

<https://doi.org/10.51301/ace.2024.i4.04>

Effect of microdispersed and volumetric fiber reinforcement on the strength and durability of self-compacting concrete

D. Akhmetov¹, A. Urumbaeva¹, E. Tkach², G. Sarsenova^{1*}

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

²Moscow University of Civil Engineering, Moscow, Russia

*Corresponding author: g.sarsenova@satbayev.university

Abstract. This paper is devoted to research exploring the impact of popular in Kazakhstan ferrosilicon production technogenic waste – micro-silica on self-compacting concrete rheological and physic-technical properties and performance and durability improvement of building structures made of this concrete type utilizing volumetric fiber reinforcement. The paper provides the results of laboratory and industrial tests of self-compacting concrete mixtures (SCC) strength and operational properties. The most effective ratio of micro-silica as a filler in the binder and the optimal amount of low-modulus polypropylene fiber were selected to manufacture high-quality self-compacting concrete of C25/30, C30/35, C35/40, C40/45 classes produced on local raw materials. Examples of compositions confirming the possibility of up to 20% cement consumption reduction and increase the concrete frost resistance to F340 by using micro-silica, reduction of self-compacting concrete volumetric water absorption by up to 30%, increase the bending strength by up to 35% with the combined use of silica and polypropylene fiber in a right proportion. The research results provide practical value for self-compacting and cast concrete Kazakhstani manufacturers.

Keywords: self-supporting concrete, concrete strength, microsilica, polypropylene fiber, frost resistance, water absorption.

1. Кіріспе

Әлемдік құрылыс тәжірибесі өздігінен тығыздалатын бетонды әзірлеу құрылыс индустриясының өсіп келе жатқан қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін қажеттілік екенін көрсетеді. Құрылыс саласындағы жаңа серпінді жобалардың пайда болуы (мысалы, Жапония мен Қытайдағы инновациялық аспалы көпірлер, Нидерландыдағы ірі гидротехникалық кешендер мен көлік құрылыстары және басқалары) беріктігі жоғары бетонға қойылатын талаптарды арттырды. Мұндай нысандарды салу кезінде құйылған бетон қоспаларын үлкен көлемде пайдалану қажет [1]. Көбінесе бетондауға арналған құрылыс алаңдары бетон өндірілетін жерден үлкен қашықтықта, сонымен қатар жағалаудан (судан) айтарлықтай қашықтықта орналасқан. Бұл жағдай Қазақстанда дәл сондай бағытта. Бүгінгі таңда құрылысшылар мен дизайнерлер болашақ құрылымды модельдеу ғана емес, сонымен бірге жобаны жүзеге асыруға болатын құрылыс материалдарын таңдау және сонымен бірге құрылымның бүкіл қызмет ету мерзімі ішінде пайдалануға қажетті материалдармен қамтамасыз ету міндетін алады. Алайда, инженердің қаз-қарасы күрделі геометриялық пішінді құрылымдарды, тығыз арматураланған үлкен пішінді бетон төсеуінің орналастырумен шектелуі мүмкін. Сондықтан бұл мәселені өздігінен тығыздалған бетонды (ӨТБ) пайдалану арқылы шешуге болады. Сонымен қатар шешуді қажет ететін тағы бір мәселе - бетон қоспасын төсеуге кететін уақыт пен еңбек шығындарын азайту, өнімділікті жақсарту. Монолитті құрылыста және

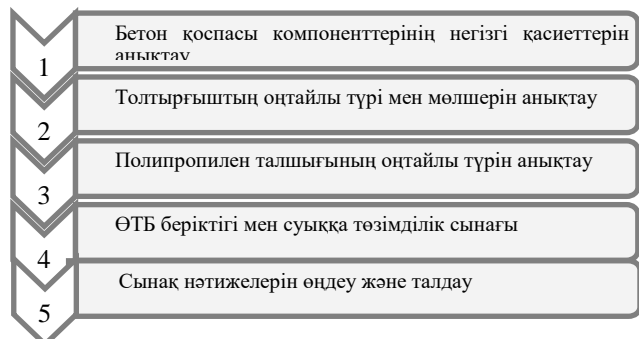
темірбетон бұйымдарын өндіруде өздігінен тығыздалатын бетонды тікелей зауыттарда пайдалану діріл процессін болдырмайды, осылайша қоршаған ортаға және өндірістік жағдайларға шуды азайтады [2]. Қазіргі уақытта талшықты арматураны және жоғары физика-техникалық сипаттамалары бар өздігінен тығыздалған бетонды (ӨТБ) қолдану бойынша зерттеулер бар [20]. Бірақ та (ӨТБ)-ның физикалық және техникалық қасиеттері бар дәстүрлі классикалық ауыр бетондар арасындағы айырмашылық бетон ғылымының зерттеушілеріне физикалық, техникалық және бетон қоспаларының реологиялық модельдерін зерттеуге, бетондағы толтырғыштардың оңтайлы таралуына жүйелі және кезең-кезеңмен қарауды қажет ететін бірқатар маңызды міндеттерді қояды. Бетон матрицасы, сондай-ақ ұсақ дисперсті толтырғыштар мен дисперсті талшықты арматураның өздігінен тығыздалатын қоспалардың сипаттамаларына әсерін бағалайды [4]. Зерттеушілердің бұрын жарияланған еңбектерінен ұсақ дисперсті толтырғыштар бетон қоспасының өңделуін, стратификацияға төзімділігін арттыруға, бетонның құрылымдық біркелкілігін және оның беріктігін арттыруға ықпал етеді [5]. Сондай-ақ, зерттеушілердің пікірінше, (ӨТБ) құрамын жобалау кезінде аталған міндеттерді шешу.

