

Kiihdyttimien vaikutus vähähiilisten betonien lujuudenkehitykseen



Ioanna Orfanoudaki, maisteriopiskelija

Betoniteknikka, Aalto-yliopisto
ioanna.orfanoudaki@aalto.fi

Anna Antonova, post-doc tutkija

Betoniteknikka, Aalto-yliopisto
anna.antonova@aalto.fi

Jukka Piironen, laboratorioinsinööri

Aalto-yliopisto, jukka.piironen@aalto.fi

Jouni Punkki, professori (POP)

Betoniteknikka, Aalto-yliopisto
jouni.punkki@aalto.fi

LOIKKA-hankkeeseen kuuluvassa toisessa diplomityössä keskityttiin tutkimaan kiihdyttimien vaikutuksia betonin alkulujuuden kehitykseen. Portland-klinkkerin korvaaminen masuunikuonalla hidastaa vääjäämättä lujuudenkehitystä. Hitaampi lujuudenkehitys tuo haasteita vähähiilisten betonien käytölle sekä työmaalla että elementtiteollisuudessa. Loppulujuuteen sen sijaan masuunikuonalla on yleensä positiivinen vaikutus. Kuonabetonein loppulujuudet ovat yleensä korkeampia kuin esim. CEM I-tyypin sementeillä.

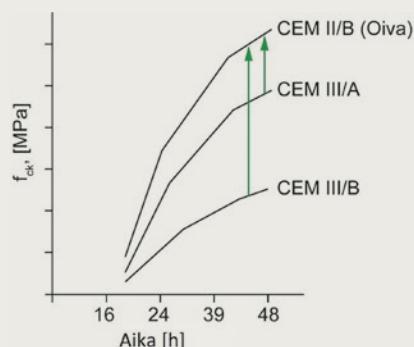
Taustaa

Ioanna Orfanoudaki teki diplomityössä aiheesta: Effects of accelerators on early strength development of low-carbon concretes. Työssä tutkittiin kiihdyttimien mahdollisuuksia nopeuttaa vähähiilisten sideaineiden lujuudenkehitystä. Diplomityö valmistuu loppuvuodesta 2022 ja sen ohjaajana toimi Anna Antonova ja valvojana prof. Jouni Punkki. Diplomityössä tutkittiin CEM III/A ja CEM III/B-tyyppisten kuonasementtien lujuudenkehityksen kiihdyttämistä niin, että voitaisiin saavuttaa vastaava lujuudenkehitys kuin CEM II/B-tyypin sementillä (Oiva-sementti). Kuvassa 1 havainnollistettu periaatteellisesti sementtityyppien eroja lujuudenkehityksen suhteen sekä diplomityön tavoitetta.

Kiihdyttimien annostuksen määrittäminen

Betonin sitoutuminen ja alkulujuuden kehitys ovat riippuvaisia kemiallisista reaktioista, jotka tapahtuvat kahden ensimmäisen vuorokauden aikana. Koska reaktiot tuottavat lämpöä, muutoksia kemiallisissa reaktioissa voidaan analysoida lämpötilamittausten avulla.

Kiihdyttimien tarvittava annostus arvioitiin mittaamalla eri sementtityypeistä valmistettujen laastien lämmönkehitystä. Kokeissa käytetyt sementin ja niiden kuonamäärät on esitetty taulukossa 1 ja tutkitut kiihdyttimet vastaavasti taulukossa 2. Kokeissa käytettiin laastia betonin sijaan, koska näin pystyttiin



2 Betonin pumppaus käynnissä. Helsingin Herttoniemessä Asunto Oy Paratiisilinnun holvivalut tehtiin Betset Oy:n vähähiilisellä GWP.70 C 30/37-lujuusluokan betonilla, jossa käytettiin Finnsementin Kolmossementtiä. Kohde ei liity artikkelin tutkimushankkeeseen.

1 Diplomityössä oli tavoitteena kiihdyttää sementtien CEM III/A ja CEM III/B lujuudenkehitys samalle tasolle kuin CEM II/B:llä.



