

Kutistumaa vähentävät lisäaineet

Betonin tutkimusseminaari 31.10.2018

Tapio Vehmas

Esityksen rakenne

- Johdanto
 - Kutistumaa vähentävät lisäaineet.
- Kemiallinen koostumus
 - Yhteisvaikutus huokoistimen kanssa.
- Kokeellinen tutkimus
 - Kutistumaa vähentävän lisäaineen, huokoistimen ja notkistimen yhteistoiminta.
 - Lämpötilan vaikutus.
 - Lisäaineen vaikutus varhais- ja pitkäaikaiskutistumaan.

Johdanto

Kutistumaa vähentävät lisäaineet

- Betonin halkeilu kovettumisen aikana voi aiheuta jännitystiloista, lämpötilagradientin johdosta tai kutistuman seurauksena.
- Massiivisissa betonirakenteissa kuivumiskutistuma aiheuttaa merkittävän osan halkeilusta.
- Kuivumiskutistumaa vastaa on kehitetty erilaisia lisäaineita.
 - Uusia reaktiotuotteita muodostavat lisäaineet jotka kompensoivat kuivumisesta aiheutuvaa kutistumaa.
 - Kutistumamekanismiin vaikuttavat lisäaineet.

Johdanto

Kutistumaa vähentävät lisäaineet

- Betonin halkeilu kovettumisen aikana voi aiheuta jännitystiloista, lämpötilagradientin johdosta tai kutistuman seurauksena.
- Massiivisissa betonirakenteissa kuivumiskutistuma aiheuttaa merkittävän osan halkeilusta.
- Kuivumiskutistumaa vastaa on kehitetty erilaisia lisäaineita.
 - Uusia reaktiotuotteita muodostavat lisäaineet jotka kompensoivat kuivumisesta aiheutuvaa kutistumaa.
 - **Kutistumamekanismiin vaikuttavat lisäaineet.**

Johdanto

Kutistumaa vähentävät lisäaineet

- Hyvin jälkihoidetuissa betonirakenteissa suurin kuivumiskutistuman syy on veden pintajännitys.
- Vesitäytteisissä geelihuokosissa kosteuden haihtuminen lisää huokoisissa olevan vesipinnan kaareutumista jolloin veden pintajännitys vetää huokoisia yhteen joka havaitaan kutistumana.
- Muuttamalla veden pintajännitystä voidaan huokoisia yhteen vetävää voimaa alentaa ja vähentää havaittua kutistumaa.
- Veden pintajännityksen alentamiseen perustuvia kutistumaa vähentäviä lisäaineita on kaupallisesti saatavilla.
- Yleisnimitys näille lisäaineille on SRA (*Shrinkage Reducing Admixture*).

Kutistumaa vähentävät lisäaineet

Kemiallinen koostumus

- Kutistumaa vähentävät lisäaineet (SRA) ovat pinta-aktiivisia aineita jotka hakeutuvat ilma/vesi –rajapinnalle.
- SRA molekyylit ovat amfiifiilisiä sisältäen vettä hylkivän ja vesiliukoisen osion.
- Käytössä olevat SRA –lisäaineet yleensä koostuvat:
 - Monomeeriset alkoholit.
 - Glykolit.
 - Polyoksiaalkyleeniglykoli alkyylilietterit.
 - Synteettiset polymeerisurfaktantit.

Kutistumaa vähentävät lisäaineet

Kemiallinen koostumus

- Kemiallisen koostumuksensa perusteella kutistumaa vähentävät lisäaineet ovat läheistä sukua huokoistimille.
 - Suurin ero huokoistimien ja SRA välillä on niiden kyky sitoa muodostunut ilma betoniin.
 - SRA molelyylit ovat myös pienempiä kuin huokoistimet ja vähemmän hydrofobisia.
 - SRA vaahdonmuodostuskyky pyritään minimoimaan.
- SRA annostellaan huomattavasti enemmän kuin huokoistimia (1-2% sementin painosta).

Kutistumaa vähentävän lisäaineen ja huokoistimen yhteisvaikutus

- Kutistumaa vähentäviä lisäaineita on pääasiassa tutkittu huokoistamattomissa betoneissa.
- Huokoistimen ja SRA:n yhteisvaikutuksista on saatavissa niukasti tutkimustietoa.
- Wisconsinin liikennevirasto ei suosittele SRA:n käyttöä huokoistimen kanssa.
 - Kenttätutkimuksissa havaittu muutoksia betonin huokoistuksessa eri lämpötiloissa.

