



Rīgas Tehniskās universitātes 57. starptautiskā zinātniskā konference
Valsts pētījumu programma «Inovatīvi materiāli un viedās tehnoloģijas vides drošumam»
17.10.2016.

Augstas veiktspējas īpašību cementa kompozītmateriāli ar mikropildvielām: leguves metodes, stiprības un ilgmūžības rādītāji

Ģirts Būmanis, Diāna Bajāre, Genādijs Šahmenko,
Laura Dembovska, Laura Vītola, Aleksandrs Korjajins

Pētniecības mērķis

Veikt pētījumus par augstas veiktspējas cementa kompozītmateriāliem infrastruktūras un sabiedriskām būvēm, liekot uzsvaru uz to ilgmūžību Latvijas klimatiskajos apstākļos.

Uzdevums 2016.gadam:

Izstrādāt metodes no Latvijas cementa ražotā betona korozijas un salturības paaugstināšanai



Uz cementa bāzes veidoti materiāli

Tradicionālais betons un javas **SCC; FRC**

Ū/C > 0.45
Stiprība līdz 50MPa
Tradicionālās iestrādes metodes
(vibrēšana)
Tradicionālā stiegrošana
Cements < 550kg/m³
Pildvielas < 20-50mm

Augstu īpašību betons (HPC)

Ū/C 0.25-0.45
Spiedes stiprība 50-120MPa
Pašblīvējošs
Cements > 450kg/m³
Pildvielas < 20mm
Plastifikatori;
Mikropiedevas

SCC; HPC; HSC; HPFRC; HSFRC

Sevišķi augstu īpašību pulverbetons (UHPPC)

Ū/C < 0.20
Spiedes stiprība 30-250MPa
Pašblīvējošs
Cements > 800kg/m³
Mikro/nanopiedevas
Superplastifikatori
Pildvielas < 1mm

Sevišķi augstu īpašību betons (UHPC)

Ū/C < 0.25
Spiedes stiprība > 120MPa
Pašblīvējošs
Cements > 550kg/m³
Mikropiedevas/nanopiedevas
Superplastifikatori
Pildvielas < 5mm

PC, RPC, UHPPC, UHPFRPC, ECC

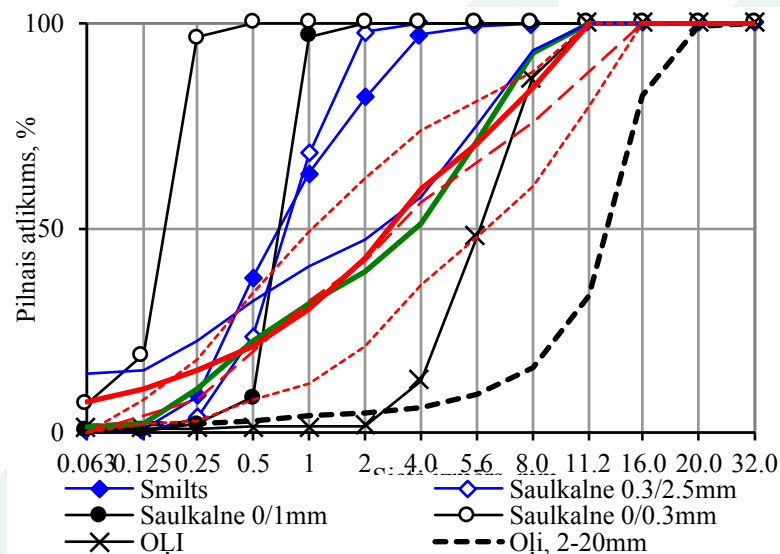
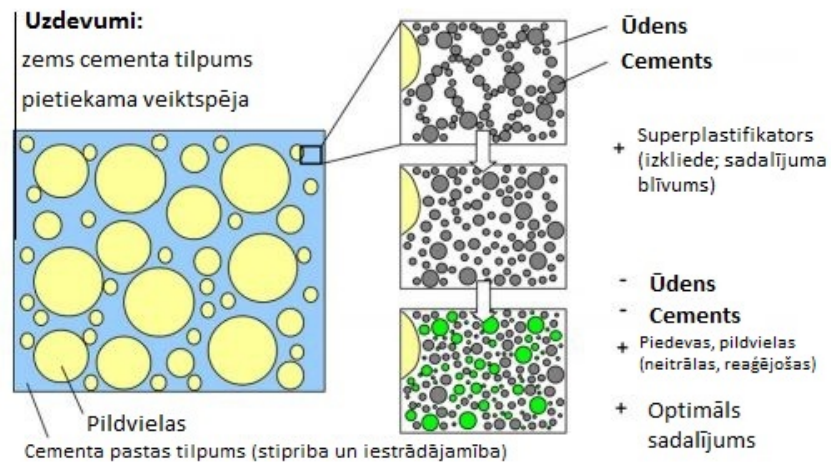
UHPC, UHPFRC

Augstas veiktspējas cementa kompozītmateriālu ar mikropildvielām ieguves metodes

Kā palielināt betona stiprību?

