

Augstas izturības betona mikrostruktūras, mehānisko īpašību un ķīmiskās izturības likumsakarības

Janīna Sētiņa¹, Jūlija Petrova², Aļona Gabrene³, Jānis Baroniņš⁴, ¹⁻⁴Rīgas Tehniskā universitāte

Kopsavilkums. Rakstā apkopota informācija par augstas izturības betonu, tā īpašībām un izmantotām izejvielām, pamata un speciālām ķīmiskām piedevām. Apskatīti betona korozijas iemesli un notiekošie procesi. Eksperimentālajā daļā pētīti betona paraugi ar dažādu superplastifikatora daudzumu. Noteikta betona paraugu ūdens un sulfāta sāļu šķīdumu uzsūce, mineraloģiskais sastāvs, mehāniskās īpašības atkarībā no pieliktā superplastifikatora daudzuma. Pēc eksponēšanas sulfātu sāļu šķīdumos betona paraugiem veikta vizuālā novērtēšana, šķīduma pH, svāra izmaiņu, mineraloģiskā sastāva izmaiņas izvērtēšana, porozitātes un spiedes stiprības noteikšana.

Atslēgas vārdi: augstas izturības betons, superplastifikators, betona korozija, sāļu uzsūce, mineraloģiskais sastāvs.

I. IEVADS

Pēdējos gadu desmitos, pieaugušas būvnieku prasības betona kvalitātei (mehāniskām un ķīmiskajām īpašībām), ir izveidots jauns betona paveids – augstas izturības betons un īpaši augstas izturības betons (High Performance Concrete – HPC; Ultra High Performance Concrete - UHPC). Tā spiedes stiprība ir lielāka par 120 - 150 MPa [1].

Augsta stiprība un elastīgums padara šo materiālu par atbilstošu tiltu, dambju, augstceltņu, kolonnu un citu konstrukciju projektēšanā. HPC un UHPC ir raksturīga arī augsta ķīmiskā izturība, izcila pretestība dažādiem korozijas veidiem, kas arī dod iespēju pielietot šo materiālu dažādās konstrukcijās [1].

HPC ir raksturīgs augsts cementa saturs, mikro- un nano izmēra pildvielas, kā arī ķīmiski aktīvās vielas, kas ļauj variēt ūdens cementa attiecību, paātrināt betona struktūras veidošanos un rezultātā paaugstināt betona ķīmiskās, mehāniskās, fizikālās īpašības [2]. Smalkām betona sastāvdaļām ir liela aktīvā virsma, ātri notiek betona cietēšana, tā rezultātā iegūst homogēnu, blīvu augstas stiprības materiālu [3,4].

Superplastifikators ir viena no betona ķīmiskajām piedevām. Pievienojot superplastifikatoru 1-3 % no cementa masas, var samazināt ūdens/cementa attiecību un rezultātā palielināt betona plūstamību un blīvumu, iegūstot augstas stiprības izstrādājumus.

Visi superplastifikatori satur lielmolekulārus, ūdenī šķīstošus polimērus, lielākā daļa no tiem ir sintētiskas vielas. [5-7].

Parasti superplastifikatorus iedala 4 grupās:

- 1) sulfonēti melamīna-formaldehīda kondensāti, plaši pazīstami kā melamīna superplastifikatori. Polimerizācijas skaitlis (n) parasti ir 50-60 vienību diapazonā, bet molekulmasa 1200 – 15000 g/mol.;
- 2) sulfonēti naftalīna-formaldehīda kondensāti, plaši pazīstami kā naftalīna superplastifikatori. Polimerizācijas

skaitlis parasti ir 5-10 vienības, molekulmasa ir 1000 – 2000 g/mol.;

3) lignosulfāti ar zemu saharozes daudzumu un zemu virsmas aktīvo vielu saturu, piemēram, nātrija lignosulfāts;

4) citi sintētiskie polimēri, tādi, kā, piemēram, sulfonizēts polistirēns, hidroksilētu polimēru un kopolimēru dispersijas, kuras ir lietojamas atsevišķi vai kombinējot maisījumos.

Pašlaik visplašāk izmantojamie superplastifikatori tiek bāzēti uz pirmajiem diviem veidiem, taču lielākā daļa patentētu produktu ir divu vai vairāku vielu maisījumi [8,9].

Dotajā pētījumā izmantots uz polikarboksilāta ētera bāzes izveidots superplastifikators “Semflow MC”.

Betonu ar superplastifikatora piedevu raksturo ļoti zema porainība. SP daļiņu diametrs ir mazāks par 0,5 mm, tās tiek adsorbētas uz cementa daļiņām vai kopā ar citiem smalki dispersiem materiāliem aizpilda tukšumus starp lielākām cementa daļiņām. Rezultātā betona blīvums un izturība palielinās. Izmantojot SP, nepieciešamā ūdens daudzums cietu daļiņu saistīšanai un sablīvēšanai var tikt samazināts līdz 20-30 % [10].

Tā kā HPC ir raksturīga blīva struktūra, ko nosaka zema ūdens/cementa attiecība un mikro-, nanopiedevu klātbūtne, tad perspektīva šāda betona pielietošana dažādās ķīmiski agresīvās vidēs.