SRA ja huokoistimen yhteisvaikutus

Koesuunnitelma

- Selvitetään SRA:n, huokoistimen ja notkistimen yhteisvaikutusta eri lämpötiloissa (10, 20 ja 30°C).
 - Painuma
 - Kokonaisilmamäärä. (SFS-EN 12350-7)
 - Huokoskokojakauma. (AVA 3000, Germann Instruments)
 - Kovettuneen betonin huokosjako ohuthieistä. (VTT TEST R003-00-2010)
- Mitataan SRA:n vaikutus kuivumiskutistumaan
 - Varhaisiänkutistuma 0-7d
 - Pitkäaikaiskutistuma 1d →

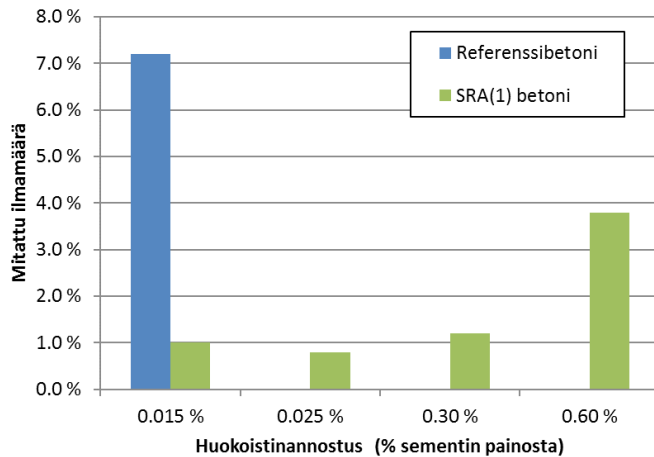
Tutkimuksen käytetty betoni

Taulukko 1. Tutkimuksessa käytetyn betonin suhteitus.

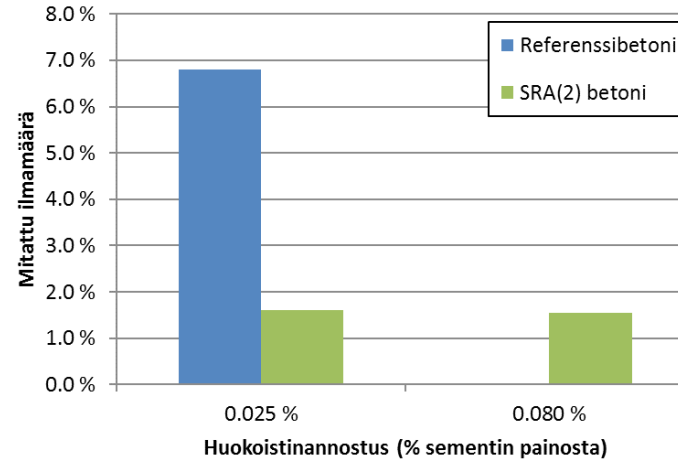
| Materiaali | Määrä |
|---|-----------------------|
| Pikasementti | 340 kg/m ³ |
| Tehollinen vesimäärä | 170 kg/m ³ |
| 0-1mm | 105 kg/m ³ |
| 0-8mm | 885 kg/m ³ |
| 8-16mm | 745 kg/m ³ |
| Tehonotkistin (sementin painosta) | 0,20% |
| Huokoistin (sementin painosta) | 0,015-0,8% |
| Kutistumaa vähentävä lisäaine (sementin painosta) | 1,75% |

Kutistumaa vähentävän lisäaineen, huokoistimen ja notkistimen yhteisvaikutus

- Tutkituista kutistumaa vähentävistä lisäaineista kahdella todettiin voimakas vuorovaikutus huokoistimen kanssa.



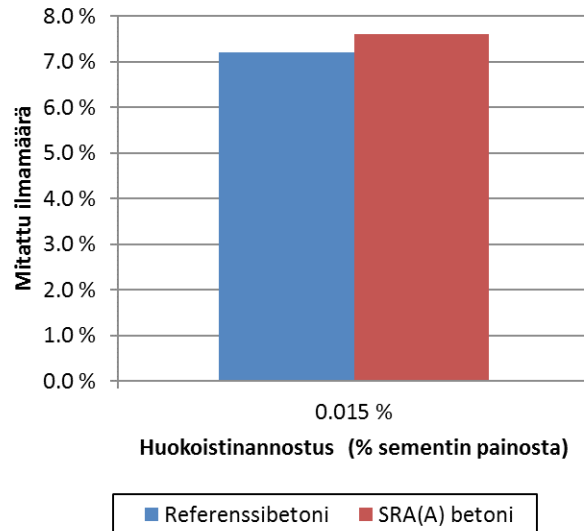
Kuvaaja 1. SRA(1) esti ilman muodostumisen betoniin.



