



## Betonimassan sisäiset jälkihoitoaineet

Tilaaaja: Tiehallinto  
Valtion ydinjätehuoltorahasto  
Ratahallintokeskus  
Helsingin kaupungin rakennusvirasto  
Espoon kaupunki  
Tampereen kaupunki  
Turun kaupunki



---

<b>Tilaaaja</b>	<b>Tiehallinto, Siltatekniikka</b> <b>PL 33</b> <b>00521 HELSINKI</b>  <b>Valtion ydinjätehuoltorahasto</b> <b>Kauppa- ja teollisuusministeriö</b> <b>PL 32</b> <b>00023 VALTIONEUVOSTO</b>  <b>Ratahallintokeskus</b> <b>PL 185</b> <b>00101 HELSINKI</b>  <b>Helsingin kaupungin rakennusvirasto</b> <b>PL 1515</b> <b>00099 HELSINGIN KAUPUNKI</b>  <b>Espoon kaupunki, Tekninen keskus</b> <b>PL 41</b> <b>02070 ESPOO</b>  <b>Tampereen kaupunki, katu- ja vihertuotanto</b> <b>Viinikankatu 42</b> <b>33800 TAMPERE</b>  <b>Turun kaupunki</b> <b>Ympäristö- ja kaavoitusvirasto / Suunnittelutoimisto</b> <b>Linnankatu 31</b> <b>20100 TURKU</b>
<b>Tilaus</b>	Sop.nro OT9500-4/178/2000/20/85, 9.2.2006, TIEH Päätös ad 7/2004/SAF, 10.3.2006 / VYR Tilausnro 266011, 10.2.2006 / RHK Tilausnumero 4580013397/27.2.2006 / Hki Dnro 998/241/2006, 20.2.2006 / Espoo Päätöspöytäkirja Ote Dno YPA: 1019/07/2006, 1.2.2006 / Tre Päätöspöytäkirja 15.3.2006, 3892-2006 (065) / Turku
<b>Yhteyshenkilö VTT:ssä</b>	<b>VTT</b> Tutkija Liisa Salparanta Lämpömiehenkuja 2, Espoo PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 6913 Faksi 020 722 7054 Sähköposti liisa.salparanta@vtt.fi

---

**Tehtävä** **Betonimassan sisäiset jälkihoitoaineet**

---

---

## TIIVISTELMÄ

Betonin sisäinen jälkihoitoaine on betonimassaan valmistusvaiheessa lisättävä aine, joka toimii massan sisäisenä vesivarastona, estää veden haihtumista tai laskee veden pintajännitystä. Suomen markkinoilla olevat kaupalliset tuotteet perustuvat veden pintajännityksen laskuun ja veden haihtumisen estämiseen.

Sisäisiä jälkihoitoaineita on Suomessa käytetty ainakin lattiavaluissa ja ruiskubetonoinnissa. Lattiavalujen osalta kokemukset ovat pääosin myönteisiä. Ruiskubetonoinnissa kokeillulla sisäisellä jälkihoitoaineella ei todettu vaikutusta veden haihtumiseen tai kutistumiseen. Norjan Vegvesen sallii massan sisäisen jälkihoitoaineen käytön kallioseiniin ruiskubetonoinnissa. Jälkihoitoaineesta ei ole todettu olevan hyötyä, mutta ei haitakaan ja koska työntekijät haluavat käyttää sitä, Vegvesen sallii sen käytön, koska muuten jälkihoito laiminlyödään. Yhdysvalloissa sisäisen jälkihoitoaineen käyttö lattiavaluissa on pienentänyt kutistumaa merkittävästi.

Käyttökokemusten ja kirjallisuuden perusteella:

- Joidenkin sisäisten jälkihoitoaineiden käytöllä on haitallisia sivuvaikutuksia kuten lujuuden lasku, lujuudenkehityksen hidastuminen tai huokosrakenteen epästabilisoituminen. Aineita käytettäessä sivuvaikutukset tulee ottaa huomioon tai kompensoida.
- Pakkasrasitukselle altistuvissa rakenteissa ei tule käyttää sisäistä jälkihoitoainetta, joka laskee veden pintajännitystä, ellei voida luotettavasti todeta, että huokosrakenne esimerkiksi lisähuokostusaineen annostusta lisäämällä saadaan pakkasenkestävyyden kannalta hyväksi.
- Sisäistä jälkihoitoainetta käytettäessä on suositeltavaa käyttää lisäksi vesijälkihoitoa tai jälkihoitoainetta.
- Jälkihoito pelkästään sisäisen jälkihoitoaineen avulla ei ole suositeltavaa, mutta mikäli muita vaihtoehtoja ei ole, sitä voidaan käyttää.
- Betonin sisäisellä jälkihoitoaineella ei ole vaikutusta plastisen painuman muodostumiseen.

---

## SUMMARY

An internal curing agent is a chemical added to a concrete mixture that either acts as an internal water supply, prevents water evaporation or reduces the surface tension of water. Commercial products on the Finnish market are based on either reducing surface tension or evaporation.

Internal curing agents have been used in Finland at least for casting floors and shotcreting. The experiences in casting floors have been mostly positive. The internal curing agent used for shotcreting did not show any effects to the water evaporation or shrinkage. Vegvesen in Norway accepts using internal curing agent in shotcreting of rock walls. Using an internal curing agent has not shown any benefit but also no harm. Because the workers like to use the curing agent, Vegvesen allows the usage and otherwise any forms of curing would be neglected. In the USA, using internal curing agents has considerably diminished shrinkage in concrete floors.

On the basis of literature and practical experience:

- Some internal curing agents have negative effects, such as strength loss, retardation of strength development or instabilisation of the pore structure. The side effects must be taken into account or compensated.
- Internal curing agents that diminish surface tension of water must not be used in structures exposed to frost unless it can be verified that the pore structure will turn good from freeze thaw point of view e.g. by increasing the air-entraining agent dosage.
- It is recommended to use water curing or curing agents in addition to internal curing.
- It is not recommended to use internal curing only but it can be used if there is no alternative.
- Internal curing agents have no effect on plastic settlement.

---

## SAMMANDRAG

Betongens inre härdningsmedel är medel som tillsätts i betongmassan under tillverkningen och som fungerar som inre vattenreservoar, hindrar vattenavdunstningen eller reducerar ytspänningen av vatten. Kommersiella produkter på den finska marknaden baserar sig på reduktion av ytspänningen av vatten eller på förhindrande av avdunstningen.

Inre härdningsmedel har använts i Finland åtminstone i golv gjutningar och sprutbetonering. Erfarenheterna i golv gjutningar har varit positiva. I sprutbetoneringen observerades det ingen effekt på vattenavdunstning eller krympning. Norges Vegvesen tillåter användning av inre härdningsmedel i sprutbetoneringen av klippväggar. Någon nytta av det inre härdningsmedlet har inte kunnat konstateras men inte någon nackdel heller. Eftersom arbetarna vill använda det och härdningen annars underläts tillåter Norges Vegvesen användningen av det inre efterhärdningsmedlet. I USA har användningen av inre härdningsmedel märkvärdigt reducerat krympningen.

På grund av litteratur och erfarenheter i praktiken:

- En del inre härdningsmedel har negativa biverkningar såsom reduktion av hållfastheten, fördröjning av hållfasthetsökningen eller instabilisering av porstruktur. Biverkningarna bör iakttas eller kompenseras.
- I strukturer som påverkas av frostangrepp bör inte inre härdningsmedel som reducerar vattenytspänningen användas om man inte kan pålitligt konstatera att porstrukturen med hjälp av till exempel ökad dosering av luftporbildaren fås bra med tanke på frostbeständighet.
- I samband med användningen av inre härdningsmedel rekommenderas också vattenhärdning eller membranskydd.
- Det rekommenderas att inte enbart inre härdningsmedel används, men om det inte finns några andra möjligheter, kan det användas.
- Inre härdningsmedel har ingen inverkan på plastisk sättning.