Taulukko 1

Kokeissa käytetyt sementit ja niiden kuonamäärät

Kaikki sementit ovat Finnsementti Oy:n valmistamia.

Sementti	Kuonamäärä (%)
CEM I (Pika)	0
CEM II/A (Rapid)	0
CEM II/B (Oiva)	17
CEM III/A (Kolmossementti)	42
CEM III/B	70

Taulukko 2

Kiihdyttimien perusominaisuudet

Kiihdyttimien kemialliset koostumukset olivat hyvin erilaiset (alkali-, kalsiitti- tai C-S-H-pohjaisia).

Kiihdytin	Veden osuus [%]	Tiheys [g/cm ³]
A1	79,2	1,13
A2	51,9	1,53
A3	0	1,59

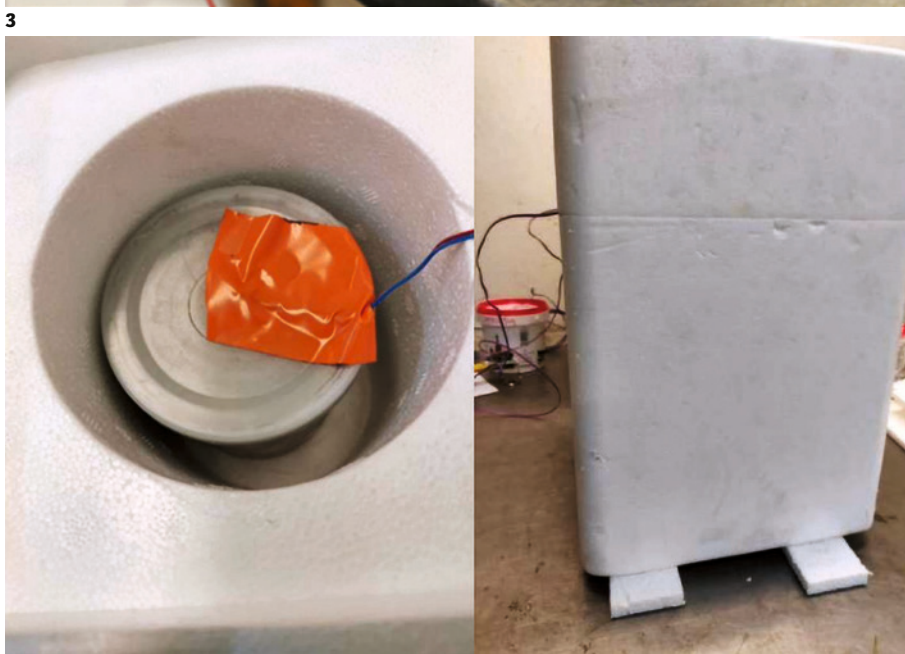
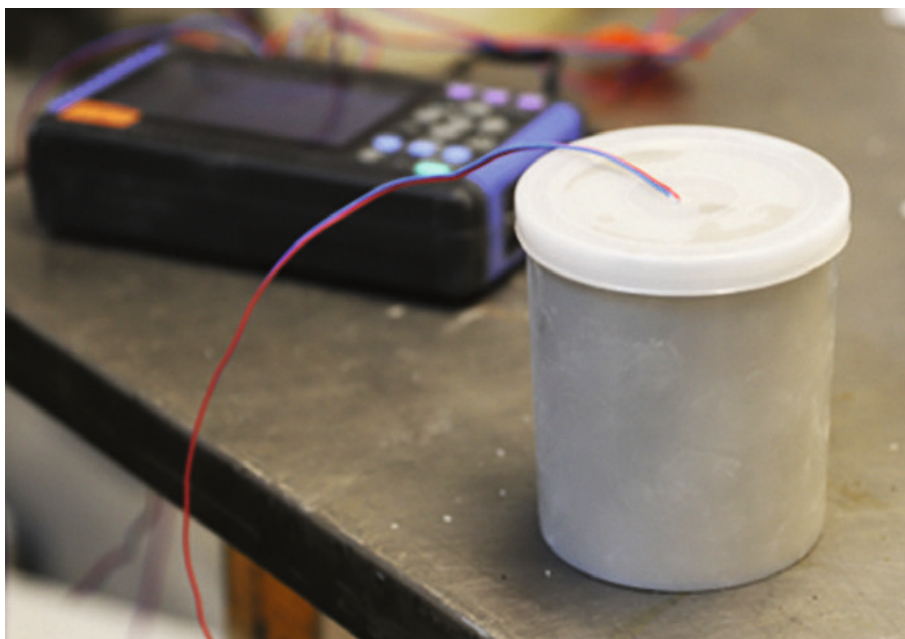
tekemään enemmän kokeita. Laastissa kiviaineksen (0–2 mm) ja sementin painosuhde oli 1,5 ja vesisideainesusuhde 0,4. Laasti valettiin muoviasiaan (kuva 3) ja muoviasia sijoitettiin lämpöeristettyyn laatikkoon (kuva 4). Laastiin asennettiin termolanka, joka avulla laastin lämpötilaa mitattiin. Lämpöeristetyn laatikon lämpöhäviöt määritettiin etukäteen lämpötilan funktiona ja näin lämpömittausten perusteella pystyttiin määrittämään laastin lämmöntuotto.