- Palielināt cementa daudzumu;
- Izmantot zemu Ū/C (plastifikatori);
- Iestrādes uzlabošana;
- Betona daļiņu sadalījuma uzlabošana tilpumā:
 - Blīvs pakojums – augstāka stiprība (mikro, nano līmenis)
- Izmantot aktīvas daļiņas betonā:
 - Pilda aizpildošo funkciju;
 - Veicina ķīmiskas reakcijas, kas stiprina HCP struktūru.

Sastāvu aplēse



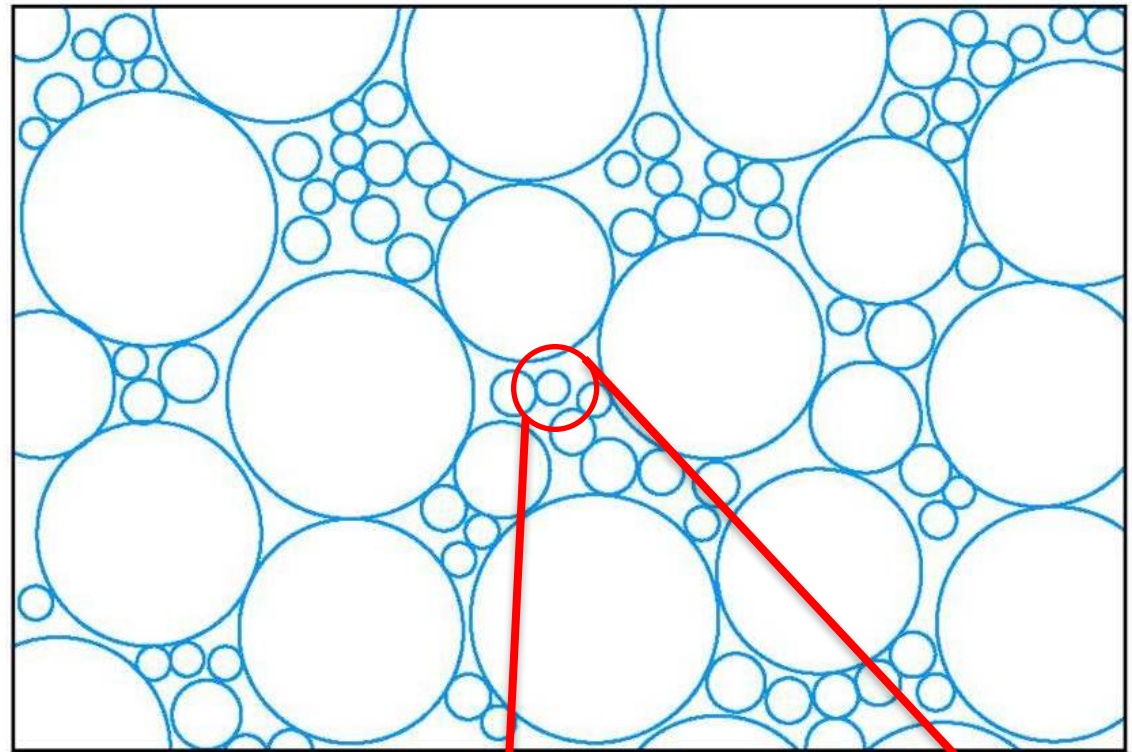
DAĻIŅU SADALĪJUMS - PAKOJUMS

Tradicionālajam betonam – Līdz
mikrolīmenim