---

## Betonimassan sisäiset jälkihoitoaineet

TIIVISTELMÄ .....	2
SUMMARY .....	3
SAMMANDRAG .....	4
1 betonin sisäisten jälkihoitoaineiden toimintaperiaate.....	6
2 Kevytkiviaines, johon on absorboitunut vettä .....	7
2.1 Vaikutus betonin ominaisuuksiin .....	7
2.1.1 Massa .....	7
2.1.2 Nuori betoni .....	7
2.1.3 Kovettunut betoni .....	8
2.2 Käytännön kokemuksia .....	9
3 Vettä imevät polymeerit – SAP .....	9
3.1 Vaikutus betonin ominaisuuksiin .....	10
3.1.1 Massa .....	10
3.1.2 Nuori betoni .....	10
3.1.3 Kovettunut betoni .....	11
3.2 Menetelmän käyttöönotto .....	12
4 Veden haihtumisen estäjät .....	12
5 Mikrokselointi.....	12
6 Veden pintajännityksen alentajat.....	12
7 Kaupalliset tuotteet.....	12
7.1 Kaupallisten tuotteiden käyttökokeuksia ja tutkimustuloksia .....	13
7.1.1 Rheocure 736 .....	13
7.1.2 Meyco TCC 735.....	14
7.1.3 Eclipse.....	15
7.1.4 Eclipse Plus.....	16
7.1.5 Eclipse Floor .....	17
7.1.6 Mapecure CCI-2000.....	18
8 Johtopäätökset .....	19
9 Yhteenveto.....	19
KIRJALLISUUSVIITTEET .....	22

## 1 BETONIN SISÄISTEN JÄLKIHOITOAINEIDEN TOIMINTAPERIAATE

Sisäinen jälkihoito voi olla massaan lisättävä jälkihoitoaine, johon on varastoitunut hitaasti vapautuvaa vettä, tai joka estää tai hidastaa veden poistumisen massasta /9/.

Osa kaupallisista sisäisistä jälkihoitoaineista laskee veden pintajännitystä ja siten pienentää autogeenista kutistumaa /5/. Osa kaupallisista sisäisistä jälkihoitoaineista perustuu veden haihtumisen estämiseen /13, 18/.

Massan sisäisessä vesijälkihoitoaineessa, joka toimii massan sisäisenä vesivarastona, joka luovuttaa vettä, kun massa sitoutumiskuiuu, vesi voi teoriassa olla:

- vapaata vettä, joka on esimerkiksi varastoituneena kennoihin tai kiviaineksen huokosiin, joissa se pysyy pääasiassa kapillaarivoimien vaikutuksesta, tai
- fysikaalisesti sitoutunutta vettä esimerkiksi polymeeriverkon atomien välitiloissa tai
- fysikaalisesti pastaan varastoitunutta vettä esim. kapillaarihuokosissa tai
- kemiallisesti esim. ettringiittiin sitoutunutta vettä /6/.

Kemiallisesti sitoutunutta vettä ei ole raportoitu käytetyn jälkihoitoon /6/.

Vesivarasto voi muodostua ennen tai jälkeen betonin osa-aineiden yhdistämisen. Mikäli betonimassaan lisätään partikkeleihin kapseloitua vettä, niiden on kestettävä ehjänä sekoitusprosessi. Jos vesivarasto muodostuu sekoituksen alkamisen jälkeen, sen on muodostuttava ennen sitoutumista ja sen on oltava saatavissa sementin hydrataatiota varten. Paitsi, että veden tulee olla vapaasti saatavissa, sen tulee olla jakaantunut massaan tasaisesti /6/. Vesivarastoina käytetään esim. vedellä kyllästettyä kevytkiviainesta ja vesitäytteisiä vettä imeviä hienojakoisia polymeerejä (superabsorbent polymer, SAP). Kevytkiviainesta käytetään betonin kiviaineksena tai seosaineena ja vettä imeviä polymeerejä käytetään lisäaineena /1, 2/.

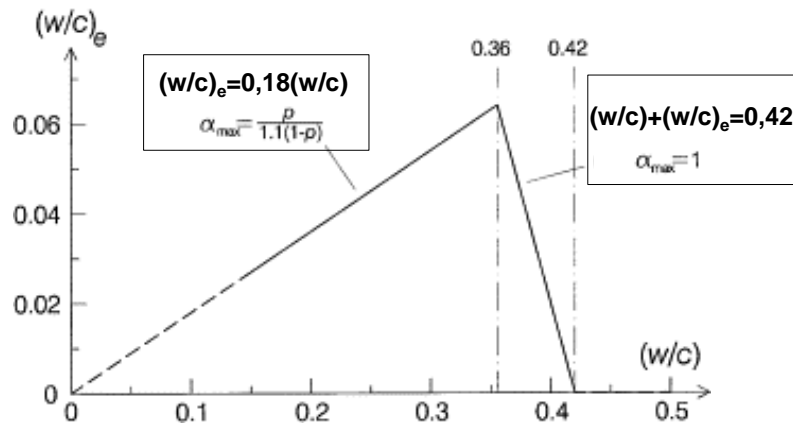
Veden haihtumisen estämiseen käytetään mm. vesiliukoisia polymeerejä. /11/

Kovlerin ja Zhutovskyn mukaan sisäinen jälkihoito, jossa massassa on sisäisiä vesivarastoja, on tehokkain tapa estää autogeeninen kutistuma, koska se estää itsekuivumisen, josta autogeeninen kutistuma aiheutuu /9/.

Tanskalainen Aalborgissa sijaitseva Densit –niminen yritys on tehnyt patenttihakemuksen aiheesta *water-entrained cement-based materials* /2/.

Bentz D.P. ym:n mukaan korkean vesisementtisuhteen betoni kannattaa mieluummin jälkihoitaa perinteisesti veden tai märkien peitteiden kuin sisäisen jälkihoidon avulla. Betonista riippumatta, veden haihtuminen pinnasta kannattaa estää, vaikka käytettäisiin sisäistä vesijälkihoitoa, jotta betonin pintakerroksesta muodostuu tiivis /8/.

Kuva 1 esittää Powersin teoriaan perustuvan betonin ilman sitoutumiskuiyumista tapahtuvaan täydelliseen hydratoitumiseen tarvittavan vähimmäisvesimäärälisäyksen eri vesisideainesuhteilla. Kuvassa  $(w/c)$  = vesisideainesuhde, kg/kg,  $(w/c)_e$  = lisättävän vesimäärän suhde sementtimäärään, kg/kg,  $p$  = massan alkuperäinen huokoisuus eli alkuperäinen kapillaariveden tilavuus,  $\alpha_{max}$  = hydratoitumisasteen maksimi /2/.



Kuva 1. Massaan lisättävä minimivesimäärä, jotta betoni hydratoituu täydellisesti eikä siinä tapahdu sitoutumiskuivumista /2/.

Sementtipastan maksimihydrataatioaste ja kokonaishuokoisuus ovat samat riippumatta siitä onko vesi lisätty massaan sellaisenaan vai esimerkiksi vedellä kyllästetyn kevytkiviaineksen tai SAP:n yhteydessä /2/.

## 2 KEVYTKIVIAINES, JOHON ON ABSOBOITUNUT VETTÄ

Sisäisen jälkihoidon kannalta on edullista, että kevytkiviaineksen huokosrakenne on avointa. Jälkihoito on sitä tehokkaampaa mitä huokoisempaa kiviaines on /1/.

Hohkakiven huokosrakenne vaihtelee täysin avoimesta täysin suljettuun. Hohkakiven absorptio on yleensä 0,27 kg/kg:n luokkaa /6/.