Esimerkki laastin lämpötilamittauksesta on esitetty kuvassa 5. Mahdolliset ympäröivän tilan lämpötilaerot vaikuttavat lämmöntuottoon ja siksi tulokset muunnettiin vastaamaan kypsyttää +20 °C:ssa. Kiihdyttimien optimaalinen annostus arvioitiin vertaamalla lämmöntuottoja eri kiihdytinannostuksilla (kuvat 6 ja 7). Sementteillä CEM III/A ja CEM III/B optimaaliset kiihdytinannostukset on esitetty taulukossa 3. Kiihdyttimen A3 osalta valmistaja antoi suositeltavan annostuksen ja kokeissa käytettiin kyseistä annostusta.

Kiihdyttimien lisääminen aikaisti hydrataatiopiikin ajankohtaa, mutta maksimilämpötilaan kiihdyttimillä ei ollut juurikaan vaikutusta. CEM III/A-tyyppin sementillä oli selkeästi voimakkaampi piikki hydrataatiolämmössä verrattuna CEM III/B-tyyppin sementtiin. Tämä on oletettavaa, koska sementtien kuonamäärissä suuri ero. Kiihdyttimellä A1 saavutettiin CEM III/A-tyyppin sementillä vastaava lämmöntuotto kuin tavoitteena käytetyllä CEM II/B-tyyppin sementillä.