2. Зерттеу әдістері мен материалдары

Бұл жұмыста біз зерттеудің теориялық және практикалық әдістерін қолдандық. Теориялық зерттеулер құйылған бетон қоспаларының қолданыстағы

құрамдарын зерттеуге, өндіріс қалдықтарын пайдалануға жұмыс бағытын анықтау.

Практикалық зерттеулер (ӨТБ) өндірісінің теориялық әзірленген құрамдары мен әдістерін эксперименттік растауға бағытталған. Зерттеу 5 кезеңде жүргізілді, олардың әрқайсысы нақты мәселелерді шешуді көздеді (1-сурет).



Сурет 1. Жұмыс кезеңі

Біз жергілікті шикізатты және Қазақстандық өнеркәсіп қалдықтарынан және төмен модульді полипропилен талшығынан жасалған ұсақ агрегатты қолдандық.

Зерттеу әдістемесі өздігінен тығыздалатын бетонның эксперимент арқылы алынған реологиялық және физикалық-техникалық сипаттамаларын субъектінің құрамына қосылатын жаңа компоненттерді өзгерту арқылы бетонның осы класының бақылау өндірістік құрамымен салыстыруға бағытталған. Барлық зерттеулер мен сынақтар Қазақстан Республикасының аумағында қолданылатын нормативтік құжаттамасына сәйкес орындалды.

2.1. Бетон қоспасының компоненттерінің негізгі қасиеттерін анықтау

Зерттелетін бетон қоспалары үшін тұтқыр ретінде маркасы М400/ Д20 цемент қабылданды оны ЖШС «Стандарт Цемент» (Шымкент қ., Қазақстан) өндірді. Біз таңдалған тұтқыр заттың нормалар мен талаптарға сәйкестігін растау үшін бірқатар сынақтар жүргіздік [16]. Стандартта келтірілген әдіс келесі параметрлерді анықтауға мүмкіндік береді:

1) ұнтақталу:

Зерттелген тұтқыр 93.9% ұнтақтаудың нәтижесін көрсетті.

2) Цемент камырының нормативтік тығыздығы және катаю мерзімдері:

Тұтқыр затты зерттеу нәтижесінде қалыпты тығыздық 26.80% алынды. Ерітіндісінің катаюы 2 сағат 04 минуттан кейін басталып, ақталу уақыты 4 сағат 05 минуттан кейін су қосылған моменттен бастап есептелді. Алынған көрсеткіштер нормаларға сәйкес келеді.

3) қысу және иілу беріктігі (28 тәулік уақытында):

Зерттелініп жатырған тұтқыр заттың беріктік сипаттамаларын анықтау кезінде 28 тәулікте: иілу-5.5 МПа; қысу-41.7 МПа нәтиже алынды. Алынған көрсеткіштер нормаларға сәйкес келеді.

Біздің сынақтарымызда біз ЖШС «Гида» (Алматы облысы, Қазақстан) өндірушісінің құмын қолдандық, материал стандартқа сәйкес келеді [6]. Осы стандартқа сәйкес, ауыр бетондарға арналған ұсақ толтырғыш ретінде құмдар максималды мөлшерде шаң мен сазды

қосылыстармен, үлкен және орташа 3% мөлшерінде қолданылуы мүмкін, бұл анықтамаға (ӨТБ) да енеді. Алайда, зертханалық және өндірістік сынақтардың нәтижелеріне сәйкес, бетон қоспасы мен соңғы конгломераттың қанағаттанарлық сипаттамаларын алу үшін шаңның мөлшері 1.4%-дан аспайтын құмды пайдалану қажет. Қарастырылып отырған құмның шаң тәрізді және сазды қосындыларының санын анықтау бойынша сынақ сәйкес әдіспен жүргізілді [7]. Сынақ нәтижелері бойынша зерттелінген құмның шаң тәрізді және сазды қосылыс мөлшері 1.07% құрады. Сондай-ақ, [7] сәйкес, агрегаттың астық құрамын елеу және анықтау арқылы құмның ұнтақ модулі 2.5 деп анықталды. Бұл көрсеткіштер зерттелетін агрегатты ауыр бетондарда да, атап айтқанда (ӨТБ) қолдануға жарамды.

Ірі агрегат ретінде белгілі физика-техникалық сипаттамалары бар ЖШС «Арна» (Алматы облысы, Қазақстан) өндірген фракциялары 5-10 мм және 10-20 мм қиыршық тастары қолданылды.

Бұл агрегат ауыр бетондарға, оның ішінде (ӨТБ) арналған агрегат ретінде пайдаланылатын тығыз жыныстардан жасалған қиыршық тастарға қойылатын негізгі талаптарды анықтайтын нормативтік құжаттың [8] талаптарына сәйкес келеді.

Бұл зерттеуде жұқа толтырғыш ретінде біз мыналарды қарастырдық:

- ЖШС «Тау-Кен Темір» өндірген Микрокремнезем (Қарағанды, Қазақстан);

- АҚ «Ақтөбе феррокорытпа зауыты» (Ақтөбе қ., Қазақстан) тазартылған феррохром қожи (бұдан әрі-РФШ).

- Зола-Алматы ЖЭО-1 (Алматы қ., Қазақстан) [17].

Гиперпластификаторлар ретінде ЖШС «Atrirang group» шығаратын AR Premium 2-ші буынының тиісті поликарбоксилатты эфирлері негізінде мынадай сипаттамалары бар химиялық қоспа пайдаланылды (1-кесте).