HPC-UHPC – mikrolīmenis un
Nanolīmenis

Superplastificējošas piedevas –
Virsmaktīvas vielas

Porainība

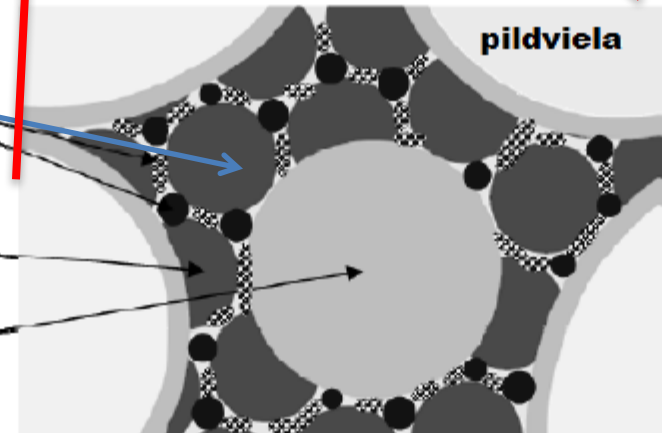


Pildvielu izmērs

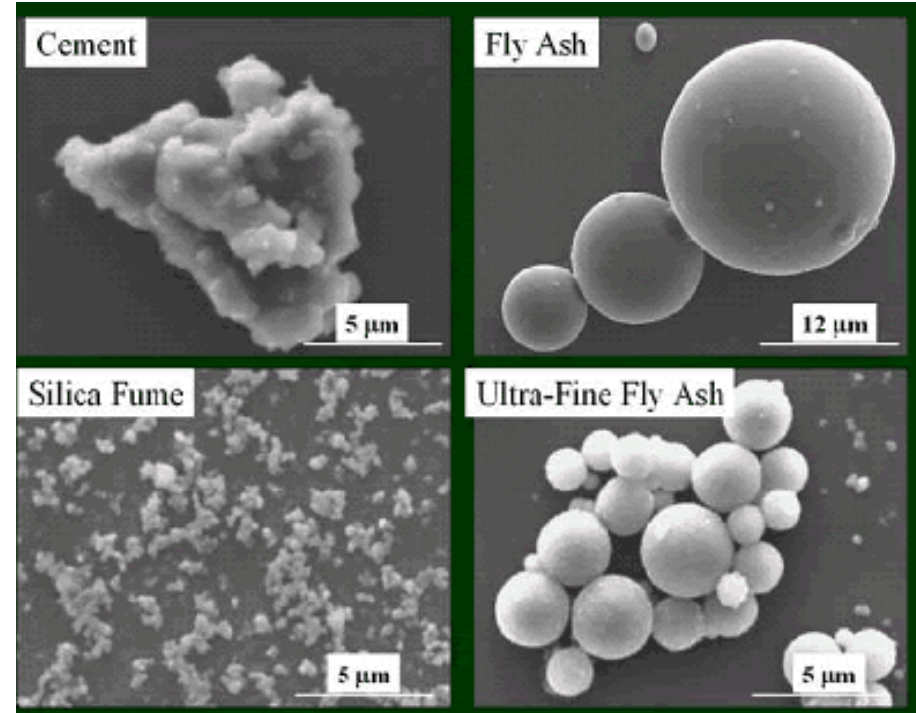
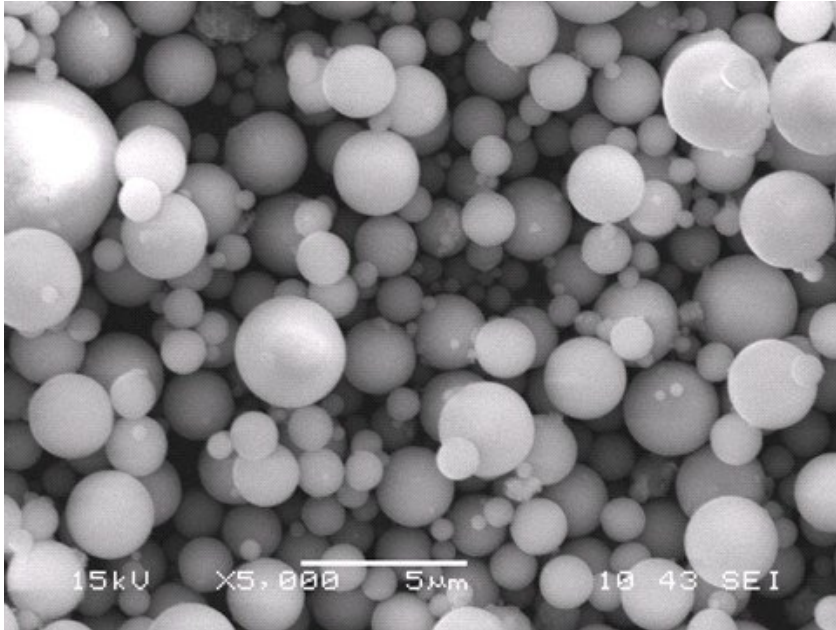
Mikrosilika (0.2 - 12 μm)
Nanolīmenis

Mikrocements (6 - 20 μm)

CEM I 52.5 R (30 - 35 μm)



Efektīvas mikropiedevas



Pucolānu reakcija:

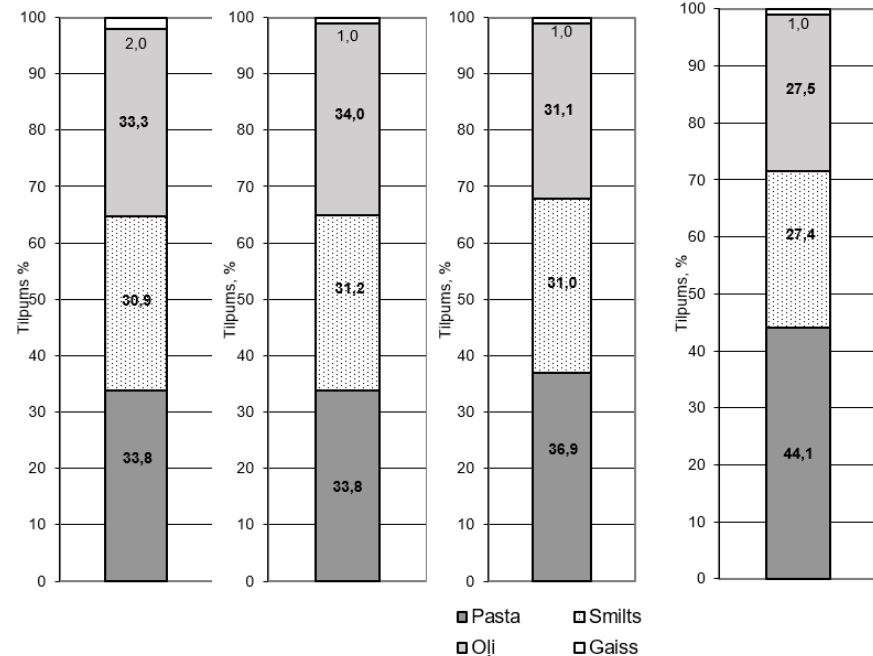
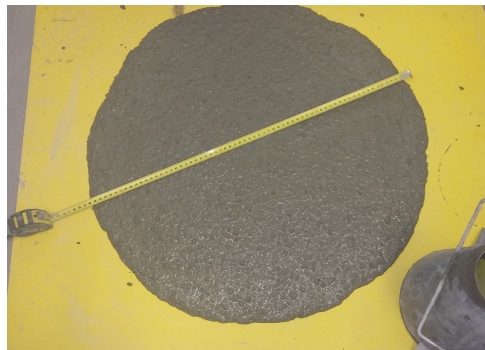