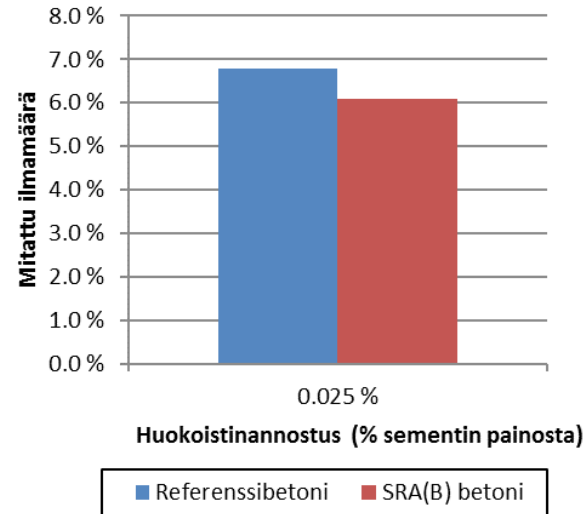
Kuvaaja 2. SRA(2) esti ilman muodostumisen betoniin.

Kutistumaa vähentävän lisäaineen, huokoistimen ja notkistimen yhteisvaikutus

- Kahdella tutkitulla SRA:lla ei ollut vuorovaikutusta huokoistimeen.



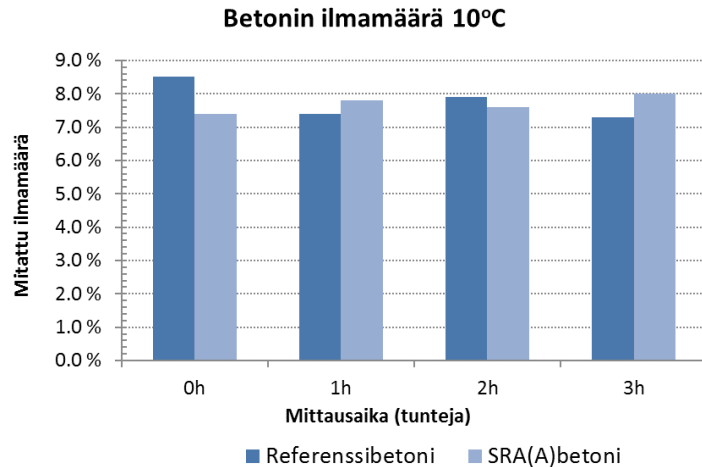
Kuvaaja 3. SRA(A) ei ollut vaikutusta betonin ilmamäärään.



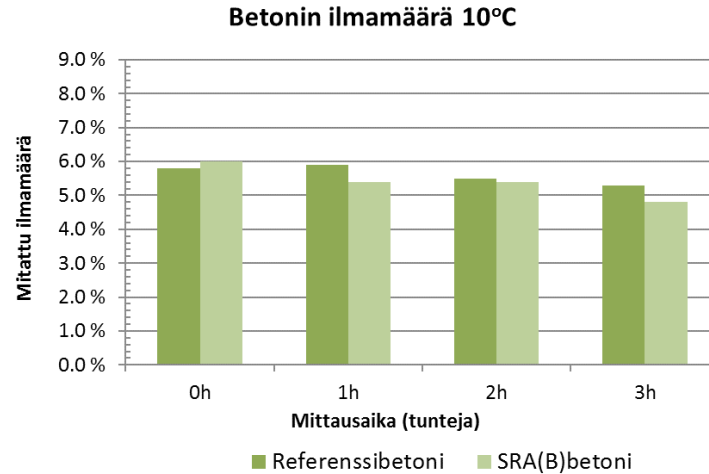
Kuvaaja 4. SRA(B) ei ollut vaikutusta betonin ilmamäärään.

Kutistumaa vähentävän lisäaineen, huokoistimen ja notkistimen yhteisvaikutus

- Lämpötilalla ei ollut vaikutusta SRA:n käyttäytymiseen.