Perliittiä käytetään betonin kiviaineksena. Se voidaan kuumentamalla käsitellä erittäin huokoiseksi. Korkean huokoisuuden ansiosta se on heikkoa ja hajoaa helposti betonin sekoituksen aikana. Sen vedenimukyky voi olla 4,5 kg/kg /6/.

Suurin osa kevytsoran huokosista on suurempia kuin 100  $\mu\text{m}$ , joten käytännössä kaikki kevytsoran sisältämä vesi on vapaata. Kevytsoran vedenimukyky voi olla esimerkiksi n. 0,17 kg/kg /6/.

### 2.1 Vaikutus betonin ominaisuuksiin

#### 2.1.1 Massa

Jensenin ja Hansenin mukaan kevytkiviaineksen käyttö vaikeuttaa betonin notkeuden hallintaa /2/.

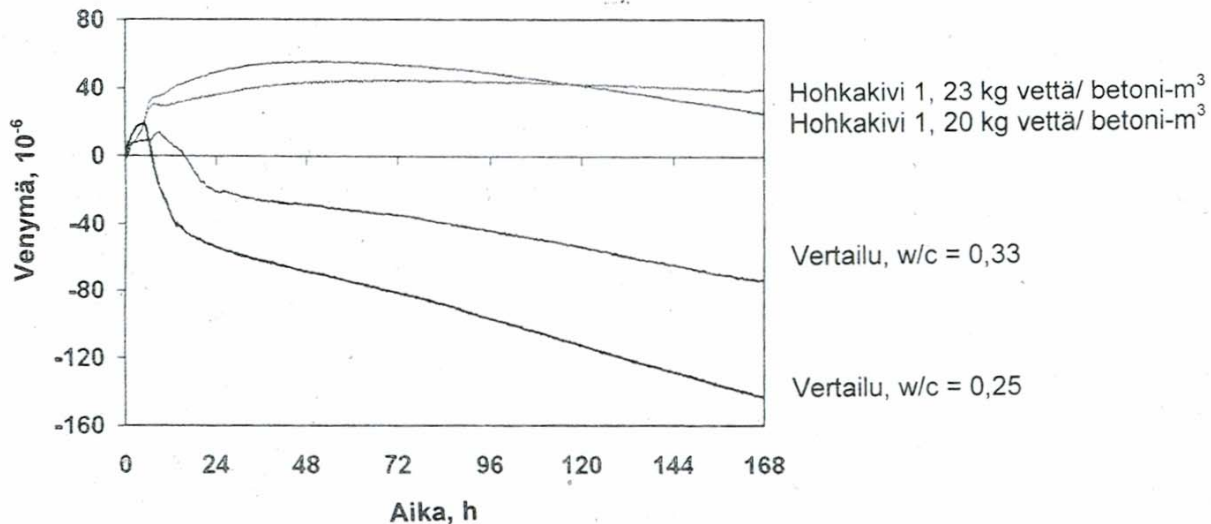
#### 2.1.2 Nuori betoni

### Kutistuma

Kutistumisen sijasta betoni paisuu varhaisvaiheessa, kun kiviaineksena käytetään tavanomaisen kiviaineen sijasta märkää kevytkiviainesta. Tämä johtuu sementtipastan tilavuuden kasvusta, kun kovettuminen tapahtuu sisäisen jälkihoidon ansiosta vedellä kyllästettynä. Varhaisvaiheen tilavuuden kasvu riippuu voimakkaasti kevytkiviaineksen kyllästysasteesta ja jonkin verran myös raekoosta. Mitä pienempi raekoko on, sitä voimakkaampaa on betonin varhaisvaiheen tilavuuden kasvu /1/.



Kovler ym. käyttivät tutkimuslaasteissaan vedellä kyllästettyä hohkakiveä. Venymämittaukset aloitettiin välittömästi valun jälkeen ja koekappaleet oli pakattu siten, että kosteus ei päässyt siirtymään ympäristöstä koekappaleisiin eikä koekappaleista ympäristöön. Hohkakivipitoiset laastit paisuivat, kun vertailulaastit kutistuivat. Esimerkkimittaustuloksia esitetään kuvassa 2 /4/.



Kuva 2. Tyypillisiä vedellä kyllästettyä hohkakiveä käyttäen valmistettujen laastien venymämittaustuloksia. Mittaukset on aloitettu välittömästi valun jälkeen. Kosteuden siirtyminen koelaastiin/sta on estetty /4/.

Kovlerin ym tutkimustulosten perusteella alle 30 kg/betoni-m<sup>3</sup>:n lisäys kevytkiviainesta, jonka huokoisuus on n. 50 % ja raekoko muutaman millimetrin, voi eliminoida autogeenisen kutistuman /4/.

Bentur ym:n kokeessa vedelläkyllästetty kevytkiviaines esti kutistuman ja aiheutti jopa paisumista /10/.

### 2.1.3 Kovettunut betoni

#### Puristuslujuus

Jensenin ja Hansenin mukaan kevytkiviaineksen käyttö laskee huomattavasti puristuslujuutta /2/. Kovler ym:n kokeessa hohkakiven käyttö laski laastien 28 vrk:n puristuslujuutta enimmillään n. 10 %. Vaikutus puristuslujuuteen oli sitä suurempi mitä suurempi oli laastin vesisideainesusuhde (w/c) ja hohkakiven huokoisuus /4/. Bentur ym:n kokeessa puristuslujuus laski vain 3 % /10/. Geiker ym:n kokeessa vedelläkyllästetty kevytsora, 0 – 4 mm, sisäisenä jälkihoitoaineena paransi 28 vrk:n puristuslujuutta n. 20 % /7/.

Luran tutkimuksessa, jossa käytettiin kevytsoraa, jonka vedelläkyllästysaste oli n. 30 – 98 % ja maksimi-raekoko vaihteli välillä 4 – 16 mm, kevytsorabetonien lujuus kehittyi merkittävästi hitaammin kuin vertailubetonin, mutta 28 vrk:n puristuslujuus jäi vain hieman alle vertailubetonin puristuslujuuden. Mitä karkeampaa kevytsora oli, sitä korkeampi puristuslujuus oli /1/. Luran mukaan kevytsoran vaikutuksen vähäisyys puristuslujuuteen johtuu monesta seikasta: kevytsoran lujuudesta, kevytsoran kimmokertoimesta, betonin kosteudesta, kevytsorarakeiden ja sementtikiven välisen rajapinnan paremmuudesta tavanomaiseen kiviainekseen verrattuna, sisäisestä jälkihoitosta sekä sitoutumiskuivumiskutistumisen aiheuttamien sisäisten jännitysten vähenemisestä /1/.

## **Kimmokerroin**

Kevytsoran käyttö pienentää huomattavasti betonin kimmokerrointa, koska kiviaines on jäykempää kuin kevytsora /1, 2/. Tutkimuksessa, jossa käytettiin kevytsoraa, jonka vedellä kyllästysaste oli n. 30 – 98 %, kevytsorabetonien kimmokerroin oli n. 40 % alhaisempi kuin vertailubetonin /2/.

## **Säilyvyys**

Missään lähteessä ei ollut mainintaa märän kevytkiviaineksen vaikutuksesta betonin säilyvyyteen.

## **2.2 Käytännön kokemuksia**

Kyllästettyä kevytkiviainesta on käytetty laajasti betonisten porauslauttojen valmistuksessa parantamaan niiden kelluvuutta /16/.

## **3 VETTÄ IMEVÄT POLYMEERIT – SAP**

Hienojakoisen vettä imevän polymeerin tarkoitus on muodostaa massaan vesitäyteisiä makrohuokosia. Tavoite on, että polymeerien muodostama huokosrakenne betonissa on optimaalinen sisäisen kuivumisen estämiseksi /2/.