Reaģē ar kalcija hidroksīdu (Portlandītu) un veido HCP.

Samazina porainību ar HCP produktiem, pieaug stiprība

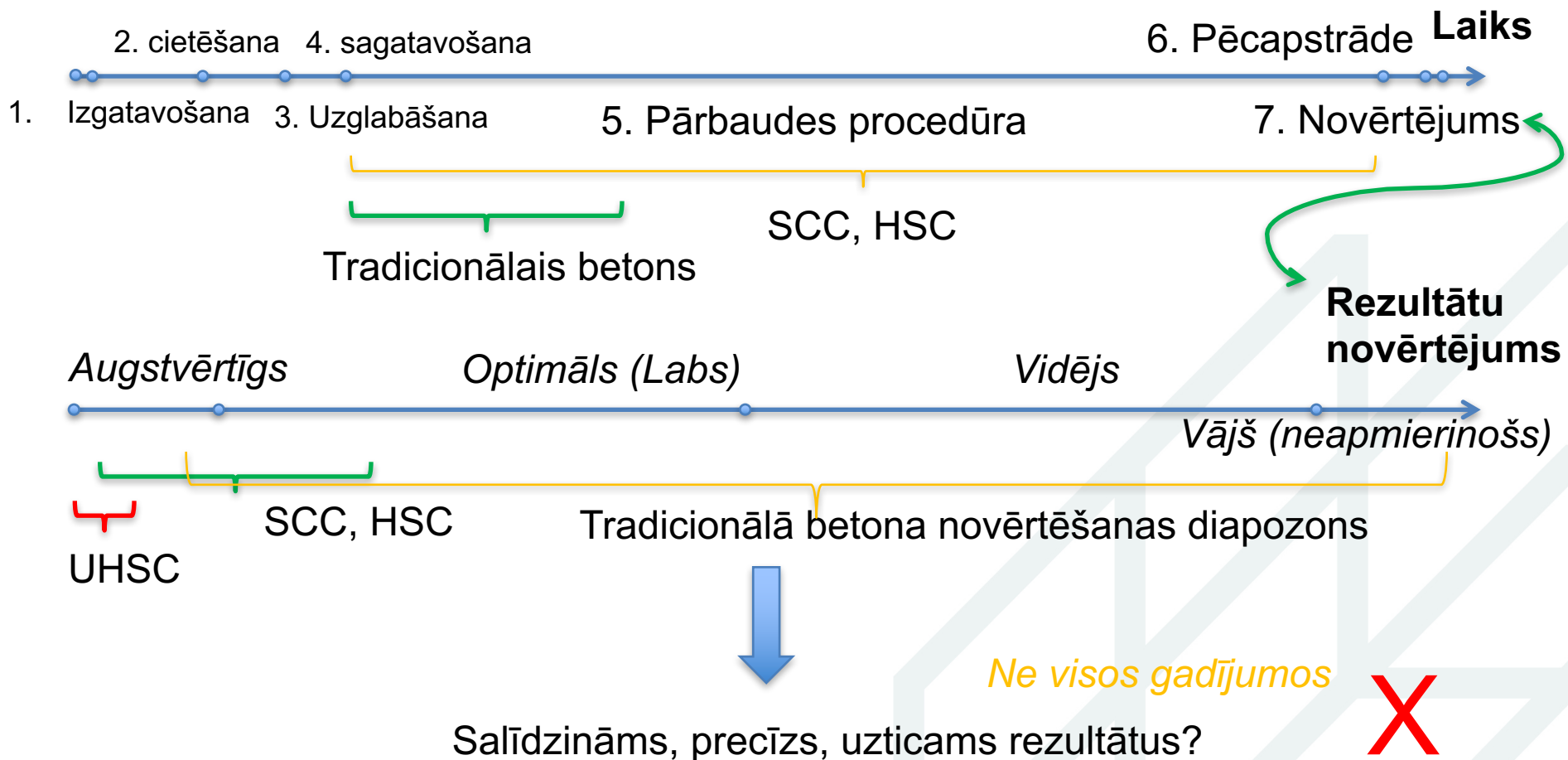
Augstas veiktspējas īpašību cementa kompozītu īpašības