Кесте 1. AR Premium АН гиперпластификаторының техникалық сипаттамалары

Индикатор	Индикатор мәні
Сыртқы түрі	Ашық сары түсті біртекті сұйықтық
Тығыздығы 25° С, кг/м ³	1030 - 1070
pH-фактор, pH	4
Cl-иондарының құрамы, артық емес	0.1

Біздің зерттеулерімізде көлемді арматуралау мақсатында Астана қаласында өндірілген «ПолиТекс» төмен модульді полипропилен талшығы пайдаланылды (2-кесте).

Кесте 2. Полипропилен талшығының техникалық сипаттамалары

Көрсеткіш	Нормативтік мән	Нақты мән
Химиялық формуласы	Полипропилен	Полипропилен
Түрі	Монофиламент	Монофиламент
Талшықтың ұзындығы	16-25 мм	Нормаларға сәйкес келеді
Талшық диаметрі	17 - 23 мкм	19 мкм
Формасы	Дөңгелек	Дөңгелек
Беті	цемент ерітіндісімен дисперсия мен адгезияны жеңілдететін арнайы ерітіндімен өңделген	

Тығыздығы	0.88 г/см³	0.88 г/см³
Талшық жиілігі	17.9 млн./кг	Нормаға сәйкес
Созылу беріктігі (орташа)	320-500 МПа	Нормаға сәйкес
Юнг Модулі	3400-3800	Нормаға сәйкес
Түсі	Ақ	Ақ

2.2. Минералды қоспаның оңтайлы түрі мен шығынын анықтау

Өндіріс қалдықтарынан жұқа дисперсті минералды қоспаларды қолдану тиімділігін анықтау үшін бірдей қонулық бүріккішпен (75 см) бетон қоспаларын алуға және әр түрлі қатаю кезеңінде (3, 7 және 28 күн) бетонның беріктік сипаттамаларын анықтауға бағытталған сынақтар жүргізілді. Осы сынақ шеңберінде бақылау құрамы ретінде талшықты арматурасыз С30/35 класты өздігінен тығыздалатын бетонның зауыттық құрамы қабылданды (3-кесте) [20].

Кесте 3. ӨТБ құрамы (бақылау)

С/Ц	Цемент, кг/м³	Құм, кг/м³	Қиыршық тас, 5-10 мм, кг/м³	Қиыршық тас, 10-20 мм, кг/м³	Қоспа, кг/м³	Микрокремнезем, кг/м³
0.37	40	900	625	50	6.5	5

Конустың шығынын анықтау үшін стандартты Абрамс конусы қолданылды. Конус пен металл парақ сумен суланады, содан кейін конус металл параққа парактың бетіне кішірек негізмен орнатылады. Бетон қоспасы бір уақытта конус толығымен толтырылғанша құйылады. Конус 5-7 секундқа көтеріледі және қоспаны толығымен тоқтатқаннан кейін екі ең үлкен таралу диаметрі өлшенеді. Ең үлкен екі диаметрдің орташа арифметикалық мәні сынақтың нәтижесі болып табылады. [10] сәйкес, (ӨТБ) өңдеу дәрежесі бойынша үш классқа бөлінеді (4-кесте).

Кесте 4. Өңдеу көрсеткіші бойынша (ӨТБ) жіктелуі

Класс	Конус шығыны, мм
SF 1	550-650
SF 2	660-750
SF 3	760-850

Алдағы уақытта өнеркәсіптік қалдықтардан минералды қоспаның түрі мен мөлшерінің (ӨТБ) бетон қоспасының өңделуіне әсерін қарастыру қажет болды [9]. Өнеркәсіптік қалдықтарға негізделген минералды қоспалардың тиімділігін талдау үшін біз диаметрі 75 см конус алу үшін қоспалардың құрамын жасадық. алынған композициялар 5-кестеде келтірілген.

Композициялық құрамын және су-цемент қатынасына талдай отырып, біз реологиялық параметрлер бойынша ең перспективалы минералды қоспаны анықтадық.

Зерттеудің одан әрі теңдеулер жүйесі бойынша математикалық есептеу нәтижесінде алынған, зертханалық және физикалық, 3 тәуліктік және 28 тәуліктік техникалық және пайдалану сипаттамаларын зерттеу арқылы эксперименталды түрде расталған ең тиімді минералды қоспаны пайдалана отырып, танымал сыныптардың өздігінен тығыздалатын модификацияланған бетондарының физикалық-

техникалық және пайдалану сипаттамалары бойынша көрсеткіштерді салыстыруға бағытталды. Барлық зерттеулер мен сынақтар қолданыстағы стандарттарға сәйкес жүргізілді [10,19].

Кесте 5. ӨТБ бетон қоспаларының құрамы

Компонент	блок	Композициялық нөмір			
		1	2	3	4
Цемент	кг/м³	540	440	440	440
Микрокремнезем		55	0	0	155
Күл		0	0	155	0
RFC шлактары		0	155	0	0
Су		220	230	250	215
Құм		900	960	800	1000
Қиыршық тас 5-10		625	440	550	470
Қиыршық тас 10-15		150	290	315	250
MSU қоспасы		16.5	18.0	19.5	15.5
Конус ағыны	мм	700	720	680	750
С/Ц Қатынасы		0.37	0.39	0.42	0.36

2.3. Танымал сыныптар бойынша бетон құрамын бағалау

Бағалау 4 кезеңнен тұрады:

- Қалыптау шарттарына сүйене отырып, беріктік шегінің ең төменгі рұқсат етілген мәнін, сондай-ақ бетонның беріктігіне және бетон қоспасының ыңғайлы өңделуіне қойылатын әдеттегі талаптарды қамтуы тиіс техникалық тапсырма,

- Шикізат материалдарын таңдау және олардың қасиеттерін сипаттайтын қажетті деректерді жинау;

- 1 кг-ға негізгі компоненттердің шығынын анықтау үшін бетон қоспасының құрамын есептеу.