Betona koroziju izraisa agresīvas vielas, kas migrācijas rezultātā nokļūst betona masā. Korozija ir sairšanas process, ko izsauc ķīmiskās reakcijas starp materiālu un apkārtējo vidi. Koroziju ievērojami paātrina pastāvīga agresīvo vielu filtrācija cauri betona plaisām un porām [11,12]. Atkarībā no kaitīgo faktoru rakstura koroziju iedala fizikālajā un ķīmiskajā korozijā [13], bet praksē šie korozijas veidi summējas.

Ķīmiskā korozija notiek mitruma klātbūtnē. Tās cēloņi ir dažāda veida agresīvas vides ķīmiskā iedarbība ar betona izstrādājumu sastāvdaļām. Tāpēc ir svarīgs betona blīvums un poru sadalījums, jo no tā ir atkarīga betona necaurlaidība un agresīvu vielu nokļūšana betonā.

Īpaši agresīva iedarbība uz betonu ir sulfāta jonu saturošiem šķīdumiem. Sulfāti ir plaši izplatīti dabā, kā arī ražošanas procesu blakus produkti. To šķīdumi ir spējīgi iesaistīties ķīmiskajās reakcijās ar savienojumiem, kas ir betona sastāvā, izraisot tilpuma izplešanos, sabrukšanu, atslāņošanu vai mīkstināšanos un sadalīšanos [13, 14].

Veiktā darba uzdevums bija pētīt superplastifikatora daudzuma ietekmi uz betonu ar zemu ū/c attiecību mineraloģisko sastāvu, mehāniskām un ķīmiskām īpašībām; noteikt mineraloģiskā sastāva, porainības, īpašību izmaiņas pēc eksponēšanas agresīvos sulfāta jonu saturošos šķīdumos.

II. METODOLOĢIJA

Betona īpašību izpētei tika sagatavoti trīs grupu betona maisījuma paraugi ar dažādu superplastifikatora daudzumu (skat. 1. tabulu).

Lai sasniegtu labākas materiāla īpašības un lielāku homogenitāti, izejvielu maisījums tika sagatavots, ņemot vērā izejvielu izmēru sadalījumu, t.i., klasifikācijas līknes. Sausas komponentes nosvēra un samaisīja vienas minūtes laikā. Nākamās minūtes laikā pievienoja 70% no masas pagatavošanai paredzētā ūdens daudzuma. Samaisīšanas procesā kā pēdējo komponenti pievienoja superplastifikatoru. Sagatavotos maisījumus ielēja tērauda formās 40x40x160 mm un sablīvēja uz vibrogalda. Pēc divām dienām paraugus izņēma no formas un pārvietoja ūdenī gatavināšanas boksā, kurā izturēja 28 diennaktis +20°C temperatūrā. Lai varētu veikt tālāko izpēti, paraugus pēc 28 diennaktīm gatavināja 2 mēnešus gaisā (T~+20°C).

Rentgenfāžu analīzi veica ar Rigaku X-Ray Ultima+ rentgendifraktometrijas iekārtas palīdzību, izmantojot filtrētu vara katoda starojumu K_{α} . Pētāmās vielas identificēšanai un kvalitātei analīzei izmantoja elektroniskās ICDD datu bāzes (PDF-4+ 2008, PDF-4/Organics 2008).

Paraugu spiedes stiprības testi tika veikti saskaņā ar standarta LVS EN 12390-3:2002 prasībām, izmantojot „Controls presi”. Paraugus vienmērīgi noslogoja, uzturot noteiktu slodzes ātrumu diapazonā no 0,2 līdz 1,0 MPa/s.

Betona paraugu porainību un poru sadalījumu noteica ar dzīvsudraba porozimetru QUANTACHROME POREMASTER, diapazonā no 0,01 μm līdz 1000 μm .

III. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA UN DISKUSIJA

A. Betona paraugu ķīmiskais sastāvs, īpašības

Izgatavoto betona paraugu ar dažādu superplastifikatora daudzumu sastāvs dots 1. tabulā. Paraugu apzīmējumi atkarībā no pieliktā SP daudzuma – HPC 1.0, HPC 1.5 un HPC 2.5. Darbā tika izvērtēts, kā superplastifikatora daudzuma maiņa ietekmē betona īpašības.

1. TABULA
PARAUGU RECEPTS

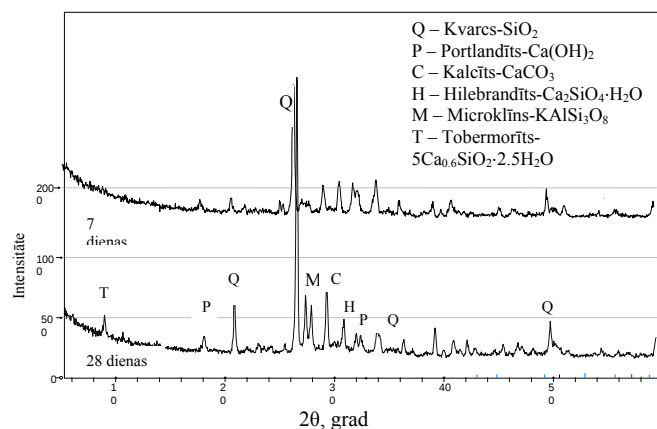
Materiāls Pauga apzīmējumi	Daudzums, mas.%			Blīv., g/cm ³	Daļiņu diametrs
	HPC 1.0	HPC 1.5	HPC 2.5		
Cements “Aalborg White CEM I 52.5N”	26,43			3,15	<0,25 mm
Granīts “Nybrogrus AB”	41,52			2,10	0-8 mm
Smiltis, SIA “SaulkalneS”	21,88			2,64	0-2 mm
MSP, “Elkem-mikrosilica – 920 D”	4,07			2,40	0,1-1,0 μm
Ūdens	5,84	5,74	5,44	-	-
Superplastifikators, “Semflow MC”	0,26	0,36	0,66	-	0,1-1,0 μm