Polymeerit lisätään massaan kuivana jauheena. Jauheen rakeisuuden ja raemuodon avulla voidaan säädellä betonin huokoskokojakaumaa ja huokosten muotoa. SAP:lla on suuri vedenimukyky ja ne varastoivat veden liukenematta. Vesi pysyy myös paineen alaisena, mutta kuitenkin poistuu niin helposti, että se on kuin vapaata vettä. SAP:t voivat imeä vettä enimmillään n. 5000 kertaa oman painonsa verran. Laimeissa suolaliuksissa kaupallisten SAP-tuotteiden imukyky on n. 50 kertaa oma paino ja väkevyissä ioniliuksissa kuten sementtipastan huokosliuksissa imukyky voi olla vajaa 20 kertaa oma paino /2, 6/.

Kaupallisesti merkittävimmät SAP:t ovat kovalenttisesti ristosilloittuneet polyakrylaatit ja kopolymeroidut polyakryyliamidit/polyakrylaatit /2/.

SAP:n suurimolekyylinen matriisi on polyelektrolyytti - polymeeri, jossa on ionisoituvia ryhmiä, jotka voivat hajota liuokseen jättäen yhdenmerkkiset ionit sitoutuneeksi ketjuun ja vastakkaismerkkiset ionit liuokseen. Seurauksena on korkea ioinipitoisuus SAP:n sisässä, josta syystä vesi tunkeutuu SAP:n sisään osmoosin vaikutuksesta. Toinen paisumista aiheuttava tekijä ovat polymeeriketjun hydrofiilisten ryhmien solvatoituminen vedessä. (Vesimolekyylit ympäröivät hydrofiiliset ryhmät siten, että vesimolekyylien negatiiviset poolit ympäröivät positiivista varausta ja positiiviset poolit negatiivista varausta.) Vapaa kimmoenergia vastustaa paisumista /2/.

Vesiliuoksen suolapitoisuus on tärkeä SAP:n paisumiselle. Kun ioniväkevyys SAP:n ulkopuolella kasvaa, osmoottinen paine geelin sisällä laskee ja SAP kutistuu /2/.

Mitä suurempi SAP:n ristosilloittumistaajuus on, sitä suurempi paisuneen geelin kimmokerroin on ja sitä pienempi sen paisumiskyky on. Yleensä geelin mekaaniset ominaisuudet ovat sitä heikommat mitä suurempi geelin vesipitoisuus on /2/.

Partikkelikoolla on optimi, jolloin SAP:n autogeenista kutistumaa pienentävä vaikutus on suurimmillaan. Jos partikkelit ovat liian suuria, saattaa olla, että ne eivät ehdi imeä itseensä riittävästi vettä betonin

valmistuksen aikana. Jos partikkelit ovat liian pieniä, ne saattavat täyttyä hydrataatiotuotteista. Optimi-partikkelikoko on n. 100  $\mu\text{m}$  paisuneena. Jotta sisäinen jälkihoito toimisi joka kohdassa sementtipastassa, paisuneena 100  $\mu\text{m}$  kokoisten SAP-partikkeleiden keskinäinen välimatka pastassa saa olla korkeintaan n. 400  $\mu\text{m}$  /2, 3/.

### 3.1 Vaikutus betonin ominaisuuksiin

#### 3.1.1 Massa

##### Sitoutumisaika

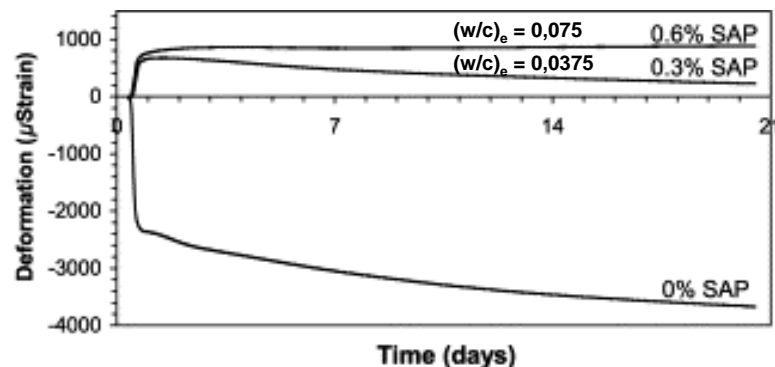
SAP:sta liukenevat aineet saattavat vaikuttaa sitoutumisaikaan joko kiihdyttävästi tai hidastavasti. Jensenin ja Hansenin tutkimuksessa vaikutus oli vähemmän kuin 1 h /3/.

#### 3.1.2 Nuori betoni

##### Kutistuminen

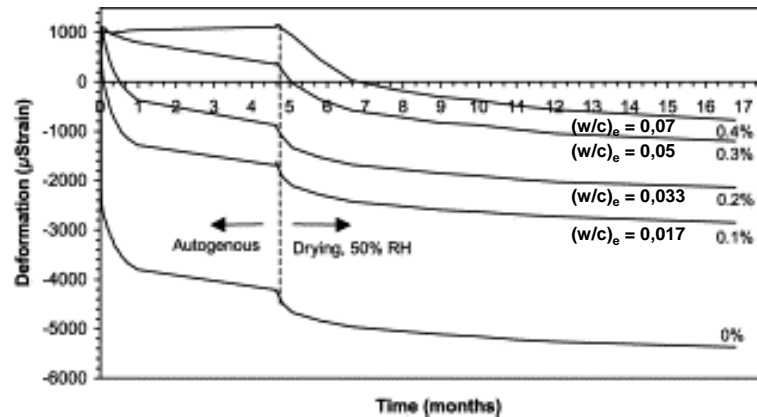
Jensen ja Hansen tekivät laboratoriokokeen, jossa naftaleenipohjaista notkistinta sisältävä silikapitoinen laasti valmistettiin SAP-lisäyksellä. Massan vesisementtisuhte (w/c) oli 0,30, kun silikaa ei oteta huomioon, ja kiviaineksen tilavuusosuus oli 60 %. Kokeessa käytettiin kahdenlaista kovalenttisesti ristisilloittunutta akryyliamidi/akryylihapo kopolymeeri SAP:a: (1) A-tyyppi oli suspensiopolymeroitu ja sen pallomaisten partikkelien koko oli kuivana keskimäärin 200  $\mu\text{m}$ , (2) B-tyyppi oli liuospolymeroitu ja sen murskattujen partikkelien koko oli kuivana 125 - 250  $\mu\text{m}$ . SAP:t kyllästettiin vedellä eri asteisiin /3/.

Koelaasteilla tehtyjen tutkimusten ajaksi koekappaleet oli pakattu siten, että kosteus ei päässyt siirtymään ympäristöstä koekappaleisiin eikä koekappaleista ympäristöön. A-tyypin SAP-lisäys muutti sitoutumisen jälkeisen kutistuman paisumaksi, kuva 3 /3/.



Kuva 3. Eri määriä suspensiopolymeroitua SAP:a, jonka pallomiaset partikkelit olivat kuivana kooltaan keskimäärin 200  $\mu\text{m}$ , sisältävien pastojen autogeeninen tilavuuden muutos. Perusmassan w/c = 0,30. Kosteuden siirtyminen koelaastiin/sta oli estetty /3/.

Koekappaleita säilytettiin tiiviissä pakkauksissa n. 4,5 kk:n ikäisiksi, jonka jälkeen niitä säilytettiin RH 50 %:ssa. Muodonmuutosta mitattiin n. 1,5 v:n ikään asti. SAP-laastien kutistuma oli hieman suurempi kuin vertailulaastin, kun kosteus pääsi poistumaan massasta, mutta kokonaiskutistuma jäi huomattavasti pienemmäksi kuin vertailulaastin eivätkä SAP-laastit halkeilleet. Laastien, joihin on lisätty B-tyyppistä SAP:a, kutistumamittaustulokset esitetään kuvassa 4 /3/.



Kuva 4. Eri määriä liuospolymeroitua SAP:a, jonka murskattujen partikkelien koko oli 125 – 250  $\mu\text{m}$ , sisältävien pastojen muodonmuutos. Perusmassan  $w/c = 0,30$  /3/.