- Алынған құрамды эксперименттік тексеру және оны түзету (қажет болған жағдайда).

Алдымен бетонның беріктігін цементтің белсенділігіне RC және су цемент қатынасына байланысты Rb қысу бетонының берілген беріктігін анықтаймыз:

$$R_b = \frac{R_c}{k \left(\frac{W}{c}\right)^{12}} \quad (1)$$

Мұндағы K және n - бетон түріне және толтырғыштың сапасына байланысты коэффициенттер f. н. М. Беляевтің айтуынша, ауыр бетон үшін N = 3/2, қиыршық тасты пайдаланған кезде k = 3.5, қиыршық тас k = 4. Формула қалыпты температура мен ылғалдылық жағдайында қатып қалған және 28 тәулік жасында стандартты әдістеме бойынша сыналған бетонның беріктігін бағалауға жарамды [11].

Композицияны одан әрі есептеу бетонның беріктігінің негізгі заңы, абсолютті көлем теңдеуі сияқты бұрыннан белгілі және кеңінен қолданылатын математикалық өрнектерді қамтитын өздігінен тығыздалған бетон теңдеулер жүйесін шешуге негізделген, бұл жиынтықта негізгі компоненттердің шығыны мен қасиеттерінің бетонның беріктігімен және бетон қоспасының жұмыс қабілеттілігімен байланысын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

$$\left\{ \begin{aligned} R_B &= R_c * A * \left(\frac{U}{B} \pm 0.3\right) \\ \frac{B}{\rho_n} + \frac{C}{\rho_c} + \frac{P}{\rho_{\Pi}} + \frac{III}{\rho_{III}} + \frac{H}{\rho_n} + \Phi &= 1 \end{aligned} \right. \quad (2)$$

мұндағы: R_B -бетонның берілген беріктігі, МПа, РЦ-цементтің белсенділігі, МПа; А - агрегаттың сапасын болжайтын коэффициент; Ц, В, П, Ш, Н, Ф - цемент, құм, қиыршық тас, толтырғыштар мен агрегаттардың шығыны, 1 м^3 бетонға арналған талшық, кг: талшықтың шығыны келесідей анықталады $\rho_{ц}, \rho_{п}, \rho_{ш}, \rho_{в},$ - цемент, құм, қиыршық тас, су, толтырғыш дәндерінің тығыздығын $\text{кг}/\text{м}^3$ сынамалы илеу жолымен жұмысқа жарамдылық көрсеткіштеріне; $\text{г}/\text{м}^3$;

Есептік жолмен алынған өздігінен тығыздалатын бетондардың бақылау құрамдарының негізінде 4 негізгі кластағы модификацияланған өздігінен тығыздалатын бетондардың құрамдары микро толтырғыш-кремнеземмен бөлек және микро толтырғыш пен талшықпен бөлек таңдалды, олар бойынша жиынтық деректер кестеде келтірілген (6-кесте).

Кесте 6. Бетон қоспасының 1 м^3 материалдарының шығыны

№	Бетон класы, V	Цемент ЦЕМ 52,5 Н, кг	Талшық (12 мм), кг	МКУ микрокремнеземі, кг	МСО гиперпластификаторы, кг	
1	C 25/30	500	-	50	16.0	
	C 30/35	540	-	55	16.5	
	C 35/40	560	-	65	17.0	
	C 40/45	585	-	80	17.5	
2	C 25/30	410	-	130	14.1	
	C 30/35	440	-	155	15.5	
	C 35/40	450	-	165	16.8	
	C 40/45	465	-	180	17.0	
3	C 25/30	410	6	125	14.5	
	C 30/35	440	6	150	15.8	
	C 35/40	450	6	160	17.2	
	C 40/45	465	6	170	17.7	
№	Бетон класы, V	Қиыршық тас 5-10 мм, кг	Қиыршық тас 5-10 мм, кг	Құм, кг	Су, л	Жалпы тұтыну, кг
1	C 25/30	635	175	900	200	2460
	C 30/35	625	150	900	220	2490
	C 35/40	600	150	900	225	2500
	C 40/45	585	145	880	230	2505
2	C 25/30	650	200	870	220	2480
	C 30/35	635	180	860	215	2485
	C 35/40	635	170	850	220	2490
	C 40/45	630	160	835	225	2495
3	C 25/30	650	190	860	230	2471
	C 30/35	635	170	840	240	2481
	C 35/40	635	160	830	245	2486
	C 40/45	625	155	820	250	2491

Ескерту: бетон қоспасын тұтыну маркасы - SF 2

Жиынтық 6-кестеден, өздігінен тығыздалатын бетон құрамдарының жалпы кластарын сипаттайтын, цементтің бір бөлігін №2 бетон құрамындағы МКУ микрокремнеземімен 30%-ға дейін ауыстыру бетон қоспасының жұмысқа жарамдылық сипаттамаларын жоғалтпай цемент шығынын 20%-ға дейін төмендетуге мүмкіндік беретінін көруге болады. Зерттеудің келесі кезеңдері олардың физикалық-техникалық және пайдалану қасиеттерін анықтау үшін таңдалған композицияларды зертханалық сынау болды.

