MICROFILLERS INFLUENCE ON CEMENT STONE PROPERTIES

J. Deltuva, Ž. Rudžionis

S u m m a r y

The concrete and cement microfillers are materials of different fineness, such as wastes of production or pulverized rocks. According to their influence on cement hardening process, they may be classified into inert microfillers or chemically active ones. The chemically active microfillers, such as silica fume, fly ashes and others, have more than 50% amorphous SiO_2 , that takes part in cement hardening process. Inert microfillers, such as granite, dolomite, sand dust and others, in most cases have no influence on the cement hydration.

The usage of microfillers in concrete is common, but so far no clear dependence between the quantity of added microfillers and properties of concrete has been established. One of possible ways to estimate the

microfillers influence on the products with cement binder is the structural element method.

The structural element is the smallest cell, approximated to a spatial figure of regular form, that has all components with the same proportions, as in all the volume of heterogeneous material. The essence of this method is to divide the mix in to bigger particles, that are named "nuclei" of structural elements and take 50% of all mix volume, and smaller particles, that form cover layers of the nuclei and make up the rest of the volume of the mix. The dependence between the relative density of loose materials and relation (1) between the diameters of the bigger and smaller particles of the structural element has been estimated. This relation is changed when microfillers are added to the cement. There is a possibility to optimize relative density by (2), (3) and (4) relations, if the granulometric composition of the cement and microfiller is known. The experimental and calculated results of this optimization are shown in Table 1.

The properties of pressed cement stone with inert microfillers admixture are presented in Table 2. Formulae for calculating the relative density (8) and compressive strength (11) of hardening cement have been estimated.

The chemically active microfillers, such as silica fume, interact with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and form new CSH. The density and strength of cement stone increased after this interaction. The influence of chemically active microfillers on the relative density of the cement stone is given in (12).

The density of cement stone increases to 4.5% and strength increases to 40.2%, if the quantity of inert microfillers in the cement paste reaches 10%. The density of cement stone increases to 7.4% and strength increases to 54.7%, if the quantity of chemically active microfillers in the cement paste reaches 10%.

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

In 1956 Doctor's degree (Influence of increased intensity vibration on the forming of concrete mix and its properties). In 1969-79 and 1988-95 Head of the Department of Building Materials at KTU. In 1995-97 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. Department of Building Materials. Kaunas University of Technology (KTU). 48 Studentų St, 3031 Kaunas, Lithuania.

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