3 Laastinäyte johon asennettu termolanka.

4 Lämpöeristetty laatikko, jota käytettiin laastien lämmöntuoton määrittämiseen.



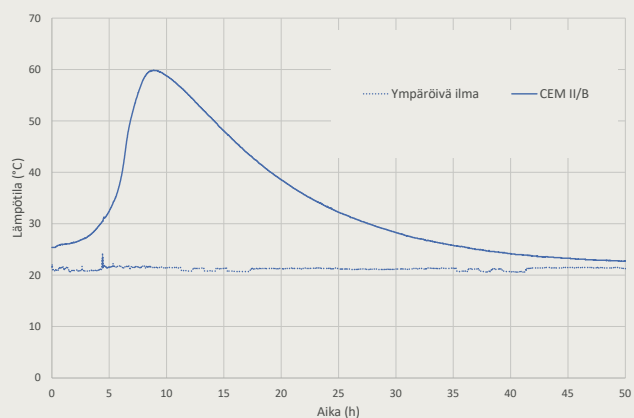
Taulukko 3

Valitut kiihdytinannostukset eri sementtityypeillä

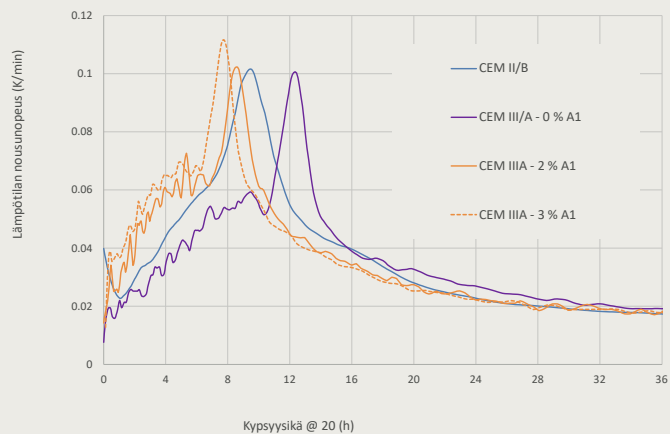
Annostus on arvioitu hydrataatiopiikin ajankohdan perusteella.
Kiihdyttimellä A3 on käytetty valmistajan suosittelemaa annostusta.

	A1	A2	A3
CEM III/A	2 %	3 %	14 %
CEM III/B	3 %	3 %	14 %

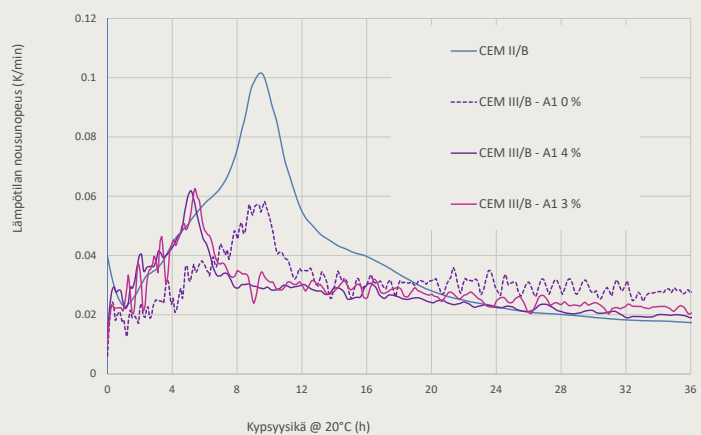
5 CEM II/B-tyyppin sementin lämpötilan kehitys laastikokeessa.



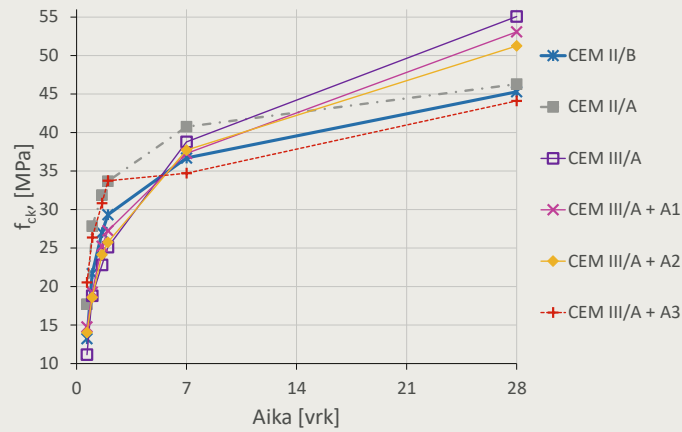
6 Kiihdyttimen A1:n annostuksen vaikutus lämpötilan kehittymiseen sementillä CEM III/A. Vertailu esitetty myös lämpötilakehitys sementillä CEM II/B.



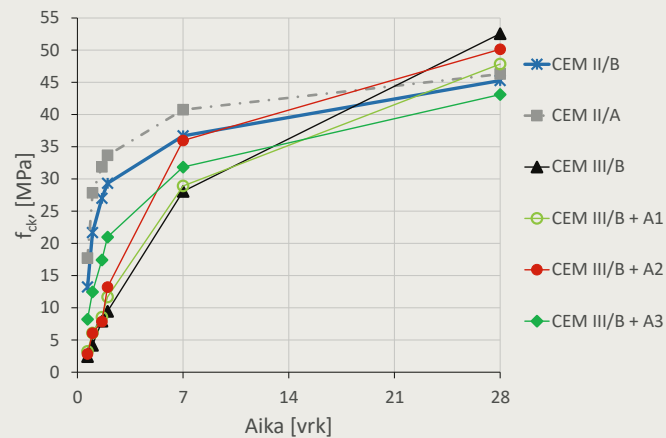
7 Kiihdyttimen A1:n annostuksen vaikutus lämpötilan kehittymiseen sementillä CEM III/B. Vertailu esitetty myös lämpötilakehitys sementillä CEM II/B.