2.4. Бетонның аязға төзімділігін анықтау

Аязға төзімділік сынағы екінші жеделдетілген әдіс бойынша [15] сәйкес, натрий хлоридімен қаныққан үлгілерді ауада мұздату және кейіннен еріту арқылы жүргізілді.

Аязға төзімділік туралы мәліметтерді алғаннан кейін біз модификаторлар мен талшықты көлемді арматураның бетонның аязға төзімділігіне тәуелділігін анықтадық (3-сурет).

2.5. Бетонның су сіңіруін анықтау

Бетонның суды сіңіруін анықтау бойынша сынақтар [14] сәйкес жүргізілді, бетон үлгілері сумен толтырылған контейнерге орналастырылды, осылайша контейнердегі су деңгейі төселген үлгілердің жоғарғы деңгейінен шамамен 50 мм жоғары болды. Үлгілер тығыздағыштарға үлгінің биіктігі минималды болатындай етіп орналастырылады (призмалар мен цилиндрлер бүйіріне қойылады). Кәдімгі таразыда өлшеу кезінде Судан алынған үлгілер Сығылған дымқыл шүберекпен алдын ала сүртіледі. Сынақ қатарынан екі салмақтың нәтижелері 0.1%-дан аспайтын уақытқа дейін жүргізіледі.

W_m , % масса., формула бойынша 0.1% дейін қателікпен есептеледі

$$W_m = M_v - M_c / M_c * 100\% \quad (4)$$

мұндағы M_v - су қаныққан үлгінің массасы, г, M_c - құрғақ үлгінің массасы, г.

Суды сіңіру туралы мәліметтерді алу (7-кесте), біз модификаторлар мен көлемді талшықты арматураның бетонның суды сіңіруіне тәуелділігін анықтадық (2-сурет).

3. Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау

5-кестеде көрсетілген өндіріс қалдықтарынан толтырғыштары бар өздігінен тығыздалатын бетондардың құрамын сынау нәтижелері бойынша келесі қорытындылар жасауға болады:

- Толтырғыш ретінде күл қоспасымен №3 қоспаның ең үлкен су қажеттілігі бар (конустың ең аз шығыны пластификаторының ең үлкен ағынымен бірге, ең үлкен су-цемент С/Ц қатынасында), соңғы конгломераттың беріктік сипаттамаларына әсер етеді;

- Пластификатордың ең төменгі ағындық көрсеткіштеріндегі ең жоғары конустық ағын жылдамдығы және ең төменгі су-цемент С/Ц қатынасы микрокремнезем қосылған №4 композиция цементтің 30% - на дейін алмастыра алады [22].

Осыған сүйене отырып, авторлардың пікіріне сәйкес микрокремнеземді кәдеге жарату қолайлы деп саналады [12].

Кесте 7. Зерттелетін бетон құрамдарының физика-механикалық қасиеттері

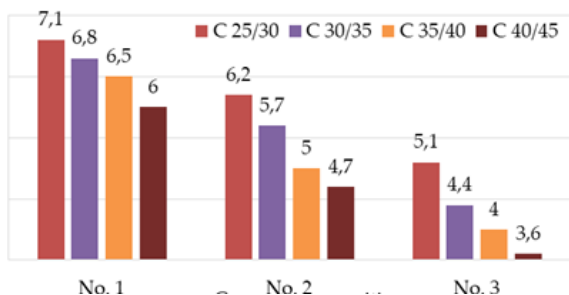
№	Бетонның жобалық класы	Қысу беріктігі, МПа (R_c)		Иілу беріктігі, МПа (R_B)	
		3 тәулік-тен сон	28 тәулік	3 тәулік-тен сон	28 тәулік
1	C 25/30	22.2	33.5	4.37	5.21
	C 30/35	27.1	38.9	4.4	5.24
	C 35/40	30.1	45.1	4.42	5.26
	C 40/45	35.0	53.5	4.45	5.29
2	C 25/30	26.3	34.7	4.81	5.41
	C 30/35	29.5	39.6	5.17	5.53
	C 35/40	40.4	45.8	5.25	5.58
	C 40/45	48.3	54.7	5.36	5.71
3	C 25/30	27.3	34.8	5.8	6.87
	C 30/35	29.6	40.2	6.1	6.94
	C 35/40	40.4	50.1	6.17	7.01

№	Бетонның жобалық класы	47.8	54.5	6.45	7.12
		Аязға төзімділік, циклдар (F)	Суды сіңіру көлемі, %	Бетонның орташа тығыздығы, кг/м ³	
1	C 25/30	220	7.1	2454	
	C 30/35	220	6.8	2475	
	C 35/40	220	6.5	2477	
	C 40/45	220	6.0	2485	
2	C 25/30	250	6.2	2451	
	C 30/35	250	5.7	2467	
	C 35/40	300	5.0	2496	
	C 40/45	300	4.7	2504	
3	C 25/30	340	5.1	2455	
	C 30/35	340	4.4	2467	
	C 35/40	340	4.0	2475	
	C 40/45	340	3.6	2481	