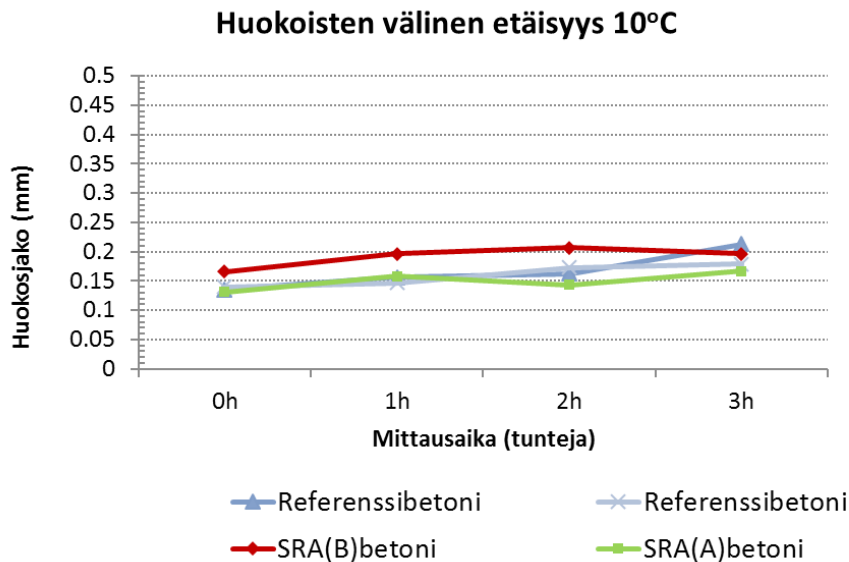
Kuvaaja 5. Referenssibetonin ja SRA(A)-betonin mitatut ilmamäärät 10oC lämpötilassa



Kuvaaja 6. Referenssibetonin ja SRA(B)-betonin mitatut ilmamäärät 10oC lämpötilassa

Kutistumaa vähentävän lisäaineen, huokoistimen ja notkistimen yhteisvaikutus

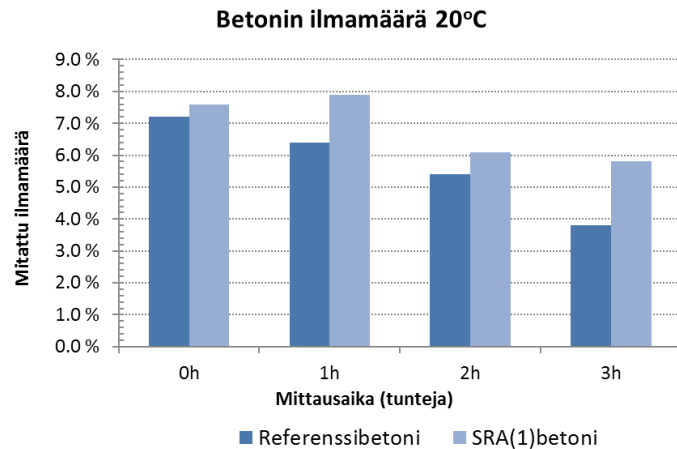
- Lämpötilalla ei ollut vaikutusta SRA:n käyttäytymiseen.



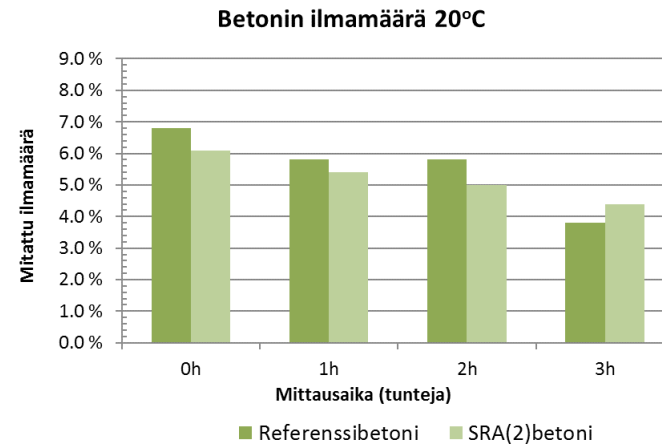
Kuvaaja 7. Referenssibetonien, SRA(A)- ja SRA(B) -betonien huokosjako (spacing factor) 10°C lämpötilassa, mitattuna tuoreesta massasta.

Kutistumaa vähentävän lisäaineen, huokoistimen ja notkistimen yhteisvaikutus

- Lämpötilalla ei ollut vaikutusta SRA:n käyttäytymiseen.