Ūdens/cementa attiecība - 0,21... 0,22.

Rentgenfāžu analīze betona paraugiem

Rentgenfāžu analīze ar superplastifikatora daudzumu 1,0; 1,5; 2,0 % parādīja, ka superplastifikatora daudzums maz ietekmē betona mineraloģisko sastāvu. Galvenās kristāliskās

fāzes visos gadījumos ir: kvarcs, tobermorīts, kalcīts, mikrokļins. Tādēļ betona gatavināšanas jeb hidratācijas process pētīts tikai HPC 1.5 paraugiem. Rtg fāžu analīze veikta pēc gatavināšanas 7. un 28. diennakts, 1. attēls.



1.att. Betona paraugu mineraloģiskais sastāvs atkarībā no cietēšanas ilguma.

HPC 1.5 betona paraugiem rentgenfāžu analīzē pēc 7 diennakts hidratācijas identificēts kvarcs, mikrokļins un cementa hidratācijas un karbonizācijas produkti: portlandīts un kalcīts. Pēc 28 diennaktīm samazinās portlandīta daudzums un konstatējām kalcija hidrosilikātu veidošanos: tobermorītu un hilebrandītu.

Analizējot Rtg fāžu datus par betona hidratācijas jeb gatavināšanas procesu, konstatēta likumsakarība: palielinoties hidratācijas laikam, portlandīta daudzums samazinās, veidojas kalcija hidrosilikāti (tobermorīts, hilebrandīts).

Betona paraugu spiedes stiprība un blīvums

Spiedes stiprības un blīvuma mērījumu rezultāti betona paraugiem, atkarībā no pieliktā superplastifikatora daudzuma, parādīti 2. tabulā.

2.TABULA

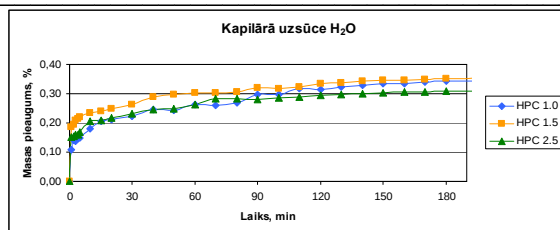
HPC PARAUGU SPIEDES STIPRĪBA UN BLĪVUMS

Betona tips	Blīvums, kg/m ³	Spiedes stiprība, MPa
HPC 1.0	2332,11	112,73
HPC 1.5	2386,95	129,25
HPC 2.5	2399,51	154,04

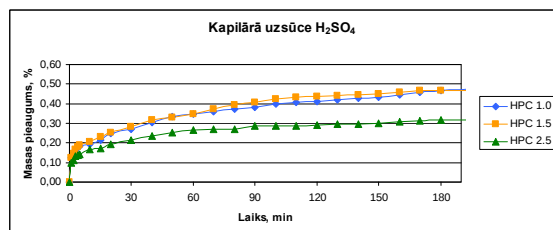
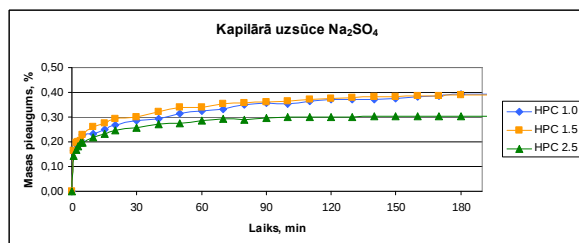
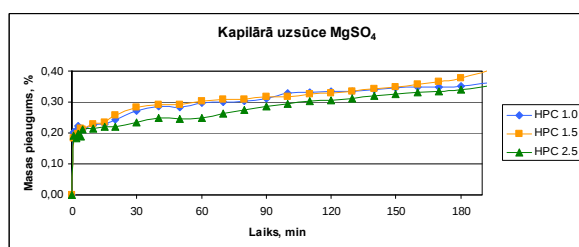
Izvērtējot spiedes stiprības rezultātus, redzam kopīgu likumsakarību – paaugstinot superplastifikatora daudzumu, materiāls kļūst homogēnāks un blīvāks, paaugstinās blīvums un atbilstoši spiedes stiprības rādītāji. Jāuzsver arī tas, ka 1. grupas paraugi (HPC 1.0) neatbilst HPC definīcijai [1].