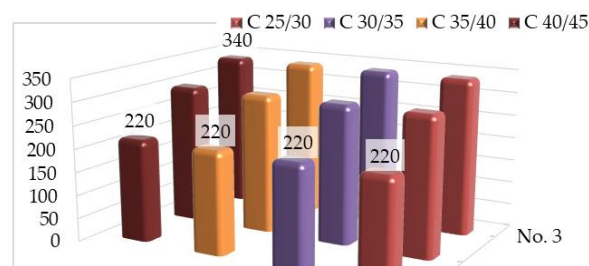
Алынған беріктік нәтижелеріне сүйене отырып, C25/30, C30/35, C35/40, C40/45 класты өздігінен тығыздалатын бетондардың барлық 3 құрамының есептік сипаттамалары нормаларға сәйкес келеді, алайда цементті микрокремнеземмен 30%-ға ауыстыру үлесі бар №2 Бетон құрамдарында бетонның 3 тәуелділік жасында қысу беріктігінің 35% артуы байқалады, қоспадағы микро кремний диоксиді мөлшерінің ұлғаюымен беріктіктің мұндай ерте өсуі реактивті пуццолан қоспаларын (SiO₂ белсенді кремний диоксиді) пайдалану кезінде бетон денесінде қосымша кристалдану орталықтарының пайда болуы және кеуек кеңістігінің азаюы туралы теориялық болжамдарға сәйкес келеді, өйткені CA(OH)₂ белсенді минералды қоспамен байланыстыру процесі - SiO₂ нашар еритін қосылыс - кальций гидросиликаты: CA(OH)₂ + SiO₂ + nH₂O = CaO*SiO₂*nH₂O.

Бұдан шығатыны, 30%-ға дейін цементті микрокремнеземмен алмастыратын және 12 мм көлемді талшықты арматурасы бар №3 бетон қосылыстары тұтқыр көлемінің 1.5% - на дейінгі мөлшердегі төмен модульді полипропилен талшығымен иілу беріктігінің 35% - ға дейін ұлғаюын көрсетеді, бұл төмен модульді полипропиленді өздігінен тығыздалатын бетондарды көлемді талшықты арматуралау қажеттілігі туралы теорияның дұрыстығын айқын көрсетеді мақсаты бар талшық олардың жарыққа төзімділігін арттыру және бетонның иілу жүктемелеріне төзімділігін арттыру [18].

2 және 3 суреттерде көлемді суды сіңіру мен бетонның аязға төзімділігінің модификаторлар мен көлемді талшықты арматураны қолданылуы көрсетілген.



Сурет 2. Бетонның көлемді су сіңіруінің модификаторларды қолдануға және талшықты көлемді арматуралауға тәуелділігі: №1 - 10% модификатор қоспасымен; №2 - 30% модификатор қоспасымен; №3 - 30% модификатор және фибра қоспасымен



Сурет 3. Бетонның аязға төзімділігінің модификаторларды қолдануға және талшықты көлемді арматуралауға тәуелділігі: №1 - 10% модификатор қоспасымен; №2 - 30% модификатор қоспасымен; №3 - 30% модификатор және фибра қоспасымен

Модификацияланған бетондарды суды сіңіру және аязға төзімділік сынақтарының нәтижелері F220 қоспасыз бетондардан F340-қа дейін бірдей кластағы модификацияланған бетондарға төзімділіктің жалпы тенденциясын көрсетеді. Сонымен қатар, суды сіңірудің көлемдік көрсеткіштері 30%-ға дейін төмендейді [18]. Бұл алынған нәтижелер реактивті пуццолан қоспаларын (SiO₂ белсенді микрокремнеземі) пайдалану кезінде бетон денесінде қосымша кристалдану орталықтарын құру және кеуек кеңістігінің координаталық азаюы туралы теориялық болжамдарға және талшықтардың беті цемент өсінділерінің тығыз және берік қабаты пайда болатын негіз болып табылады деген гипотезаға сәйкес келетіндігін көрсетеді [3,4]. Цемент жүйесінің ішіндегі микробөлшектерді байланыстыру оларды фазалық интерфейс арқылы дисперсиялық ортамен әрекеттесетін бетон құрылымының тәуелсіз элементтері ретінде бағалауға мүмкіндік береді, нәтижесінде неоплазма өнімдерінен тұратын осы беттердің байланыс аймақтары бір-бірімен біріктіріліп, талшықты цемент қаңқасын құрайды, оның тығыздығы мен беріктігі қалған материалдармен салыстырғанда жоғары.

4. Қорытынды

Микро толтырғыштарды өздігінен тығыздалатын бетонда қолдану мүмкіндігіне сынау негізінде микро толтырғыш ретінде RFC кожын пайдаланған кезде C/Ц = 0.39 к 720 мм конус ағынының индексі бар ӨТБ, 1м³ бетон қоспасына 18.0 кг пластификатордың қанағаттанарлық шығыны кезінде алуға болады.

ЖЭО күлін пайдаланған кезде сынақ нәтижелері салыстырмалы түрде нашар-конус ағынының 680 мм-ге дейін төмендеуі және су-цементтің ең үлкен қатынасы 0.42, сондай-ақ пластификаторының шығыны басқа зерттелетін құрамдарға қарағанда жоғары.

Цементтің бір бөлігін 30%-ға дейін микро кремнеземмен ауыстырған кезде бетон қоспасы ең жақсы сипаттамаларға ие болады, конус шығыны 750 мм және 1м³ үшін- 15.5 кг пластификатордың ең аз шығыны 0.36 құрайды.

Бетон беріктігі туралы алынған мәліметтерден ерте уақытта (мысалы, 3 күн) беріктік алу үшін құрылысшылар бетондағы цементтің бір бөлігін микро кремний диоксидімен ауыстыру, сондай-ақ су-цемент қатынасын төмендету сияқты келесі технологиялық әдістерді қолдануы туралы қорытынды жасалынды. Тұтқыр ағынды азайту қажет болған жағдайда микро кремний диоксиді немесе ұқсас минералды қоспаларды

қосу бетонның физикалық және техникалық сипаттамаларын сақтауға мүмкіндік береді.