### 3.1.3 Kovettunut betoni

SAP-lisäys vaikuttaa vähiten betonin lujuuteen, imukykyyn ja läpäisevyyteen, kun polymeerijauheen partikkelit ovat pallon muotoisia /2/.

### Puristuslujuus

SAP:n avulla betoniin lisätään pyöreitä makrohuokosia, jotka pienentävät lujuutta vähemmän kuin samaa tilavuusosuutta vastaavat epäsäännöllisen muotoiset pienemmät huokokset /2/.

SAP-lisäys vaikuttaa lujuuteen toisaalta heikentävästi toisaalta parantavasti. Oikein annosteluna nämä vaikutukset kumoavat toisensa. Lujuuden heikennys johtuu ilmamäärän lisäämisestä ja parannus paremmasta jälkihoidosta /2/.

Geiker ym:n kokeessa SAP:n käyttö sisäisenä jälkihoidoaineena paransi 28 vrk:n puristuslujuutta n. 20 % /7/.

Jensenin ja Hansenin tutkimuksessa puristuslujuuskoekappaleita säilytettiin valun jälkeisen ensimmäisen vuorokauden ajan tiiviisti pakattuna ja sen jälkeen 28 vrk:n ikäisiksi vedessä. 0,6 % SAP:a sisältävien kappaleiden puristuslujuus oli 19 % alhaisempi kuin vertailukappaleiden. Selitysmalleja on kaksi: (1) Vesisäilytyksen ansiosta molempien laastien hydrataatioaste on ollut sama, mutta SAP-laastin huokoisuus on ollut SAP:n ansiosta korkeampi ja (2) laastin läpäisevyys ei ole ollut riittävä, että vesi olisi päässyt tunkeutumaan syvälle kappaleisiin, joten SAP-kappaleet ovat olleet testattaessa märempiä. Jensenin ja Hansenin mukaan SAP:n vaikutus puristuslujuuteen on selvittämättä /3/.

### Säilyvyys

SAP:n avulla betoniin lisätään tunnetun muotoisia ja kokoisia, toisistaan irrallaan olevia ilmahuokosia ja vähennetään kapillaarihuokosia. Tämä vähentää betonin läpäisevyyttä ja imukykyä ja siten parantaa säilyvyyttä /2/.

### 3.2 Menetelmän käyttöönotto

Moni asia on selvitettävä ennen menetelmän soveltamista käytäntöön. Mekaaniset ominaisuudet kuten puristuslujuus ja halkeilu pitkällä aikavälillä sekä säilyvyys, kuten esim. pakkasenkestävyys ja kloridien tunkeutuminen ovat tutkimatta /3/.

Vaikutus sitoutumisaikaan ja työstettävyyteen sekä SAP-partikkeleiden erottuminen ja rikkoutuminen massan valmistuksen yhteydessä vaativat myös lisäselvityksiä /3/.

## 4 VEDEN HAIHTUMISEN ESTÄJÄT

Dhir R. K. ym.:n laboratoriokokeessa veden haihtumista estävä sisäinen jälkihoitoaine (vesiliukoinen polyetyleeniglykoli) paransi laastin puristuslujuutta ja pienensi läpäisevyyttä. Suurella annostuksella kyseinen lisäaine heikensi betonin puristuslujuutta, mutta pienensi kuitenkin läpäisevyyttä. Dhir ym. päättelevät ilmiön johtuvan siitä, että lisäaine muuttaa CSH-geelin muotoa /11/.

## 5 MIKROKAPSELOINTI

Mikrokapseloinnissa vesi on pienessä kapselissa, jonka seinämän läpi vesi diffundoituu tai vapautuu kapselin rikkoutuessa, liuetessa tai sulaessa. Veden mikrokapselointia on käytetty nopeasti kovettuvissa injektointilaasteissa /6/.

## 6 VEDEN PINTAJÄNNITYKSEN ALENTAJAT

Käytännön kohteissa betonin säröilyä on onnistuttu vähentämään käyttämällä kaupallisia veden pintajännityksen alentajia /28, 29, 30, 31, 32, 34, 33/.

## 7 KAUPALLISET TUOTTEET

Kaupalliset tuotteet, joista löytyi tietoja esitetään taulukossa 1.

Kaupallisten tuotteiden tiedot perustuvat pääasiassa tuote-esitteisiin. Mapecure CCI-2000 -aineesta oli käytettävissä myös valmistajan toimittamia tutkimustuloksia. Eclipsestä oli käytettävissä myös maahan-tuojan toimittamia artikkeleita, joissa käyttäjät kertovat kokemuksistaan sekä yksi tieteellinen artikkeli, joka löytyi kirjallisuushaulla. Kaikkien edellä mainittujen artikkeleiden mukaan Eclipsen ja Eclipse Floorin käyttökokemukset ovat positiivisia. Meyco TCC 735 -sisäistä jälkihoitoainetta käytettiin Ruiskutettavat vesitiiviit komposiittirakenteet -tutkimuksessa, jonka loppuraporttiluonnos oli tämän kirjallisuusselvityksen käytössä.

Morin ym.:n mukaan pintajännitystä alentavia lisäaineita käytetään Kanadassa vähän, koska ne tekevät huokosrakenteesta epästabiliin. Morin ym.:n mukaan kyseisenlaisten lisäaineiden avulla on mahdollista valmistaa massaan erittäin pieniä ilmahuokosia, joilla on riittävä huokosjako /5/. Eclipsen valmistaja ilmoittaa tuote-esitteessään, että Eclipse Floor, joka laskee veden pintajännitystä, ei sovellu lisähuokostettaviin pakkasrasitukselle altistuviin betoneihin /17/. Eclipse Plus, joka myös perustuu veden pintajännityksen laskuun, kuitenkin valmistaja mukaan soveltuu lisähuokostettaviin pakkasrasitukselle altistuviin betoneihin /16/.

*Taulukko 1. Kaupallisia sisäisiä jälkihoitoaineita.*

Kauppanimi	Valmistaja	Maahantuojaja	Toimintaperiaate	Huomautuksia
Rheocure 736	Degussa	-	Polymeerit muodostavat vetysidoksia vesimolekyylien kanssa hidastaen veden haihtumista betonista /14/.	
Meyco TCC 735	Degussa	BASF Construction Chemicals Finland Oy		
Eclipse	Crace Construction Products, USA	Muottikolmio Oy	Alentaa veden pintajännitystä /15/.	
Eclipse Plus	Crace Construction Products, USA	Muottikolmio Oy	Alentaa veden pintajännitystä /16/.	Valmistajan ilmoituksen mukaan soveltuu pakkasenkestävyyttä edellyttäviin kohteisiin, joissa tarvitaan lisähuokostusta /16/
Eclipse Floor	Crace Construction Products, USA	Muottikolmio Oy	Alentaa veden pintajännitystä /17/.	Ei pakkasrasitukselle altistuviin rakenteisiin /17/
Mapecure CCI-2000	Rescon Mapei AS, Norja	Rescon Mapei Oy	Vähentää veden haihtumista /18/.	

## 7.1 Kaupallisten tuotteiden käyttökokemuksia ja tutkimustuloksia

Johan Silfwerbrandin mukaan sisäisiä jälkihoitoaineita on tutkittu sekä Suomessa että Ruotsissa. Tulokset ovat olleet vähemmän rohkaisevia /25/.

Norjan Vegvesenin kalliotunnelien ruiskubetonoinneissa on sallittua käyttää sisäisiä jälkihoitoaineita, mutta käytölle ei ole virallista hyväksyntää. Käyttö on sallittu, koska muussa tapauksessa jälkihoito laiminlyödään. Jälkihoidon laiminlyönnistä huolimatta ruiskubetonointi on onnistunut. Työntekijöiden mielestä sisäinen jälkihoito toimii tai siitä ei ole ainakaan todettu olevan haittaa. Muutama vuosi sitten Vegvesenin tavarantoimittaja teetti tutkimuslaitoksessa tutkimuksen jälkihoitoaineen toimivuudesta. Laboratorio ei kyennyt osoittamaan, että tuote toimisi. Vegvesenin kohteissa on käytetty Degussan ja Resconin valmistamia tuotteita /26/.