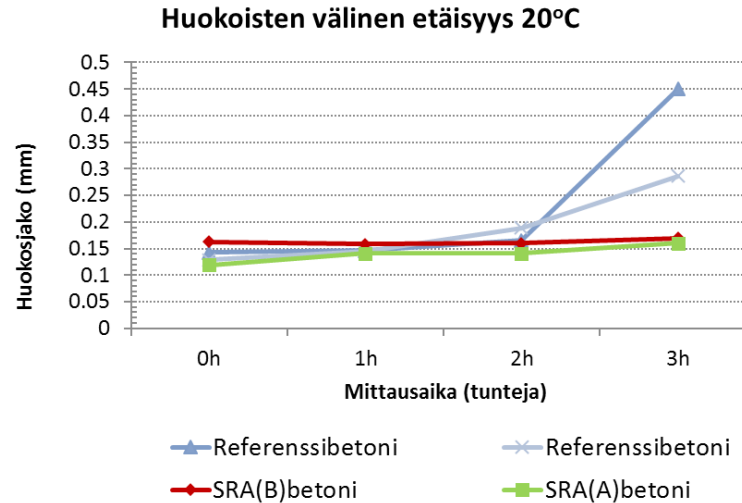
Kuvaaja 8. Referenssibetonin ja SRA(A)-betonin mitatut ilmamäärät 20oC lämpötilassa



Kuvaaja 9. Referenssibetonin ja SRA(B)-betonin mitatut ilmamäärät 20oC lämpötilassa

Kutistumaa vähentävän lisäaineen, huokoistimen ja notkistimen yhteisvaikutus

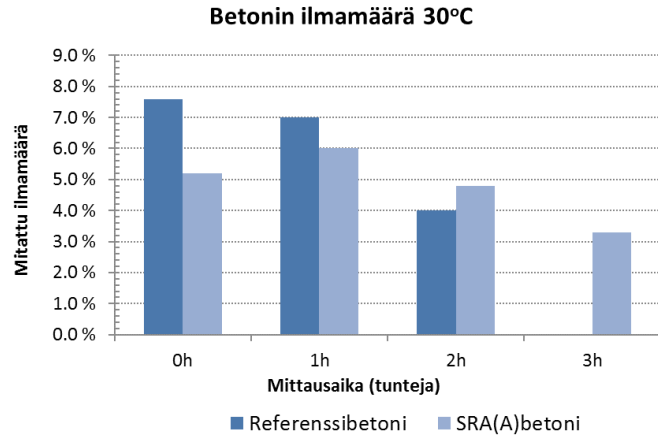
- Lämpötilalla ei ollut vaikutusta SRA:n käyttäytymiseen.



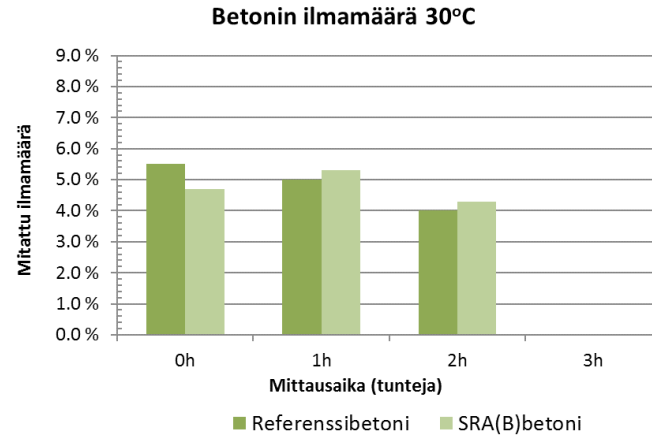
Kuvaaja 10. Referenssibetonien, SRA(A)- ja SRA(B)-betonien huokosjako (spacing factor) 20oC lämpötilassa, mitattuna tuoreesta massasta.

Kutistumaa vähentävän lisäaineen, huokoistimen ja notkistimen yhteisvaikutus

- Lämpötilalla ei ollut vaikutusta SRA:n käyttäytymiseen.



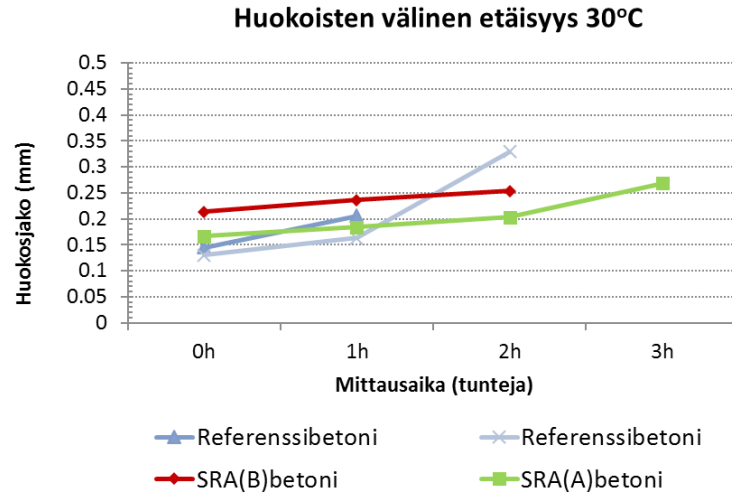
Kuvaaja 11. Referenssibetonin ja SRA(A)-betonin mitatut ilmamäärät 30oC lämpötilassa