Жүргізілген зертханалық және өндірістік сынақтардың негізінде көлемді талшықты арматуралау және бетон модификаторларын пайдалану сияқты тәсілдер экономикалық жағынан да, іс жүзінде де негізделген деген қорытынды жасауға болады.

Модификацияланған бетондарды пайдалану, стандартты бетон қосылыстарынан айырмашылығы, цементті 20%-ға дейін үнемдеуге, F 340-қа дейін аязға төзімділіктің жақсы көрсеткіштеріне ие болуға және судың көлемді сіңуін 30%-ға төмендетеді. Бұл өнімділікке жақсы әсер етеді.

Бетонның беріктігінің маңызды көрсеткіші және зерттелінген басты сипаттама иілу беріктігі болып табылады. Зерттеу нәтижелері бойынша полипропилен синтетикалық талшықты байланыстырғыштың массасы бойынша оңтайлы мөлшері 1-2% қолдану бетонның маңызды сипаттамасы - иілу кезінде созылу беріктігін арттыру үшін негізделуі керек. Көлемді талшықты арматураны қолдану өздігінен тығыздалатын бетон композицияларының физика-техникалық және деформациялық сипаттамаларын жақсартады, атап айтқанда, иілу беріктігін 35% дейін арттырады. Жүргізілген тәжірибелер негізінде цемент шығынын азайту және өздігінен тығыздалатын бетондардың беріктігі мен пайдалану қасиеттерін жақсарту үшін белгілі бір мөлшерде микрокремнеземді және полипропилен талшықты көлемді арматураны қолдануды ұсынуға болатындығын қорытындылауға болады.

Зерттеу жұмысының мақсаты мен міндеттері жүзеге сәтті асырылды, практикада қолдану үшін қажетті нәтижелер алынғанын атап өткен жөн.

References / Әдебиеттер

- [1] Ahmetov, D.A. (2017). Opyt primeneniya samouplotnjajushhihsja betonov v stroitel'noj industrii Respubliki Kazahstan. *Molodoj uchenyi*, 48(182), 11-14. <https://moluch.ru/archive/182/46775>
- [2] Berdnyk, O., Amelina, N., Petrikova, E. & Maystrenko, A. (2023). The use of self-compacting concrete with polycarboxylate additives in the production of long reinforced concrete structures. *AIP Conf. Proc.*, 2684(1), 040001. <https://doi.org/10.1063/5.0120140>
- [3] Abrishambaf, A., Barros, H.A.O., Vitor, M.K.F. (2015). Kunha Zharylgan bolat talshykty armaturalanfan ozdiginen nygyzdatatyn beton panel'deriniñ uakytka taueldi iilu areketi. *Cement zhəne beton zertteuleri*, (72), 21-36
- [4] Frazao, K., Barros, H., Kamojes, A., Alves, A.S. & Rosha, L. (2016). Ozdiginen nygyzdatatyn betondagy ilmektelgen bolat talshyktardyn tartylu areketine korrozija aseri. *Cement pen betondy zertteu*, (79), 112-122
- [5] Matveev, D.V., Ivanov, I.M., Chernyh, T.N. & Kramar, L.J. (2016). Razrabotka sostavov i issledovanie svojstv samouplotnjajushhihsja betonov na rjadovyh materialah

- Cheljabinskoy oblasti. *Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura*, 16(3), 55-59
- [6] GOST 8736-2014. Kurylys zhumystaryna arnalfan kum. Tehnikalyk sipattamalar. *Moscow: IPK Standarttar baspasy*
- [7] GOST 8735-88. Kurylys zhumystaryna arналган kum. Synau adisteri. *Moscow: IPK Standarttar baspasy*
- [8] GOST 8267-93. Kurylys zhumystaryna arnalfan tygyz zhnynstardan kiyryshyk tas pen kiyryshyk tas. Tehnikalyk sharttar. *Moscow: Standinform*
- [9] GOST 10181-2014. Beton kospalary. Testileu adisteri. *Kurylys: UIK*
- [10] European Project Group. (2005). The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. Retrieved from: https://static1.squarespace.com/static/5e6b93d41858c8369bc361b9/t/5f33f458654885030c0ddf6d/15971202u/14CC01202u_5.pdf
- [11] Domakeev, A.G. (1989). Kurylys materialdary. *Moscow: Zhogary mektep baspasy*
- [12] Akhmetov, D., Aniskin, A., Uteпов, Y., Root, Y. & Kozina, G. (2020). Determination of Optimal Fibre Reinforcement Parameters for Self-Compacting Concretes. *Tehnicki vjesnik*, 27(6), 1982-1989. <https://doi.org/10.17559/TV-20200630163212>
- [13] Yu, R., Spiesz, P. & Brouwers, H.J.H. (2014). Effect of nano-silica on the hydration and microstructure development of Ultra-High Performance Concrete (UHPC) with a low binder amount. *Construction and Building Materials*, (65), 140-150. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.063>
- [14] GOST 12730.3-2020. Betondar. Sudy sinirudi anyktau adisi. *Moscow: Stroyizdat*
- [15] EN/TS 12390-9:2016. Shynykytyrylgan betondy synau - 9-belim: Muzdy ketiretin tuzdarmen muzdauga tozimdilik. Қақтау
- [16] EN 197-1:2011. Cement - 1-belim: Kadingi cementterdin kuramy, tehnikalyk sipattamalary zhane sajkestik kriterijleri
- [17] Tau-Ken Temir. (2023). Microsilica. Retrieved from: <https://www.tks-temir.kz/?ctrl=catalog&act=single&id=12>.
- [18] Akhmetov, D.A., Pukhareno, Y.V., Vatin, N.I., Akhazhanov, S.B., Akhmetov, A.R., Jetpisbayeva, A.Z. & Uteпов, Y.B. (2015). The Effect of Low-Modulus Plastic Fiber on the Physical and Technical Characteristics of Modified Heavy Concretes Based on Polycarboxylates and Microsilica. *Materials*, (15), 2648. <https://doi.org/10.3390/ma15072648>
- [19] EN 1992-1-1:2004/AC:2008. Evrokod 2: Beton konstrukcijalaryn zho balau - 1-1 belim: Gimarrattarga arналган zhalpy erezhele men erezhele
- [20] Akhmetov, D., Akhazhanov, S., Jetpisbayeva, A., Pukhareno, Y., Root, Y., Uteпов, Y. & Akhmetov, A. (2022). Effect of low-modulus polypropylene fiber on physical and mechanical properties of self-compacting concrete. *Case Studies in Construction Materials*, (16), e00814. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00814>
- [21] EN 12390-3:2019. Shynykytyrylgan betondy synau - 3-belim: Synak ulgilerinin kysylu beriktigi
- [22] Cheah, C.B., Chow, W.K., Oo, C.W., Leow, K.H. (2020). The influence of type and combination of polycarboxylate ether superplasticizer on the mechanical properties and microstructure of slag-silica fume ternary blended self-consolidating concrete. *Journal of Building Engineering*, (31), 101412. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101412>