Ruotsin Banverketin tunnelikohteiden ruiskubetonoinnissa on käytetty sisäisiä jälkihoitoaineita /27/.

Tuotekohtaiset käyttökokemukset esitetään tuotekohtaisissa luvuissa 7.1.1 – 7.1.6.

### 7.1.1 Rheocure 736

Rheocure 736:a ei tuoda Suomeen.

---

## Toimitaperiaate

Valmistajan mukaan jälkihoitovaikutus perustuu veden haihtumisen ehkäisyyn /12, 13/. Polymeerit muodostavat vetysidoksia vesimolekyylien kanssa hidastaen veden haihtumista betonista /14/.

## Soveltuvuus

Valmistajan mukaan Rheocure 736 soveltuu betonille, ruiskubetonille ja laastille /12, 13/.

## Vaikutus tuoreeseen ja nuoreen betoniin ja laastiin

Valmistajan mukaan Rheocure 736 /12, 13/:

- parantaa kaikkien sementtityyppien hydratoitumista,
- parantaa työstettävyyttä ja pumpattavuutta,
- pienentää plastista kutistumaa ja
- pienentää kuivumiskutistumaa.

## Vaikutus kovettuneeseen betoniin ja laastiin

Valmistajan mukaan Rheocure 736 /12, 13/:

- pienentää läpäisevyyttä,
- parantaa kulutuskestävyyttä,
- parantaa taivutuslujuutta,
- parantaa tartuntaa alustaan ja
- ei heikennä päälle valettavan betonin tai laastin tai ruiskubetonin tartuntaa.

## Käyttö

Nopeasti kuivattavassa ympäristössä valmistaja suosittelee lisäksi haihtumista estävän jälkihoitoaineen käyttöä /13/.

### 7.1.2 Meyco TCC 735

## Soveltuvuus

Valmistajan mukaan Meyco TCC 735 soveltuu /34/:

- märkämenetelmällä tehtäviin ruiskubetonointeihin,
- valubetoniin,
- pumpattavaan betoniin,
- alhaisen sementtimäärän betoniin,
- betoniin, jonka kiviaineksen hienoainespitoisuus on alhainen sekä
- korkeissa lämpötiloissa tehtäviin betonointiin.

## Vaikutus tuoreeseen ja nuoreen betoniin ja laastiin

Valmistajan mukaan Meyco TCC 735 /34/:

- tehostaa sementin hydrataatiota,
- vähentää kuivumiskutistumasta johtuvaa halkeilua ja
- parantaa betonin työstettävyyttä ja pumpattavuutta,

Meyco TCC 735 sisäistä jälkihoitoainetta käytettiin ruiskubetonitutkimuksessa, jossa tehtiin sekä laboratorio- että kenttätutkimuksia. Vedenpidätyskykyä arvioitiin peittämällä koebetoni muovilla ja seuraamalla veden tiivistymistä muovin alapintaan. Jälkihoitoaineen ei todettu vaikuttavan veden haihtumiseen /23/.

### **Käyttö**

Valmistajan mukaan Meyco TCC 735 soveltuu kaikkien sementtilaatujen, mikrosilikan ja pozzolaanien kanssa. Meyco TCC 735 ei sovellu yhteen sulfonoitujen naftaliinien kanssa /34/.

### **Vaikutus kovettuneeseen betoniin ja laastiin**

Valmistajan mukaan Meyco TCC 735 /34/:

- parantaa ruiskubetonin tartuntaa alustaansa,
- parantaa lopputuotteen tiheyttä,
- parantaa betonin lujuuksia ja
- alentaa ruiskubetonin vedenläpäisevyyttä.

Edellä mainitussa ruiskubetonitutkimuksessa koebetoniin sārōilyä tutkittiin mikrorakenneanalyysin. Jälkihoitoaineen ei todettu vaikuttavan betonin sārōilyyn. Tutkimuksessa päädyttiin suositteluun vesisumusta ruiskubetonin jälkihoitomenetelmästä /23/.

#### *7.1.3 Eclipse*

### **Toimitaperiaate**

Eclipse on propyleeniglykolijohdannainen, joka laskee veden pintajännitystä ja siten pienentää kutistumaa /22/.

### **Soveltuvuus**

Valmistajan mukaan Eclipse soveltuu ulkobetonirakenteisiin. Esitteessä kehoitetaan ottamaan yhteyttä valmistajan edustajaan, jos tuotetta käytetään jäädytys-sulatusrasituksen joutuvassa rakenteessa /15/.

### **Vaikutus tuoreeseen ja nuoreen betoniin ja laastiin**

Valmistajan mukaan Eclipse /15/:

- hidastaa sitoutumista korkeintaan vähän,
- pienentää 28 vrk:n kutistumaa 50 - 80 % ja lopullista kutistumaa 25 - 50 % sekä
- laskee 28 vrk:n puristuslujuutta 2 %:n annostuksella sementin painosta 0 - 15 %.

Shah ym.n tutkimuksessa Eclipseä lisättiin sekä normaalilujuisen että korkealujuusbetonin massaan 1 ja 2 % sementin painosta. Eclipse pienensi koebetoniin kutistumaa 25 - 42 % 6 ja 7 viikon iässä. Erityisesti betonille haitallinen kuivumiskutistuma kuivumisen alussa väheni radikaalisti ja kuivumiskutistuman aiheuttama halkeilu viivästyi merkittävästi /22/.



---

## Vaikutus kovettuneeseen betoniin ja laastiin

Shah ym:n laboratorikokeissa testattiin Eclipsen vaikutusta RH 40 %:ssa ja kalkkiliuoksessa säilytettyjen koebetonien puristuslujuuteen. 2 %:n Eclipse-lisäys paransi korkeintaan hieman kuivissa olosuhteissa säilytettyjen koebetonien puristuslujuutta ja heikensi märissä olosuhteissa säilytettyjen betonien puristuslujuutta n. 10 % /22/. Eclipse ei vaikuttanut märissä olosuhteissa säilytettyjen betonien kimmokertoimeen ja sen käyttö kasvatti kuivissa olosuhteissa säilytettyjen betonien kimmokerrointa n. 5 % /22/.

## Käyttö

Valmistajan mukaan Eclipsen puristuslujuutta alentava vaikutus voidaan eliminoida notkistimen käytöllä vaikuttamatta kutistumaan /15/.

## Käyttökokemukset

Kahdessa käyttökokemuksista kertovassa artikkelissa, käytettyä lisäainetta kutsutaan nimellä Eclipse – ei Eclipse Plus, jota valmistaja suosittelee pakkaskestävyyttä edellyttäviin kohteisiin, joissa käytetään lisähuokostusta. Kumpikin kohde altistuu pakkasrasitukselle, mutta kummassakaan ei ole käytetty lisähuokostusta ja Grace Construction Products on ollut mukana niiden toteutuksessa. Kyseessä siis ilmeisesti on todellakin Eclipse eikä Eclipse Plus.

Skotlannissa on vuonna 2001 rakennettu vesistösilta käyttäen Eclipseä. Artikkelissa ei käsitellä Eclipsen toimintaa jälkihoitoaineena tai sen vaikutusta betonin säröilyyn /32/. Vuonna 1998 Iso-Britanniassa korjatun moottoritien korjausvaluissa käytettiin betonia, johon oli lisätty Eclipseä. Eclipse selvästi vähensi kutistumaa. Koekappaleista mitattuna Eclipse pienensi betonin kutistumaa vertailubetoniin verrattuna 60 % 93 vrk:n ikään mennessä /34/.