Komponente	Apjoms, kg/m ³							
	C350	C400	C450MS	C500/0.75	C500/3.2	C500MS	C600MS	C700MS
Cements:	350	400	450	500	500	500	600	700
Mikrosilika	-	-	50	-	-	100	100	100
Ū/C	0.61	0.5	0.38	0.38	0.31	0.35	0.35	0.29
Izplūde, Ø	18cm*	22cm*	76cm	59cm	71cm	76cm	85	85
Spiedes stiprība f _{c,28} , MPa	42	47	90	62	80	110	113	120



Pastāvošo standartu aktualitāte

Tradicionāli pārbaudes ietver paraugu izgatavošanu, cietēšanu, uzglabāšanas, pārbaudes, rezultātu izvērtēšanas



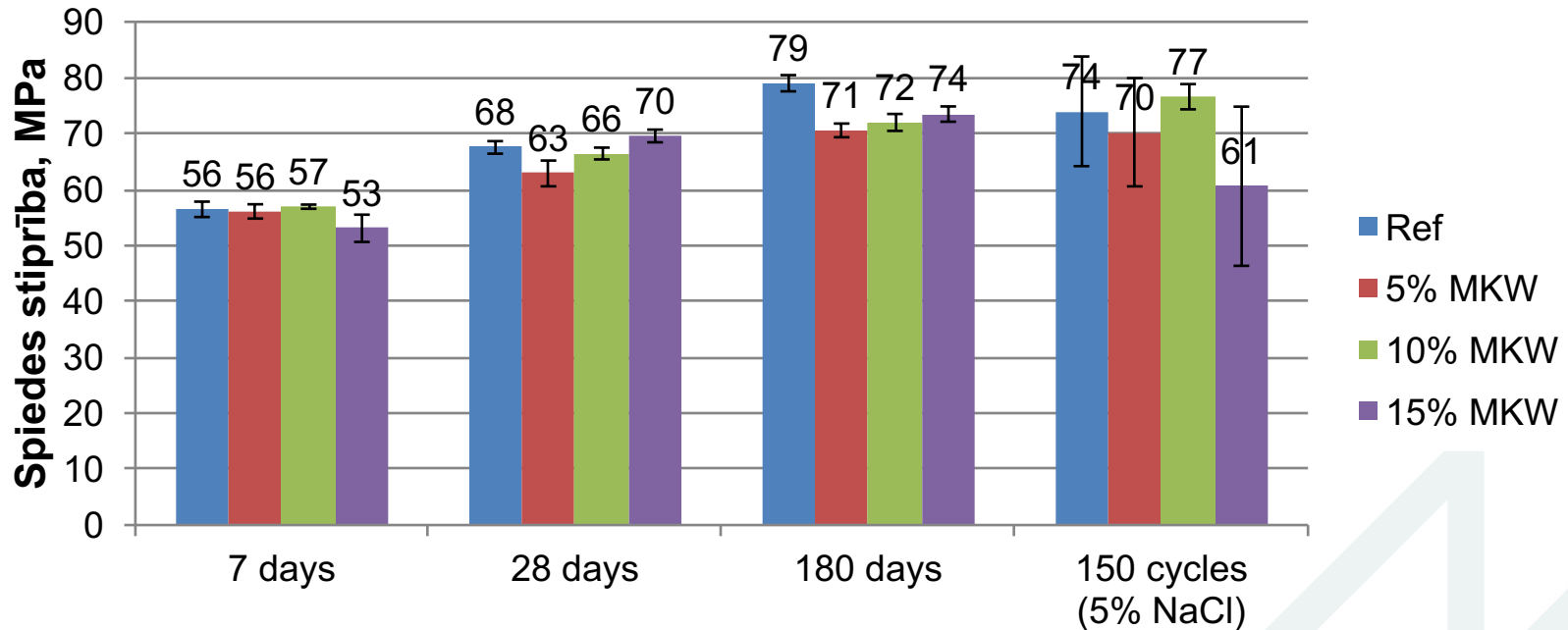
Ilgmūžības pārbaudes

Betona sastāvs ar metakaolīnu saturošu mikropiedeļu

Sastāvdaļa	Apjoms (kg/m ³)			
	REF	5%MKW	10%MKW	15%MKW
Cements CEM I 42.5 N (Cemex)	500	475	450	425
Smilts 0/4 mm	700	700	700	700
Kvarca smilts 0/0.3 mm	118	118	118	118
Oļi 4/12 mm	908	908	908	908
Ūdens	190	190	190	190
Superplastifikators Sikament 56	4.0	4.0	4.6	4.8
Metakaolīnu saturoša mikropiedeļa	0	25	50	75
Ū/C	0.38	0.40	0.42	0.45
Ū/(C+MKW)	0.38	0.38	0.38	0.38

- Lai saglabātu iestrādājamību mainīts superplastifikatora daudzums

Ilgmūžības pārbaudes Societējuša betona īpašības



- 7 dienu stiprība no 53-57 MPa un pieaug līdz 63-70 MPa 28d vecumā.
- Ilgtermiņa stiprība (180 d) no 71 līdz 79 MPa.
- Stiprības zudumi pēc 150 sasalšanas-atkušanas cikliem 5% NaCl atkausēšanas šķīdumā uzrāda stiprības samazinājumu visiem paraugiem, izņemot 10% MKW