Betona paraugu šķīdumu uzsūce

Betona paraugu kapilārās H₂O un sulfāta jonu saturošo šķīdumu (0,25M H₂SO₄, 0,25M Na₂SO₄ un 0,25M MgSO₄) uzsūce veikta saskaņā ar augstāk norādīto metodiku. Šķīdumu uzsūce tika izvērtēta atkarībā no pieliktā superplastifikatora daudzuma un sulfātu šķīduma veida. Visos gadījumos maksimālais šķīduma uzsūces laiks 120-130 minūtes, turpmāk līknēm <masas pieaugums - laiks> praktiski ir horizontāls raksturs, 2.-5. attēls.



2.att. Paraugu kapilārā uzsūce ūdenī.

3.att. Paraugu kapilārā uzsūce 0.25 M H₂SO₄ šķīdumā.4.att. Paraugu kapilārā uzsūce 0.25M Na₂SO₄ šķīdumā.5. att. Paraugu kapilārā uzsūce 0.25M MgSO₄ šķīdumā.

Kā redzams no attēliem, līkņu raksturs nav atkarīgs no šķīduma veida, bet ir funkcija no eksponēšanas laika. Pievienotā superplastifikatora daudzums nedaudz ietekmē uzsūktā šķīduma daudzumu, mazāko masas pieaugumu konstatēja paraugiem HPC 2.5.

Pēc kapilārās uzsūces pārbaudes sulfātu sāļu šķīdumos uz paraugu virsmas tika novērota sāļu efflorescence, kas parāda šķīdumu kapilārās uzsūces ceļu 6. attēls.

6.att. Na₂SO₄ šķīduma kapilārās uzsūces līmenis.

B. Betona paraugu mineraloģiskais sastāvs, īpašības pēc eksponēšanas sulfāta jonu saturošos šķīdumos

Betona korozijas procesa izpēti un superplastifikatora ietekme uz betona ķīmiskās izturības paaugstināšanu tika pētīta, izturot paraugus H₂O un sulfāta jonu saturošos šķīdumos (0,25M H₂SO₄, 0,25M Na₂SO₄ un 0,25M MgSO₄). Betona paraugu eksponēšanas laiks visos šķīdumos - 12 mēneši, pēc 30 diennaktīm regulāri tika veikta paraugu vizuāla novērtēšana.

Pēc 12 mēnešu eksponēšanas 0.25 M Na₂SO₄, MgSO₄ šķīdumos ar pH = 6 uz betona virsmas netika konstatētas korozijas pazīmes (7. attēls), paraugiem pēc eksponēšanas MgSO₄ šķīdumā novērojām tikai efflorescenci, t.i., izsāļošanu. Rentģenfāžu analīzē uz virsmas konstatēja kristālo MgSO₄ - epsomītu.



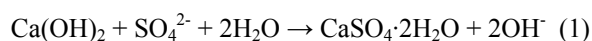
a)



b)

7.att. Betona paraugi pēc eksponēšanas MgSO₄ (a), Na₂SO₄ (b) šķīdumos.

Atšķirīgi rezultāti iegūti paraugiem pēc eksponēšanas sērskābes šķīdumā. Tika konstatēta korozijas radīta heterogēna virsma ar baltu kristālo nogulšņu plēvīti uz paraugu virsmas (8.attēls). Rtg fāžu analīzē konstatēts kristālais savienojums – ģipsis, kas veidojies atbilstoši vienādojumam:



8.att. Betona paraugu korozija pēc eksponēšanas 0.25M sērskābē.

Šķīdumu pH maiņa un betona paraugu masas izmaiņas dinamika ir redzama 3. tabulā, 9. attēlā. Rezultāti attēloti HPC 1.5 grupas paraugiem, jo tie pēc ū/c attiecības, spiedes stiprības un blīvuma atbilst HPC definīcijai.

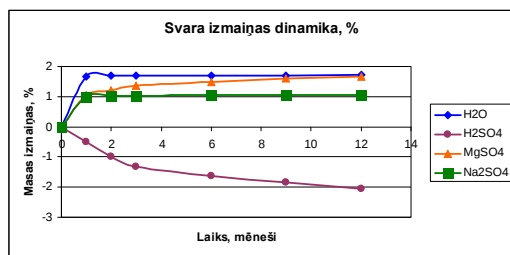
3. TABULA

ŠĶĪDUMU PH UN PARAUGU MASAS IZMAIŅAS DINAMIKA
(EKSPONĒŠANA 12 MĒNEŠI)

Laiks, mēneši	H ₂ O (pH = 6,0)		H ₂ SO ₄ (pH = 0,5)		Na ₂ SO ₄ (pH = 6,0)		MgSO ₄ (pH = 6,0)	
	Masas izmaiņas, %	pH	Masas izmaiņas, %	pH	Masas izmaiņas, %	pH	Masas izmaiņa s, %	pH
1	+1,66	9,0	-0,51	3	+0,99	8,5	+1,05	9,0
2	+1,68	10	-0,99	3	+1,01	10	+1,22	10
3	+1,69	11	-1,32	4	+1,03	11	+1,36	10,5
6	+1,70	11	-1,62	5,5	+1,04	11	+1,48	11
9	+1,71	11	-1,87	6	+1,05	11,5	+1,59	11
12	+1,72	12	-2,04	6	+1,06	12	+1,66	12

No iegūtajiem rezultātiem varēja secināt, ka:

- eksponējot betona paraugus neitrālos šķīdumos pH = 6.0 (H₂O, 0.25 M Na₂SO₄, 0.25 M MgSO₄), galvenokārt norisinās karbonizācijas un hidratācijas procesi, kas rezultējas kā paraugu masas pieaugums. Pēc izturēšanas ūdenī hidratācijas rezultātā masas pieaugums līdz 1,72 %, bet pēc izturēšanas sāļu šķīdumos masas pieaugumu galvenokārt nosaka šķīduma sāļu kristalizācija uz virsmas un virsmas porās, piemēram, MgSO₄ sāļu šķīdumā paraugu masas pieaugums – 1,66 % (efflorescence norāda uz sāļu difūziju virsmas porās);
- pēc eksponēšanas skābā sulfāta jonus saturošā šķīdumā notiek mijiedarbība atbilstoši reakcijai (1); sērskābes agresīvās iedarbības rezultātā pieaug Ca(OH)₂ skalošanās no betona paraugiem, kas rezultējas kā masas zudumi – 2,04%. Pēc 12 mēnešu eksponēšanas iegūstam neitrālu sulfāta jonu saturošu šķīdumu, 3.tabula.

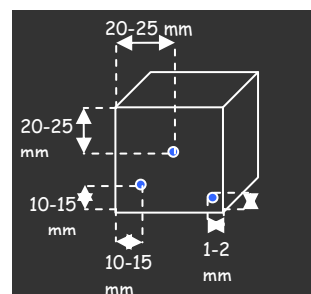


9. att. Betona paraugu masas izmaiņas dinamika pēc eksponēšanas.

HPC betona paraugu rentģenfāžu analīze

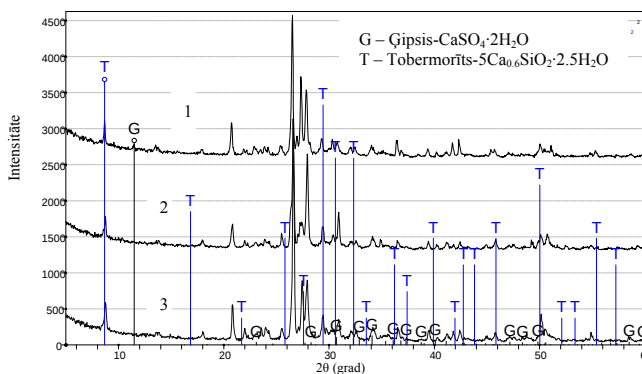
Lai noteiktu sulfāta sāļu šķīdumu difūzijas dziļumu pēc 12 mēnešu izturēšanas sulfāta jonus saturošos šķīdumos, HPC 1.5 betona paraugiem tika veikta rentģenfāžu analīze. 10. attēlā parādītas izpētes vietas, t.i.:

- dziļums 1-2 mm,
- dziļums 10-15 mm,
- dziļums 20-25 mm.



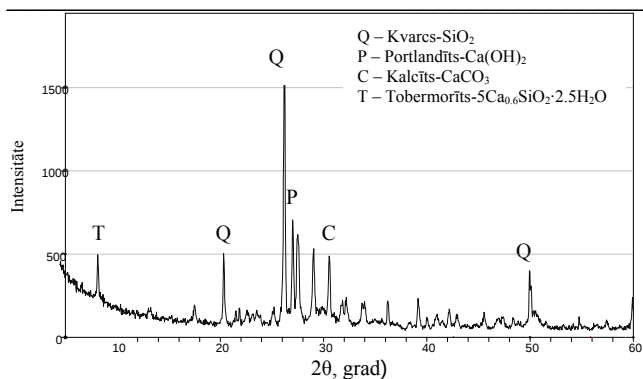
10. att. Betona parauga izpētes vietu shēma.

Betona paraugu difraktogramma pēc eksponēšanas 0,25M H₂SO₄ šķīdumā ir redzama 11. att..

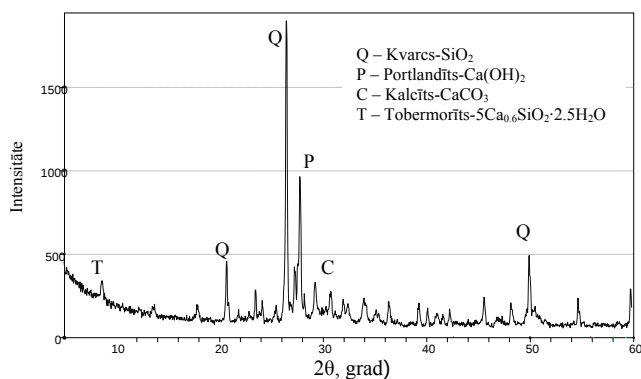


11.att. Parauga HPC 1.5 difraktogrammas pēc 12 mēnešu eksponēšanas sērskābes šķīdumā. Izpētes dziļums: 1 – 1..2 mm; 2 – 10...15 mm; 3 – 25 mm.

Betona paraugu difraktogrammas pēc eksponēšanas 0,25M Na₂SO₄ un MgSO₄ šķīdumos ir redzamas 12. un 13. att..