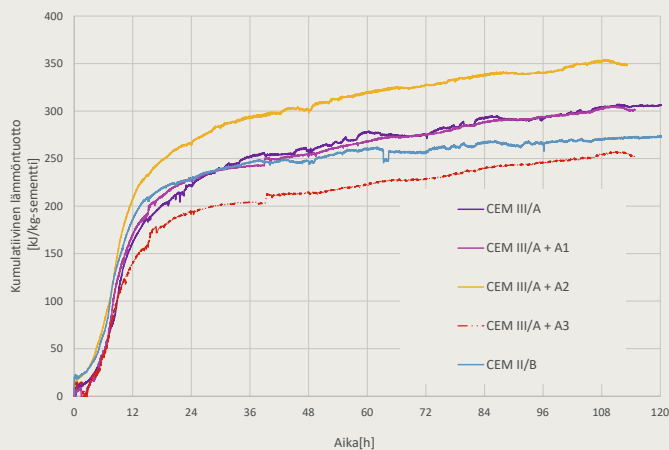
8 Lujuudenkehitys CEM III/A-sementillä käyttäen kolmea eri kiihdytintä. Vertailuna esitetty myös sementtien CEM II/A ja CEM II/B lujuudenkehitykset.



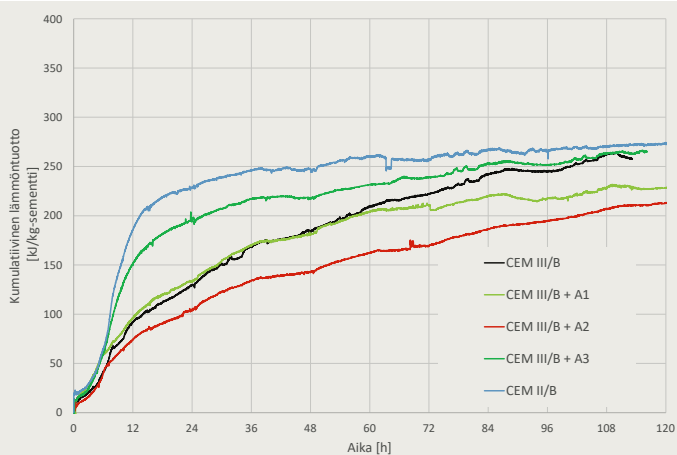
9 Lujuudenkehitys CEM III/B-sementillä käyttäen kolmea eri kiihdytintä. Vertailuna esitetty myös sementtien CEM II/A ja CEM II/B lujuudenkehitykset.



10 Kumulatiivinen lämmöntuotto CEM III/A-sementillä käyttäen kolmea eri kiihdytintä. Vertailuna esitetty myös sementin CEM II/B lämmönkehitys.



11 Kumulatiivinen lämmöntuotto CEM III/B-sementillä käyttäen kolmea eri kiihdytintä. Vertailuna esitetty myös sementin CEM II/B lämmönkehitys.





Ioanna Orfanoudaki

Ioanna Orfanoudaki on valmistunut Patraksen yliopistosta, Kreikasta ja suorittaa maisteriopintojaan Aalto-yliopistossa, Rakennustekniikan laitoksella. Ioanna on kiinnostunut kestävästä kehityksestä rakentamisessa.

Betonin alkulujuuden kehitys

Betonikokeissa käytettiin vesi-sideaine-suhteena arvoa 0,40 ja sementtimäärä oli 430 kg/m³. Betonin alkulujuus määritettiin 16, 24, 39 ja 48 ikäisinä käyttäen 150 mm:n kuutioita. Lisäksi määritettiin puristuslujuus 7 ja 28 vrk ikäisinä käyttäen 100 mm:n kuutioita. Jälkimmäiset tulokset korjattiin vastaamaan 150 mm:n kuutiolujuuksia. Lujuuksien kehitys eri kiihdyttimillä on esitetty kuvissa 8 ja 9.