### 7.1.4 Eclipse Plus

## Toimintaperiaate

Valmistajan mukaan Eclipse Plus laskee veden pintajännitystä, joka aiheuttaa betonin kutistumista aiheuttavia vetovoimia betonin huokosissa /16/.

## Soveltuvuus

Veden pintajännitystä laskevat aineet tekevät huokosrakenteesta epästabiilin, joten ne eivät yleensä sovellu pakkaskestävyyttä edellyttäviin lisähuokostettaviin kohteisiin /5/. Valmistajan mukaan Eclipse Plus kuitenkin soveltuu pakkasrasitukselle altistuviin ulkobetonirakenteisiin, joissa käytetään lisähuokostusta, mutta huokostuksen annostusta tulee lisätä /16/.

## Vaikutus tuoreeseen ja nuoreen betoniin ja laastiin

Valmistajan mukaan Eclipse Plus /16/:

- hidastaa hieman sitoutumista. Sitoutumisaika pitenee yleensä vähemmän kuin tunnin,
- pienentää tavanomaisen betonin kutistumaa n. 50 %, kun käytetään suositusannosta  $7,5 \text{ l/m}^3$ ,
- lisää huokoisuutta ja massan painumaa saman verran kuin massaan lisättäisiin sama vesimäärä, joten Eclipse Plus sisällytetään suhteituksessa vesimäärään ja

- heikentää huokostimen vaikutusta, joten huokostimen annostusta tulee lisätä Eclipse Plussaa käytettäessä.

### **Vaikutus kovettuneeseen betoniin ja laastiin**

Valmistajan mukaan Eclipse Plus /16/:

- pienentää kuivumiskutistumaa ja
- laskee puristuslujuutta 0 – 15 %.

Valmistajan mukaan puristuslujuuden lasku voidaan eliminoida Gracen ADVA Flown tai muun vastaavan tehonotkistimen avulla ilman, että kutistuman vähenemisvaikutus heikkenee /16/.

### **Käyttö**

Valmistajan mukaan Eclipse Plus :a käytettäessä betonin 28 vrk:n puristuslujuuden tulee olla vähintään 31 MPa, w/c saa olla korkeintaan 0,45 ja massan ilmamäärän on oltava vähintään 6 % /16/.

Annostus voi vaihdella välillä 2,5 l/m<sup>3</sup> – 9,9 l/m<sup>3</sup>, jolla välillä annostuksen vaikutus kutistumaan on suunnilleen lineaarinen /16/.

Valmistajan mukaan Eclipse Plus on yhteensopiva tavanomaisten huokostimien, notkistimien, nesteyttimien, hidastimien, kiihdyttimien, silikan ja Gracen DCI -korroosio inhibiittorin kanssa. Yhdessä hidastavan lisäaineen kanssa käytettynä sitoutumista hidastava nettovaikutus saattaa olla suurempi kuin, jos lisäaineita käytetään erikseen. Huokostimen annostusta tulee lisätä Eclipse Plussaa käytettäessä /16/.

#### *7.1.5 Eclipse Floor*

### **Toimintaperiaate**

Valmistajan mukaan Eclipse Floor vähentää veden pintajännitystä ja siten pienentää kutistumaa /17/.

### **Soveltuvuus**

Valmistajan mukaan Eclipse Floor on tarkoitettu sisäkäyttöön. Eclipse Floor poistaa betonin huokoisuutta eikä sovellu kohteisiin, joissa betoni lisähuokostetaan /15, 16, 17/.

### **Vaikutus tuoreeseen ja nuoreen betoniin ja laastiin**

Valmistajan mukaan, kun Eclipse Floor otetaan suhteituksessa huomioon vetenä, sen käyttö ei juuri vaikuta työstedävyyteen.

Valmistajan mukaan Eclipse Floor /17/:

- hidastaa sitoutumista,
- poistaa ilmahuokosia ja
- vaikeuttaa huokostusta.

### **Vaikutus kovettuneeseen betoniin ja laastiin**

Valmistajan mukaan Eclipse Floor /17/:

- pienentää kuivumiskutistumaa ja
- laskee puristuslujuutta 10 ... 15 %.

### **Käyttökokemukset**

Varastohallin lattiavalussa Washingtonissa käytettiin Eclipse Fooria. Liikuntasaumaväli oli yli 250 m. Laatta ei halkeillut eikä käyristynyt. Betonin toimittaja (Glacier Norhewest, USA) ja suunnittelija (Silver & Associates, USA) olivat tyytyväisiä Eclipse Flooriin /28/. Samankaltaisia käyttökokemuksia on saatu useissa muissakin suurten hallien lattiavaluissa. Lähteissä /30/ ja /31/ raportoidaan kummassakin yhden ja lähteessä /29/ 16:n vastaavan kohteen positiiviset käyttökokemukset /29, 30, 31/.

#### *7.1.6 Mapecure CCI-2000*

### **Toimintaperiaate**

Valmistajan mukaan Mapecure CCI-2000 estää veden haihtumista ja siten pienentää kutistumaa /18/.

### **Soveltuvuus**

Valmistajan mukaan Mapecure CCI-2000 soveltuu valettavalle betonille ja ruiskutettavalle betonille ja laastille /18/.

### **Vaikutus tuoreeseen ja nuoreen betoniin ja laastiin**

Laboratoriokokeessa Mapecure CCI-2000 vähensi veden haihtumista ensimmäisen valun jälkeisen vuorokauden aikana 35 % vertailubetoniin verrattuna /19/.

Laboratoriokokeessa Mapecure CCI-2000-betonin kutistuma tunnin kuluttua valusta oli 28 % pienempi kuin vertailumassan /20/.

Laboratoriossa tehdyssä halkeilukokeessa Mapecure CCI-2000-betoni alkoi halkeilla 6 h:n kuluttua valusta (halkeilu kesti 1 h), vertailubetoni alkoi halkeilla 1 h:n kuluttua valusta (halkeilu kesti 3 h). Jälkihoitoaineella hoidettu betoni ei halkeillut lainkaan /21/.

### **Vaikutus kovettuneeseen betoniin ja laastiin**

Valmistajan mukaan Mapecure CCI-2000 saattaa heikentää tartuntaa /18/.

### **Käyttö**

Valmistajan mukaan Mapecure CCI-2000 on yhteensopiva Rescon Mapein muiden lisäaineiden kanssa /18/.

### **Käyttökokemukset**

Suomalaisen käyttäjän kokemukset Mapecure CCI-2000:n käytöstä lattiavaluissa ovat olleet positiiviset. Tuotteenn käyttö ei ole ainakaan pahentanut tilannetta. Ainoastaan yhdessä tapauksessa Mapecure CCI-2000:a sisältävällä betonilla erittäin vaativissa olosuhteissa valettu lattia on halkeillut /24/.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Käytössä olevien kaupallisten tuotteiden käyttökokeustietojen ja kirjallisuuden perusteella:

- Suomen markkinoilla olevien kaupallisten sisäisten jälkihoitoaineiden käyttö, kun kostejälkihoito tai jälkihoitoaineen käyttö eivät ole mahdollisia, edellyttää, että aineen haitalliset sivuvaikutukset ehkäistään tai otetaan asianmukaisesti huomioon. Raportoituja sivuvaikutuksia ovat lujuuden lasku, jota voidaan kompensoida sopivalla notkistimella, lujuudenkehityksen hidastuminen sekä huokosrakenteen epästabiilius veden pintajännitystä alentavia aineita käytettäessä.
- Veden pintajännitystä alentavia aineita ei tule käyttää pakkasrasitukselle altistuvissa rakenteissa, ellei voida luotettavasti todeta, että huokosrakenne esimerkiksi lisähuokostusaineen annostusta lisäämällä saadaan pakkasenkestävyyden kannalta hyväksi.
- Sisäistä jälkihoitoainetta käytettäessä on suositeltavaa käyttää lisäksi vesijälkihoitoa tai jälkihoitoainetta.
- Jälkihoito pelkästään sisäisen jälkihoitoaineen avulla ei ole suositeltavaa, mutta mikäli se on ainoa vaihtoehto, sitä kannattaa käyttää.
- Sisäinen jälkihoitoaine ei estä plastista painumaa.