12.att. Parauga HPC 1.5 difraktogramma pēc 12 mēnešu eksponēšanas nātrija sulfāta šķīdumā. Izpētes dziļums: 1 – 1...2 mm



13.att. Parauga HPC 1.5 difraktogramma pēc 12 mēnešu eksponēšanas magnija sulfāta šķīdumā. Izpētes dziļums: 1 – 1...2 mm.

Visos gadījumos veidojas sekojoši kristāliskie savienojumi: kvarcs, portlandīts, kalcīts un kalcija hidrosilikāts – tobermorīts. Pēc 12 mēnešu eksponēšanas sulfāta jonu saturošos šķīdumos saglabājas betona minerāls tobermorīts, bet šķīdumu iedarbības rezultātā, pēc eksponēšanas vēl konstatēts portlandīts. Iegūtie rentgenfāžu analīzes rezultāti parādīja, ka sulfātu šķīdumi kavē betona minerālu veidošanos, jo pēc 12 mēnešiem vienlaicīgi ar kalcija hidrosilikātu tika konstatēts portlandīts.

Pēc eksponēšanas Na_2SO_4 un MgSO_4 sāļu šķīdumos betonā atbilstošo sāļu tenardīta vai epsomīta kristalizēšanās nebija konstatēta. Pēc eksponēšanas sērskābes šķīdumā ģipsis konstatēts tikai 1-2 mm dziļumā. Tas nozīmē, ka iegūtajiem paraugiem ir paaugstināta ķīmiskā izturība pret sulfātu jonu saturošiem šķīdumiem.

HPC betona paraugu spiedes stiprība

Spiedes stiprība betona paraugiem tika mērīta pēc 12 mēnešu eksponēšanas ūdenī un 0,25 H_2SO_4 šķīdumā, 4. tabula.

4.TABULA

SPIEDES STIPRĪBAS DATI PIRMS UN PĒC 12 MĒNEŠU EKSPONĒŠANAS

Spiedes stiprība, MPa		
Pirms eksponēšanas	Pēc 12 mēnešu eksponēšanas	
	H_2O	H_2SO_4
129,25	145,26	112,70

No 4. tabulas datiem redzams, ka pēc 12 mēnešu eksponēšanas ūdenī parauga spiedes stiprība palielinājās no

129,25 MPa līdz 145,26 MPa. Masas pieaugumu nosaka hidratācijas process, kas turpinās pēc 28 diennakšu gatavināšanas un kura rezultātā veidojas kalcija hidrosilikāti.

Pēc 12 mēnešu betona paraugu eksponēšanas sērskābes šķīdumā paraugu spiedes stiprība samazinās par 12,8 % no 129,25 MPa līdz 112,70 MPa. Tas ir saistīts ar sērskābes šķīduma agresīvo, korodējošo iedarbību. Korozijas procesa rezultātā paraugs kļūst poraināks un spiedes stiprība samazinās.

HPC betona paraugu porainība

Betona paraugu korozijas izturības izvērtēšanai svarīgi ir analizēt poru sadalījumu pirms un pēc eksponēšanas sulfātu jonu saturošos šķīdumos.

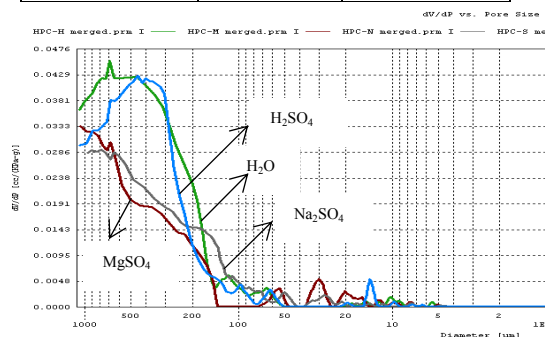
Pēc betona paraugu eksponēšanas sulfātu šķīdumos poru lielums un sadalījums mainās plašā diapazonā. Konstatētas, ka paraugos galvenokārt ir sekojoša diametra poras: $6 \cdot 10^{-3}$ - $2 \cdot 10^{-2}$ μm , 5-20 μm un no 50-1000 μm . Vislielāko tilpumu ieņem poras, kuru diametrs atrodas diapazonā $6 \cdot 10^{-3}$ un $2 \cdot 10^{-2}$ μm (sasniedz $1,75 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{g}$), 14. attēls.

Porainības rezultāti pēc eksponēšanas sulfātu jonu saturošos šķīdumos ir doti 5. tabulā. Kopējā porainība visiem SP saturošiem paraugiem, neskatoties uz šķīdumu korozīvo iedarbību, visos gadījumos samazinās, tas ir saistīts gan ar noritošiem hidratācijas procesiem, gan sāļu kristalizāciju porās. No tā var spriest, ka betona gatavināšanas process turpinās - tā ir aktīva sistēma. Iegūtie rezultāti parādīja, ka, pievienojot SP līdz 2,5 %, iegūts augstas izturības betons (HPC) - materiāls ar augstu ķīmisko izturību - un to var rekomendēt pielietot konstrukcijās, kur nepieciešama augsta ķīmiskā izturība.