Kuvaaja 12. Referenssibetonin ja SRA(B)-betonin mitatut ilmamäärät 30oC lämpötilassa

Kutistumaa vähentävän lisäaineen, huokoistimen ja notkistimen yhteisvaikutus

- Lämpötilalla ei ollut vaikutusta SRA:n käyttäytymiseen.



Kuvaaja 13. Referenssibetonien, SRA(A)- ja SRA(B)-betonien huokosjako (spacing factor) 30°C lämpötilassa, mitattuna tuoreesta massasta.

Kutistumaa vähentävän lisäaineen, huokoistimen ja notkistimen yhteisvaikutus

- SRA:lle ei ollut myöskään vaikutusta kovettuneen betonin huokosrakenteeseen.

Taulukko 2. Referenssibetonien, SRA(A)- ja SRA(B) -betonien suojahuokoisten huokosjako ja ominaispinta-ala mitattuna VTT TEST R003-00-2010 –mukaisesti.

| | Suojahuokoisten ominaispinta-ala | Suojahuokoisten huokosjako |
|--------------------|----------------------------------|----------------------------|
| Referenssibetoni A | 33 mm ⁻¹ | 0,17 mm |
| SRA(A)betoni | 41 mm ⁻¹ | 0,17 mm |
| Referenssibetoni B | 37 mm ⁻¹ | 0,15 mm |
| SRA(B)betoni | 32 mm ⁻¹ | 0,18 mm |

Kutistumaa vähentävien lisäaineiden vaikutus puristuslujuuteen

- Tutkittujen betonien loppulujuuksissa ei havaittu eroja.

Taulukko 3. Referenssibetonien, SRA(A)- ja SRA(B) -betonien puristuslujuudet ja tiheydet.

| | Puristuslujuus | Tiheys |
|--------------------|----------------|------------------------|
| Referenssibetoni A | 37,7 MPa (28d) | 2350 kg/m ³ |
| SRA(A)betoni | 38,0 MPa (28d) | 2305 kg/m ³ |
| Referenssibetoni B | 40,9 MPa (30d) | 2310 kg/m ³ |
| SRA(B)betoni | 41,3 MPa (30d) | 2370 kg/m ³ |

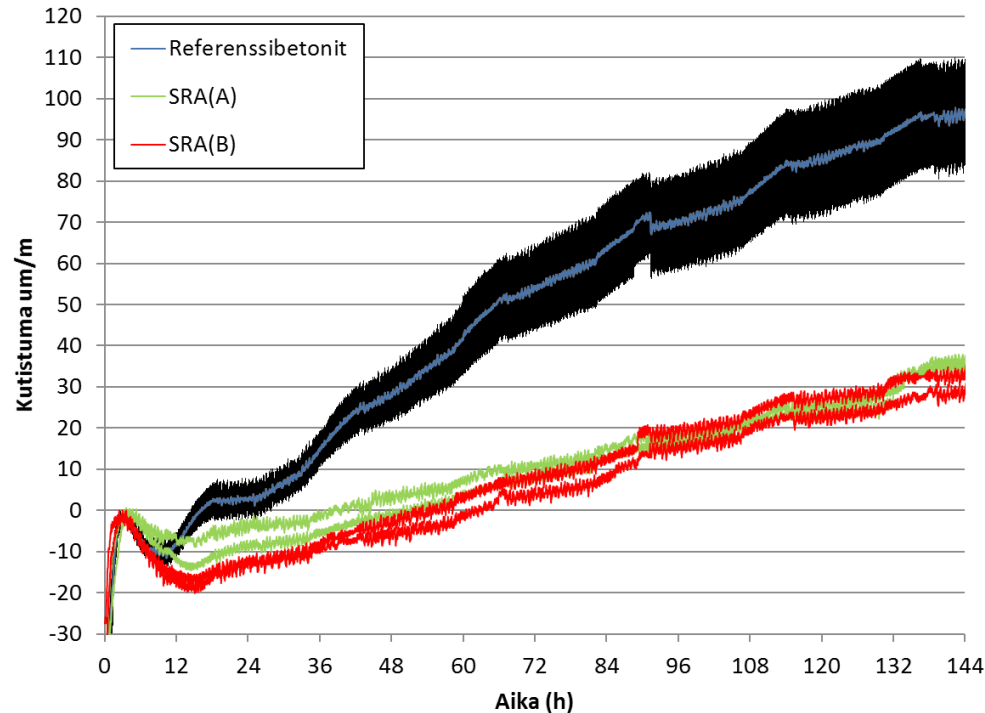
Lisäaineiden vaikutus alkuvaiheen kutistumaan