Salturības novērtējums saskaņā ar LVS 156-1:2009 pielikumu C

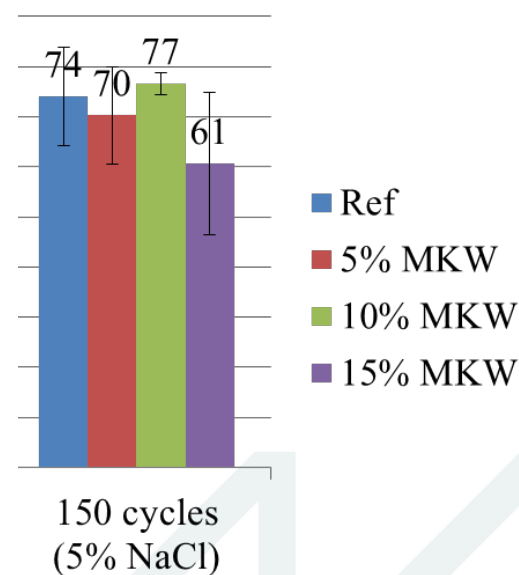
Tiek aplūkotas un piedāvātas 3 testa metodes:

- 1. metode – atkausē ūdenī; saldē -18 ± 2 °C;
- 2. metode – atkausē 5% NaCl; saldē -18 ± 2 °C;
- 3. metode – atkausē 5% NaCl; saldē -52.5 ± 2.5 °C

Betons	Sasaldēšanas un atkausēšanas ciklu skaits atkarībā no betona salizturības markas													
	Metode	Salizturības marka un ciklu skaits												
		F25	F35	F50	F75	F100	F150	F200	F300	F400	F500	F600	F800	F1000
Visi betona veidi, izņemot zemāk minētos	1. metode	25	35	50	75	100	150	200	300	400	500	600	800	1000
Visi betona veidi, izņemot zemāk minētos un vieglbetonam ar $\rho < 1500$ kg/m ³	2. metode	-	-	8	13	20	30	45	75	110	150	200	300	450
	3. metode	-	-	-	2	3	4	5	8	12	15	19	27	35
Betnamam ietvju un ielu, lidlauku segumiem	2. metode	-	-	50	75	100	150	200	300	400	500	600	800	1000
	3. metode	-	-	-	-	5	10	20	37	55	80	105	155	205

Salizturības novērtējums

- Pēc 150 sasalšanas-atkušanas cikliem tiek rēķināta vidējā paraugu stiprība no minimums 6 paraugiem. Ir atļauts atņemt vienu labāko un vienu sliktāko rezultātu;
- Vidējai stiprības vērtībai pēc sasalšanas atkušanas cikliem jā saglabājas 95% no f_{ref} .
- Otrā metode balstās uz kļūdu novērtējumu, statistisko analīzi, ko būtiski ietekmē rezultātu izkliede;
- Rezultātu interpretācija un novērtējums ietekmē rezultātus!



Mixture composition	150 sasalšanas-atkušanas cikli						
	Vidējā vērtība		Kļūdu analīze				
	$0.95 * f_{ref,average}$, MPa	$f_{c,150cycles}$, MPa	S_n	d_n	V_n	$0.9 * X_{min}'$	X_{min}''
REF	75 (76)	74 (80)	26.5	10.6	0.1	64.5	5.9
5% MKW	67 (67)	70 (72)	21.2	8.5	0.1	58.0	15.8
10% MKW	68 (69)	77 (76)	5.4	2.2	0.0	57.8	62.7
15% MKW	70 (70)	61 (70)	31.9	12.8	0.2	59.9	-21.4

Hlorīdu iespiešanās dziļuma pārbaudes

Testēšanas metode [1]

1. AASHTO T259 (Salt Ponding Test) (RCTP)
2. Bulk Diffusion Test (Nordtest NTBuild 443)
3. AASHTO T277 (Rapid Chloride Permeability Test)
4. Electrical Migration Techniques
5. **Rapid Migration Test (CTH Test) - NT BUILD 492**
6. Resistivity Techniques
7. Pressure Penetration Techniques
8. Indirect Measurement Techniques
9. Sorptivity