5.TABULA

HPC 1.5 PARAUGU KOPĒJĀ VAĻĒJĀ PORAINĪBA PIRMS UN PĒC 12 MĒNEŠU EKSPONĒŠANAS

	Vide	Kopējā vaļējā porainība, %
Pirms eksponēšanas	-	1,47
Pēc 12 mēnešu eksponēšanas	H_2O	1,46
	0,25 H_2SO_4	1,35
	0,25 Na_2SO_4	0,92
	0,25 MgSO_4	0,89



14.att. Poru lielums un sadalījums betona paraugiem pēc eksponēšanas ūdenī un sulfātu šķīdumos.

IV. SECINĀJUMI

1. Pētīts betona mineraloģiskais sastāvs, mehāniskās un ķīmiskās īpašības atkarībā no pievienotā superplastifikatora "Semflow MC" daudzuma. Palielinoties SP daudzumam no 1.0 līdz 2.5 %, betona blīvums un spiedes stiprība palielinās un sasniedz 154.04 MPa, kas atbilst HPC. HPC betona paraugu ūdens un sulfātu saturošos šķīdumos kapilārā uzsūce ir atkarīga no SP daudzuma. Kapilārā uzsūce ar SP 2.5 % nepārsniedz 0.34%. Analizējot betona hidratācijas procesu, rentgenfāzu analizē 7 un 28 diennaktis veciem paraugiem konstatēta likumsakarība: palielinoties gatavināšanas laikam, portlandīta daudzums samazinās, veidojas kalcija hidrosilikāti.
2. Pēc HPC betona paraugu 12 mēnešu eksponēšanas sulfātu saturošos šķīdumos (0.25 M H₂SO₄, Na₂SO₄, MgSO₄):
 - tika konstatēts betona minerāls tobermorīts kā arī portlandīts, kas norāda, ka sulfātu šķīdumi kavē betona minerālu veidošanos; eksponēšanas šķīdumu sulfātu sāļu kristāliskie savienojumi betona paraugos netika konstatēti;
 - spiedes stiprība pēc eksponēšanas sērskābes šķīdumā samazinājās līdz 112.70 MPa; ūdenī turpinās hidratācijas process un spiedes stiprība pieaug līdz 145.26 MPa;
 - poru diametrs pēc eksponēšanas pieauga; poru daudzums mainās 0.09 – 0.1 μm diapazonā, bet paliek konstants 0.09 – 0.1 μm diapazonā; pēc eksponēšanas veidojas vairāk mikroporu (6·10⁻³-1·10⁻² μm).
3. Veiktie pētījumi parādīja, ka betona paraugi ar zemu ūc attiecību un SP saturu līdz 2.5 % pēc mehāniskām un ķīmiskām īpašībām atbilst HPC raksturlielumiem un uzrāda augstu ķīmisko izturību sulfātu jonu saturošos šķīdumos.

LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] J.Terzijski, L.Odstricilik. Development and properties of ultra high performance concrete (UHPC). *Appl. Adv. Mater.*, 2008, pp.63-64.
- [2] B.Graillbeal, J.Tanessy. Durability of an ultra high-performance concrete. *J. Mater. Civ. Eng.*, 2007, 19(10), pp.848-854. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2007\)19:10\(848\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:10(848))
- [3] S.J.Barnett, J.F.Latase, T.Parry, S.G.Millard, M.N.Soutsos. Assessment of fibre orientation in ultra high performance fibre reinforced concrete and its effect of flexural strenght. *Mater. Struct.*, 2009, 42(8), pp. 1128-1135.
- [4] O.Mazanec, D.Lowke, P.Schiebl. Mixing of high performance concrete: effect of concrete composition and mixing intensity on mixing time. *Mater. Struct.*, 2009, 17(5), pp. 398-400.
- [5] R.Švinka, V.Švinka. *Silikātu materiālu ķīmija un tehnoloģija*; Saknes: Rīga, 1997, 187. lpp.
- [6] D.P.Bentz, P.-C.Aitcin. The hidden meaning of water-cement ratio. *Cement International*, 2008, 30(5), 51-54.

- [7] M.Schmidt, E.Fehling, C.Geisenhaunsluke. Ultra high performance concrete. In *International symposium on ultra high performance concrete*; Kassel, Germany, 2004, p.868.
- [8] P.-C.Aitcin. *High Performance concrete*; E & F.N. Spon, Ed.; Plenum: London and New York, 1998, 569.
- [9] R.M.Edmeades, P.C.Hewlett. Cement admixtures. *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*. 4th ed.; Elsevier Science & Tehnology Books, Ed.; London, 2006, 843-863.
- [10] V.Morin, F.C.Tenoudji, A.Feylessoufi, P.Richard. Superplasticizer effects on setting and structuration mechanisms of ultrahigh-performance concrete. *Cem. Concr. Res.*, 2001, 31(1), 63-71. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00428-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00428-2)
- [11] J.Freibergs. *Būvmateriāli un būvzstrādājumi*; Zvaigzne: Rīga, 1985, 43-126.lpp.
- [12] B.A.Graybeal. Material Property Characterization of Ultra-High Performance Concrete, Report No. FHWA-HRT-06-103, Federal Highway Administration, Washington, D.C., August 2006.
- [13] P.Soo, L.M.Milian. The effect of gamma radiation on the strength of Portland cement mortars. *J. Mater. Sci. Lett.*, 2001, 20(14), pp.1345-1348. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1010971122496>
- [14] P.J.Tikalsky, D.Roy, B.Scheetz, T.Krize. Redefining cement characteristics for sulfate-resistant Portland cement. *Cem. Concr. Res.*, 2002, 32(8), pp.1239-1246. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00767-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00767-6)

Janina Setina, Dr.sc.ing. (1977), Riga Politechnic Institute (since 1992 Riga Technical University).