- Alkuvaiheen kutistumaa mitattiin Schleibinger –kutistumapalkeilla.
- Koekappaleet säilytettiin 50% suhteellisessa kosteudessa 21oC lämpötilassa.
- Koekappaleet suojattiin muovikalvolla ensimmäisen vuorokauden ajan.



Kuvaaja 14. Tutkimuksessa käytetyt Schleibinger –kutistumapalkit.

Lisäaineiden vaikutus alkuvaiheen kutistumaan

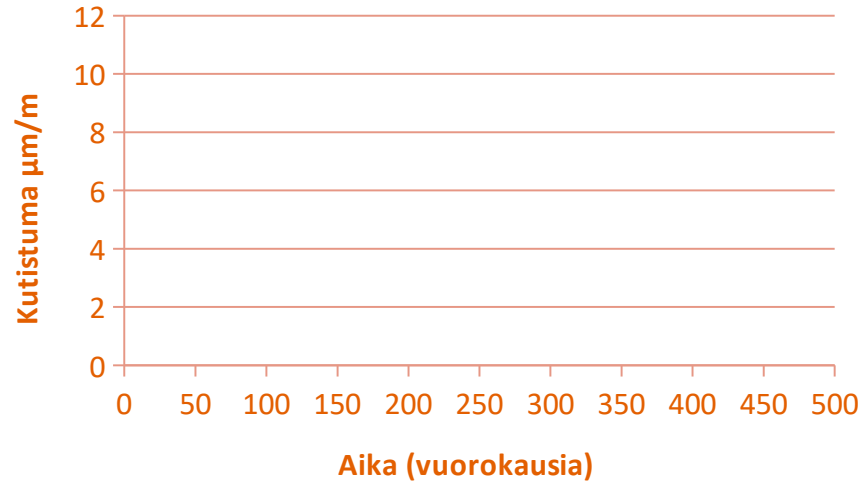


Kuvaaja 15. Referenssibetonien, SRA(A)- ja SRA(B) –betonien varhaisvaiheen kuivumiskutistuma mitattuna Schleibinger –kutistumapalkeilla.

Lisäaineiden vaikutus pitkäaikaiskutistumaan

- SRA –lisäaineiden vaikutusta pitkäaikaiskutistumaan mitattiin kutistumapalkeilla.
- Koekappaleet säilytettiin 50% suhteellisessa kosteudessa 21oC lämpötilassa.
- Koekappaleet altistettiin kuivumiselle vuorokauden iässä, joka toimi mittauksen referenssipituutena.

Lisäaineiden vaikutus pitkäaikaiskutistumaan



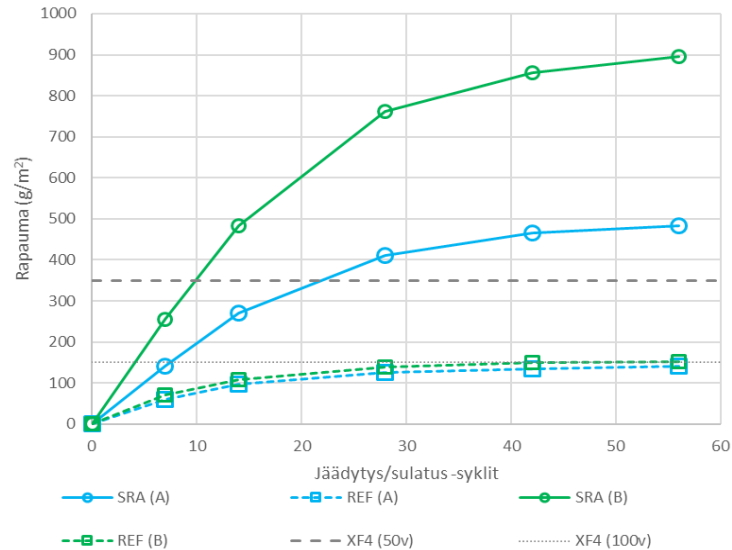
Kuvaaja 16. Referenssibetonien, SRA(A)- ja SRA(B) –betonien pitkäaikaiskutistuma 210C lämpötilassa ja 50% suhteellisessa kosteudessa.