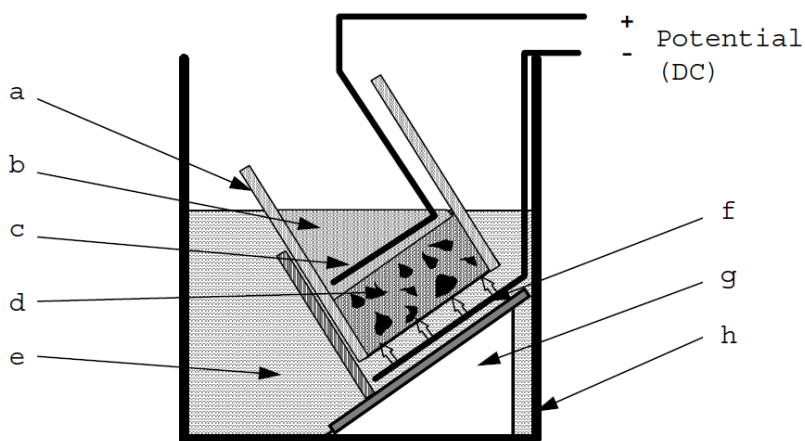
Trūkumi, komentāri

- 90 dienas, sarežģīti interpretēt;
- Ilglaicīgs, >35 vai 90 dienas;
- Liela rezultātu izkliede;
- Sarežģīta procedūra, rezultātu interpret.;
- Atrisina RCPT problēmas;
- Elektriskie mērījumi, vadāmie materiāli rada kļūdas;
- Spiediena zudimi, ātrs, viegli aprobējams ;
- Nav noteikta korelācija;
- Būtiski ieteikmē virsmas īpašības.

[1] K. D. Stanish, R. D. Hooton, and M. D. Thomas, "Testing the Chloride Penetration Resistance of Concrete : A Literature Review," *Predict. Chloride Penetration Concr.*, p. 31, 1997.

Hlorīdu iespiešanās dziļuma pārbaudes NT BUILD 492

3 paraugi ar $\varnothing 100$ mm un augstumu 50 mm.



- | | |
|------------------|--------------------|
| a. Rubber sleeve | e. Catholyte |
| b. Anolyte | f. Cathode |
| c. Anode | g. Plastic support |
| d. Specimen | h. Plastic box |

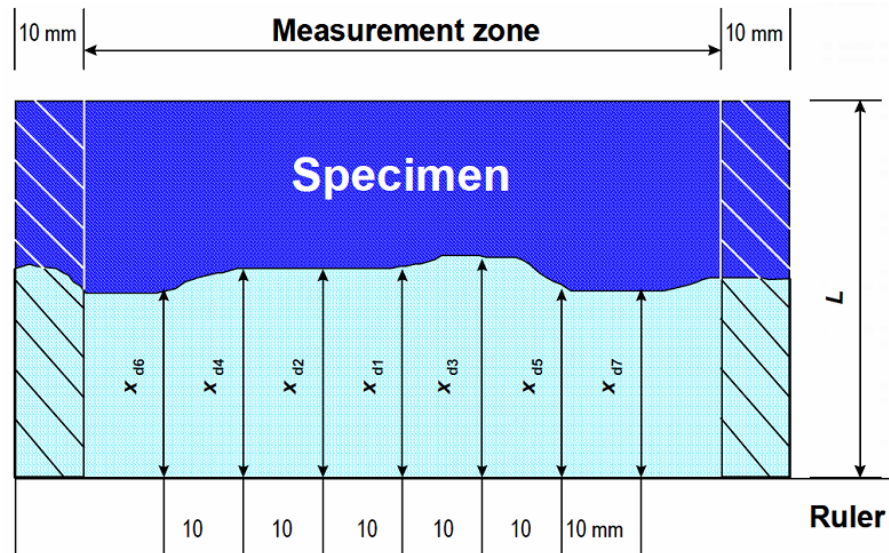
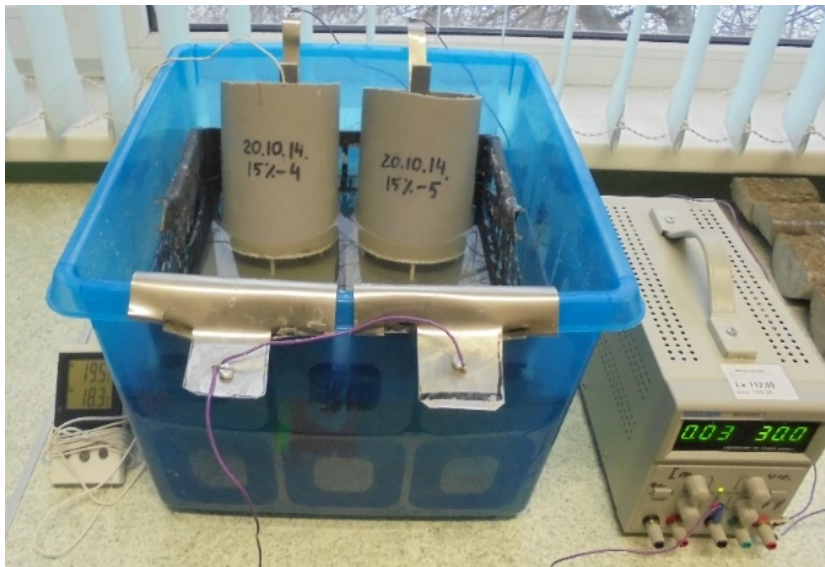
Fig. 1. One arrangement of the migration set-up.

$$D_{nssm} = \frac{0.0239(273 + T)L}{(U - 2)t} \left(x_d - 0.0238 \sqrt{\frac{(273 + T)L x_d}{U - 2}} \right) \quad (4)$$