Kiihdyttimistä vain kiihdyttimellä A3 saavutettiin parannus alkulujuuksiin (≤ 2 vrk), mutta vastaavasti 7 ja 28 vrk lujuuksien alenivat. Sementillä CEM III/A kiihdyttiin A3 kasvatti alkulujuudet jopa sementin CEM II/A tasolle, mutta 7 ja 28 vrk lujuuksissa jäätettiin alemmalle tasolle (kuva 8). Sementillä CEM III/B kiihdyttiin A3 lähes tuplasi alkulujuudet verrattuna kyseiseen sementtiin ilman kiihdytintä. Kiihdyttävästä vaikutuksesta huolimatta jäätettiin alkulujuuksissa alle sementin CEM II/B tason (kuva 9).

Betonin lämmönkehitys

Betonin lämmönkehitystä mitattiin samoin menetelmin kuin laastikokeissa. Sementillä CEM III/B lämmöntuotto korreloi kohtuulli-

sen hyvin puristuslujuustulosten kanssa. Sen sijaan CEM III/A sementillä korrelaatio oli osin epälooginen. Esimerkiksi sementti CEM III/A kiihdyttimellä A3 tuotti vähemmän lämpöä kuin CEM III/A ilman kiihdytintä. Lujuuksien kehitys oli kuitenkin nopeampaa kiihdytintä käytettäessä. Siten tulosten perusteella voidaan arvioida, että kiihdyttimien vaikutukset eivät ainakaan osin näy suoraan lämmönkehityksessä.

Johtopäätökset

Kiihdyttimien avulla voidaan kiihdyttää sementtien CEM III/A ja CEM III/B hydrataatiota, mutta maksimilämpötiloihin kiihdyttimillä ei ole juurikaan vaikutusta. Tutkituista kiihdyttimistä yksi vaikutti selkeästi alkulujuuksiin kuitenkin samalla heikentäen 7 ja 28 vrk lujuuksia. Kyseisellä kiihdyttimellä CEM III/A sementti pystyttiin kiihdyttämään vastaavalle alkulujuustasolle kuin CEM II/B.

Betonin lämmöntuotto korreloi lujuuksien kehityksen kanssa kuitenkin muutamin poikkeuksin. Lämmöntuoton ja lujuuksien kehityksen riippuvuudet edellyttävät lisätutkimuksia, sillä lämmöntuoton mittaaminen on yksiker-
taisin työkalu lujuuksien kehityksen arviointiin.

Abstract

Ioanna Orfanoudaki made her master's thesis on the topic: Effects of accelerators on early strength development of low-carbon concretes. In the scope of the thesis work, the concrete with Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) was studied. The main objective of the reported research was to improve the early strength development of concrete with different content of slag by adding accelerators available at the market.

Three accelerators and five types of cement with varying content of slag were used. The tests were performed with mortars and con-

crete specimens. The mortar samples were placed into insulated boxes and their temperature development was measured for 2 days to estimate the effect of accelerators and their dosage on the hydration heat. The measured temperature was analysed as a rate of temperature rise as a function of maturity.

Then concrete samples with the defined dosage of accelerators were cast to measure development of the compressive strength and temperature at the early age of hydration. The evolution of temperature was measured for 5 days using the same insulated boxes as for the mortar. Then the total heat development

of concrete samples was analyzed. The compressive strength tests were done at 16, 24, 39 and 48 hours for the early-strength and at 7 and 28 days for the long-term strength development.

The outcomes showed that one of the accelerators significantly improved the compressive strength of concretes with high content of slag within first 2 days but decreased the strength at 7 and 28 days. The observed drop of compressive strength at the later ages can still be within the acceptable design limits, as concretes with slag acquire higher strength at 28 days compared to concretes made with CEM I or CEM II cement types.