Kutistumaa vähentävien lisäaineiden vaikutus pakkassuolarasituksessa

- Edellä esitetyille massoille suoritettiin pakkassuolakoe standardin CEN/TS 12390-9 mukaisesti.
- Koekappaleiden pinta altistettiin 3% NaCl –liuokselle rasisluokan XF4 mukaisesti.
- Koekappaleista irronneen betonin osuus määritettiin 7, 14, 28, 42 ja 56 jäädy-sulatussyklin jälkeen.
- Koekappaleiden sisäistä vauriota arvioitiin dynaamisen kimmomoduulin ja ultraäänipulssin läpimenoajan perusteella.

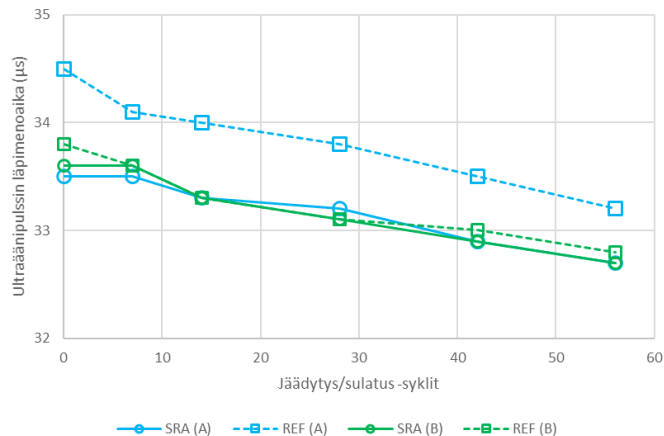
Kutistumaa vähentävien lisäaineiden vaikutus pakkassuolarasituksessa

- Kutistumaa vähentävät lisäaineet aiheuttivat voimakasta pintarapautumista pakkassuolakokeessa.

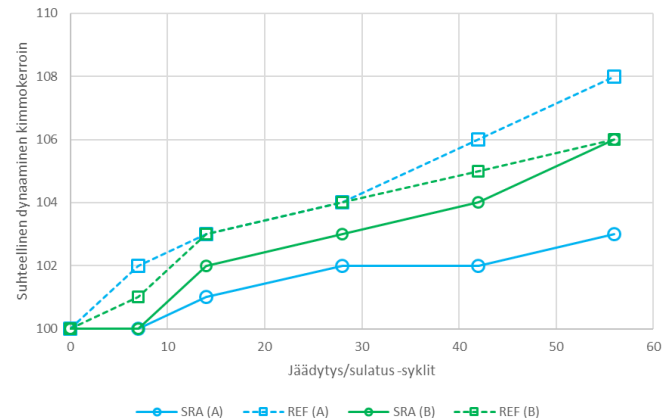


Kuvaaja 17. Referenssibetonien, SRA(A)- ja SRA(B) -betonien pintarapautuma pakkassuolakokeessa.

Kutistumaa vähentävien lisäaineiden vaikutus pakkassuolarasituksessa



Kuvaaja 18. Referenssibetonien, SRA(A)- ja SRA(B) –betonien ultraäänipulssin läpimenoaika..



Kuvaaja 19. Referenssibetonien, SRA(A)- ja SRA(B) –betonien suhteellinen dynaaminen kimmokerroin.

Johtopäätökset

- Kahdella tutkituista SRA-lisäaineista oli voimakas yhteisvaikutus huokoistimen kanssa joka ei mahdollistanut huokoistetun betonin valmistamista.
- Kahdella tutkitulla SRA:lla ei vuorovaikutusta havaittu.
- Lämpötilasta riippuvaa vaikutusta huokoistukseen ei havaittu tutkimuksissa.
- Lisäaineet vähensivät kutistumaa odotetusti. Kutistuman väheneminen oli voimakkainta betonin varhaisiässä.
- SRA lisäsi voimakkaasti pintarapautumaa pakkassuolakokeessa.

Kiitokset

- Kiitokset tutkimuksen rahoittajille ja osallistuneille yrityksille.
- Tutkimus toteutettiin Betonitekniset TaitorakenneTutkimukset projektissa, jota rahoittavat Liikennevirasto, Säteilyturvakeskus, Helsingin, Espoon, Tampereen ja Turun kaupungit (Vantaa, Oulu).

Kysymyksiä?