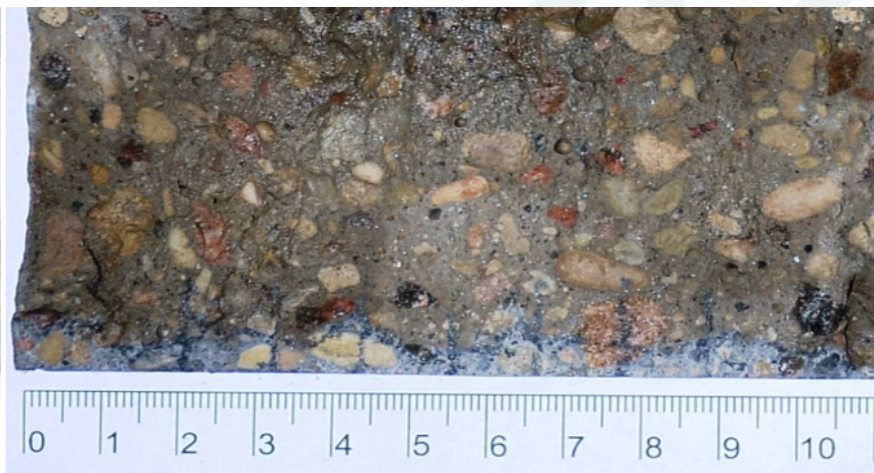
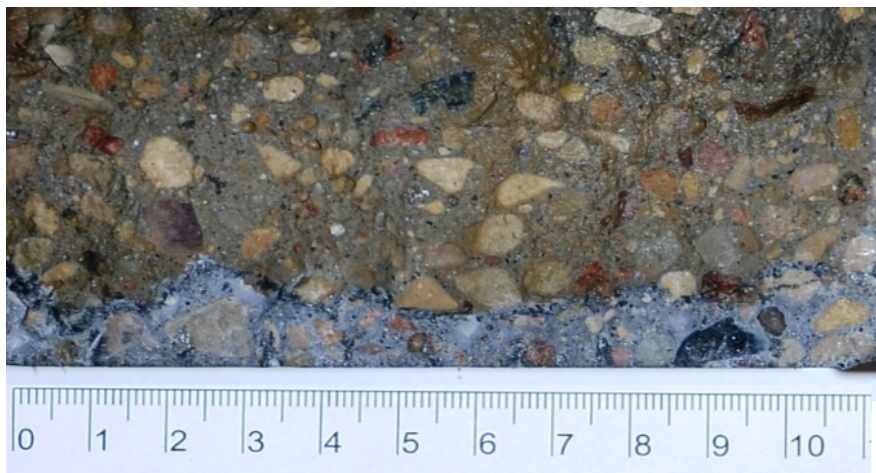
where:

- D_{nssm} : non-steady-state migration coefficient, $\times 10^{-12}$ m²/s;
 U : absolute value of the applied voltage, V;
 T : average value of the initial and final temperatures in the anolyte solution, °C;
 L : thickness of the specimen, mm;
 x_d : average value of the penetration depths, mm;
 t : test duration, hour.

Hlorīdu iespiešanās dziļuma pārbaudes NT BUILD 492



Testa metodika



Hlorīdu iespiešanās dziļums atsauces sastāvam un 15% MKW.

Hlorīdu iespiešanās dziļuma pārbaudes

NT BUILD 492:

non-steady-state migration coefficient D_{nssm}

Hlorīdu iespiešanās dziļuma pārbaudes rezultāti
(non-steady-state migration coefficient)

Maisījuma sastāvs	D_{nssm} [$10^{-12}m^2/s$]	Standard deviation
Ref	7.70	0.37
5%MKW	5.41	0.11
10%MKW	3.63	0.12
15%MKW	2.08	0.03

- Iekļaujot sastāvā mikropiedevu MKW iespējams samazināts D_{nssm} 3.7 reizes;

SCC sastāvu 15%MKW var novērtēt kā «Ļoti labu» (“very good”) bet atsauces sastāvs (Ref) ar $D_{nssm} < 8 \cdot 10^{-12}m^2/s$ novērtējams kā «Labs» (“good”) [2].

Secinājumi

- Augstas veiktspējas cementa kompozītu izgatavošanas pamatnosacījumi ietver sevī rūpīgu sastāva projektēšanu, komponentu izvēli un precīzu apjoma noteikšanu, superplastificējošu u.c. piedevu izmantošanu, ko bieži var noteikt tikai eksperimentālos pētījumos;
- Ilgmūžības novērtēšana augstas veiktspējas betonam, izmantojot tradicionālā betona pārbaudes metodes, bieži var būt ilglaicīga, neefektīva, kā arī rezultāti grūti novērtējami un interpretējami;
- 500 standarta sasalšanas-atkušanas cikli var tikt aizstāti ar 150 vai 15 sasalšanas-atkušanas cikliem, bet ciklēšanas efektivitāti augstas veiktspējas cementa kompozītu salturības novērtēšanai tiek noteikta eksperimentāli;
- NT BUILD 492 testa metodika ļauj precīzi pārbaudīt un novērtēt augstas veiktspējas cementa kompozītus;
- Metakaolīnu saturošas mikropiedevas uzrāda to izmantošanas efektivitāti hlorīdu iespiešanās dziļuma samazināšanai augstas veiktspējas cementa kompozītu iegūšanai.

Paldies par uzmanību!