Микродисперсті және көлемді талшықты арматураның өздігінен тығыздалатын бетонның беріктігі мен төзімділігіне әсері

Д. Ахметов¹, А. Урумбаева¹, Е. Ткач², Г. Сарсенова^{1*}

¹Satbayev University, Алматы, Қазақстан

²Мәскеу құрылыс университеті, Мәскеу, Ресей

*Корреспонденция үшін автор: g.sarsenova@satbayev.university

Андатпа. Бұл мақала Қазақстанда танымал ферросилиций – микрокремнезем өндірісінің техногендік қалдықтарының өздігінен тығыздалатын бетонның реологиялық және физикалық-техникалық қасиеттеріне әсерін, сондай-ақ көлемді талшықты арматураны пайдалана отырып, бетонның осы түрінен жасалған құрылыс конструкцияларының пайдалану сипаттамалары мен беріктігін арттыруға арналған. Мақалада өздігінен тығыздалатын бетон қоспаларының (ӨТБ) беріктігі мен пайдалану қасиеттеріне зертханалық және өнеркәсіптік сынақтарының нәтижелері келтірілген. Жергілікті шикізаттан өндірілетін С25/30, С30/35, С35/40, С40/45 класты жоғары сапалы өздігінен тығыздалатын бетон өндіру үшін тұтқыр затта толтырғыш ретінде микрокремнеземнің ең тиімді қатынасы және төмен модульді полипропилен талшығының оңтайлы мөлшері таңдалды. Микрокремнеземді қолдану арқылы цемент шығынын 20%-ға дейін төмендету және бетонның аязға төзімділігін F 340-қа дейін арттыру, өздігінен тығыздалатын бетонның көлемді су сіңіруін 30%-ға дейін төмендету, кремний диоксиді мен полипропилен талшығын дұрыс пропорцияда иілу беріктігін 35%-ға дейін арттыру. Зерттеу нәтижелері өздігінен тығыздалатын және монолитті бетонды Қазақстандық өндірушілер үшін практикалық құндылық болып табылады.

Негізгі сөздер: өздігінен тығыздалатын бетон, бетонның беріктігі, микро кремний диоксиді, полипропилен талшығы, аязға төзімділік, суды сіңіру.

Влияние микродисперсной и объемной волоконной арматуры на прочность и долговечность самоуплотняющегося бетона

Д. Ахметов¹, А. Урумбаева¹, Е. Ткач², Г. Сарсенова^{1*}

¹Satbayev University, Алматы, Казахстан

²Московский строительный университет, Москва, Россия

*Автор для корреспонденции: g.sarsenova@satbayev.university

Аннотация. Данная статья посвящена исследованию влияния популярного в Казахстане техногенного отхода ферросилициевого производства – микрокремнезема на реологические и физико-технические свойства самоуплотняющегося бетона, а также повышение эксплуатационных характеристик и долговечности строительных конструкций из этого типа бетона с применением объемного армирования фиброй. В статье приведены результаты лабораторных и промышленных испытаний прочностных и эксплуатационных свойств самоуплотняющихся бетонных смесей (СБС). Подобрано наиболее эффективное соотношение микрокремнезема в качестве наполнителя вяжущего и оптимальное количество низко модульной полипропиленовой фибры для изготовления высококачественного самоуплотняющегося бетона марок С25/30, С30/35, С35/40, С40/. 45 сортов производятся на местном сырье. Примеры составов, подтверждающие возможность снижения расхода цемента до 20% и повышения морозостойкости бетона до F340 за счет использования микрокремнезема, снижения объемного водопоглощения самоуплотняющегося бетона до 30%, повышения прочности на изгиб до 35% при совместном использовании кремнезема и полипропиленового волокна в правильной пропорции. Результаты исследования представляют практическую ценность для казахстанских производителей самоуплотняющегося и литого бетона.

Ключевые слова: самонесущий бетон, прочность бетона, микрокремнезем, полипропиленовое волокно, морозостойкость, водопоглощение.

Received: 14 September 2024

Accepted: 16 December 2024

Available online: 31 December 2024