Since 1972 she has worked as a Senior Research Scientist, Assistant Professor at the Institute of Silicate Materials of Riga Technical University. Since 1999 she is a Head of the Testing Laboratory of Silicate Materials. She is the author of 126 scientific publications; supervisor of bachelor, master, doctoral theses

E-mail: janina@ktf.rtu.lv

Julija Petrova, BSc in Chemical Technology (2012), Institute of Silicate Materials, Riga Technical University.

Currently she is undertaking Master's level studies at the Faculty of Materials Science and Applied Chemistry, Riga Technical University.

Research interests involve chemistry and technology of silicate materials.

Alona Gabrene, Mg.sc.ing. (2012), Riga Technical University.

Since 2007 she has been working as an Assistant at the Institute of Silicate Materials, Riga Technical University.

E-mail: alona.sardiko@rtu.lv

Janis Baronins, BSc. in Chemical Technology (2012), Institute of Silicate Materials, Riga Technical University.

Currently he is undertaking Master's level studies at the Faculty of Materials Science and Applied Chemistry, Riga Technical University.

Research interests involve chemistry and technology of silicate materials.

E-mail: jbaronins@gmail.com

Darbs izstrādāts projekta

Nr.2010/0286/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/033 „Augstas efektivitātes nanobetonu” ietvaros

Janina Setina, Julija Petrova, Alona Gabrene, Janis Baronins. Investigation of Relationships: Microstructure, Mechanical Properties and Chemical Resistance of HPC

In this study, the influence of the polycarboxylates based on superplasticizer (SP) "Semflow MC" at dosages 1.0%, 1.5%, 2.5% by weight of cement on microstructure and properties of concrete was investigated.

After 12 months of exposure to water, the compressive strength of concrete increased to 154.04 MPa, corresponding to the HPC. The capillary absorption of water and sulphate containing solutions of HPC depends on amount of SP; absorption of HPC 2.5 does not exceed 0.34%. The depth of penetration of solution in the samples decreases consistently by increasing amount of SP. Analysing the formation of crystalline phase during maturation, the following relationship was found: by increasing testing time from 7 to 28 days the amount of portlandite decreased and calcium hydrosilicate formed.

After 12 months of exposure of HPC to sulphate containing solutions (H₂SO₄, Na₂SO₄, MgSO₄), the following crystalline phases were detected: quartz, plagioclase, calcium silicates (hartruite and tobermorite), small amount of portlandite and carbonate. The corresponding salt

(from solution) compounds were not identified in the samples of concrete. It can be considered that the investigated concrete has high chemical resistance to solutions containing sulphate ions.

The porosity of HPC samples varies linearly depending on the added amount of SP. After exposure to the solutions, the amount of micropore ($6 \cdot 10^{-3} \dots 10^{-2} \mu\text{m}$) increased for all concrete samples, but the pore distribution in a range of 500 to 1000 μm did not change.

The obtained results have indicated that workability of HPC increases significantly with the addition of SP. The concrete samples with low W/C ratio and SP content up to 2.5 % are characterized by high chemical resistance in sulphate containing solutions.

Янина Сетиня, Юлия Петрова, Алена Габрене, Янис Барониньш. Исследование зависимости – микроструктура, механические свойства и химическая устойчивость НРС

В работе исследовано влияние суперпластификатора (SP) на основе поликарбоксилата “Semflow MC” в количестве 1.0%, 1.5%, 2.5% от массы цемента на микроструктуру и свойства бетона.

После выдержки образцов в течение 12 месяцев в воде механическая прочность увеличилась до 154.04 МПа, что соответствует значениям НРС. Капиллярная абсорбция воды и растворов, содержащих сульфат ионы, зависит от количества SP и не превышает 0.34%. Глубина проникновения раствора понижается с повышением содержания SP. После выдержки образцов бетона обнаружена общая закономерность - повышая время выдержки от 7 до 28 дней, уменьшается количество портландита, образуются гидросиликаты кальция.

После выдержки НРС в течение 12 месяцев в растворах, содержащих сульфат ионы (H_2SO_4 , Na_2SO_4 , MgSO_4), установлены следующие кристаллические фазы: кварц, плагиоклаз, силикаты кальция (хартрурит и тобермарит), небольшое количество портландита и карбоната кальция. Соответствующие соли из растворов в образцах не обнаружены.

Пористость исследованных образцов находится в линейной зависимости от количества SP. После выдержки в сульфат ион-содержащих растворах количество микропор ($6 \cdot 10^{-3} \dots 10^{-2} \mu\text{m}$) увеличивается во всех образцах, но количество пор в диапазоне 500 1000 μm не меняется.

Полученные результаты показали, что работоспособность НРС повышается с повышением количества SP. Образцы бетона с низким соотношением вода/цемент и SP до 2.5 % характеризует высокая химическая устойчивость в сульфат ион содержащих растворах.