Kokemukset aineiden käytöstä ovat positiivisia tai niiden käytöstä ei ole todettu olevan haittaa. Osa käyttäjistä käyttää aineita, koska jälkihoito muuten laiminlyödään.

## 9 YHTEENVETO

Betonin sisäinen jälkihoito voi perustua:

- massaan sekoitettavan aineeseen, josta vapautuu vettä, kuten
  - vedellä kyllästetty kevytkiviaines,
  - vettä imevät polymeerit ja
  - veden mikrokapselointi,
- veden haihtumisen estämiseen tai
- veden pintajännityksen laskemiseen.

Vedellä kyllästettyä kevytkiviainesta on käytetty porauslauttoihin, jolloin rakenne on myös keventynyt. Vettä imeviä polymeerejä on edelleen tutkittava ennen käytäntöön soveltamista. Veden mikrokapselointia on jo käytetty injektointilaasteihin. Kaupalliset tuotteet perustuvat veden haihtumisen estämiseen ja veden pintajännityksen alentamiseen.

Veden pintajännitystä alentavat sisäiset jälkihoitoaineet eivät sovellu pakkasenkestävyyttä edellyttäviin kohteisiin, koska ne tekevät huokosrakenteesta epästabiilin, ellei voida luotettavasti todeta, että huokosrakenne esimerkiksi lisähuokostusaineen annostusta lisäämällä saadaan pakkasenkestävyyden kannalta hyväksi.

Sisäiset jälkihoitoaineet pienentävät kutistumaa ja siten vähentävät halkeilua. Haitallisena sivuvaikutuksena on usein puristuslujuuden aleneminen ja lujuudenkehityksen hidastuminen. Toisena sivuvaikutuksen on todettu läpäisevyyden aleneminen, joka parantaa säilyvyyttä.

Sisäisten jälkihoitoaineiden käyttökokeuksia saatiin koskien suuria lattialaattoja ja kallioseiniä ruiskubetonointeja. Laattavaluissa sisäinen jälkihoitoaine on vähentänyt kutistumaa ja siitä johtuvaa halkeilua. Kallioseiniä ruiskubetonoinneissa sisäisen jälkihoitoaineen ei saatujen tietojen mukaan ole todettu estävän veden haihtumista tai halkeilua. Aineesta ei ole todettu olevan haittakaan ja sitä käytetään

---

ainakin Norjassa ja Ruotsissa kallioseiniä ruiskubetonointiin varmuuden vuoksi, koska jälkihoito muuten laiminlyödään.

Taulukkoon 2 on koottu kirjallisuudessa raportoituja sisäisten jälkihoitoaineiden vaikutuksia betonin ominaisuuksiin sekä kaupallisten tuotteiden käyttökokemuksia.

Taulukko 2. Kirjallisuudessa raportoituja sisäisten jälkihoitomenetelmien vaikutuksia betonin ominaisuuksiin sekä käyttökokemuksia.

Menetelmä	Vaikutus ominaisuuksiin laboratoriokeissa					Huom	Käyttökokemukset
	Puristuslujuus	Kimmokerroin	Kutistuma	Halkeilu	Läpäisevyys		
Vesikyllästeinen kevytkiviaines	-10 ... +20 % Laski /1, 2, 4, 10/ Kasvoi /7/ Lujuudenkehitys hidastui /1/	Pieneni 40 % /2/	Varhaisvaiheessa paisui /1, 4/ Kuivumiskutistuma pieni, jopa paisui /2/			Notkeuden hallinta vaikeutui /2/	Porauslautat /16/
Vettä imevät polymeerit – SAP	Laski 19 % /3/ Kasvoi 20 % /7/		Pieneni jopa paisui /3/		Pieneni /2/	Vaatii lisätutkimuksia ennen käyttöönottoa /3/	
Veden haihtumisen estäjät	Kasvoi /11/ Suurella annostuksella laski /11/				Pieneni /11/		
Veden pintajännityksen alentajat				Vähäni /28, 29, 30, 31, 32, 34, 33/		Tekivät huokosrenteesta epästabiilin /5/	
Veden mikrokapselointi							Käytetty nopeasti kovettuvissa injektointilaasteissa /6/
<b>Eclipse</b> Laskee veden pintajännitystä	Laski vesijälkihoitoon verrattuna 10 % /22/ Kasvoi kuivasäilytykseen verrattuna korkeintaan hieman /22/	Vesijälkihoitoon verrattuna ei eroa /22/ Kuivasäilytykseen verrattuna kasvoi 5 % /22/	Pieneni 25 ... 42 % /22/ Pieneni 60 % /34/	Viivästyi /22/		Valmistajan mukaan puristuslujuuden lasku estetään notkistimella /15/	
<b>Eclipse Plus</b> Laskee veden pintajännitystä							
<b>Eclipse Floor</b> Laskee veden pintajännitystä							Suurten hallien lattiavaluissa ei halkeilua eikä käyritystä /12, 29, 30, 31/
<b>Mapecure CCI-2000</b> Estää veden haihtumista			Pieneni 28 % /20/	Viivästyi /21/			Suomalaisella käyttäjällä hyvät kokemukset lattiavaluissa /24/ Norjan Vegvesen sallii käytön kallioseiniin ruiskubetonoinnissa. Ei hyötyä/ haittaa /26/
<b>Meyco TCC 736</b>				Ei vaikutusta /23/			Norjan Vegvesen sallii käytön kallioseiniin ruiskubetonoinnissa. Ei hyötyä/ haittaa /26/
<b>Rheocure 736</b> Estää veden haihtumista							

---

**KIRJALLISUUSVIITTEET**

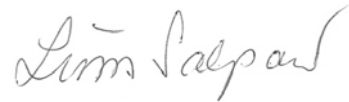
1. Lura P. Internal water curing with Liapor aggregates. *Heron* Vol 50, 1 (2005). S. 5 – 22.
2. Jensen O. M. & Hansen P. F. Water-entrained cement-based materials. I. Principles and theoretical background. *Cement and Concrete Research*. Vol 31, 4 (2001). S. 647 – 654.
3. Jensen O. M. & Hansen P. F. Water-entrained cement-based materials. II. Experimental observations. *Cement and Concrete Research*. Vol 32, 6 (2002). S. 973 – 978.
4. Kovler K., Souslikov A. & Bentur A. Pre-soaked Lightweight Aggregates as Additives for Internal Curing of High-Strength Concretes. *Cement, Concrete, and Aggregates*, Vol 26 2(2004). S. 131 – 138.
5. Morin R., Haddad G & Aïtcin P.-C. Crack-free, high performance concrete? *Bulletin des laboratoires des ponts et Chaussées*. 238, Mai-Juin 2002 Réf. 4410. S. 3 - 12.
6. Jensen O.M. & Lura P. Techniques for internal water curing of concrete. *Teoksessa Advances in Cement and Concrete*. Toim. Lange D.A. ym. Proceedings of a conference held at Copper Mountain, Colorado, USA. August 10-14, 2003. S. 67 – 78.
7. Geiker M.R., Betz D.P. & Jensen O.M. Mitigating Autogeneous Shrinkage by Internal Curing. *Teoksessa: high-Performance Structural lightweight Concrete*, ACI SP 218. Toim. Ries J.P. & Holm T.A. S. 143 – 148.
8. Bentz D.P., Lura P. & Roberts J.W. Mixture Proportioning for Internal Curing. *Concrete International*. Vol. 27. No 2. 2005. S. 35 – 40.
9. Kovler K. & Zhutovsky S. Overview and Future Trends of Shrinkage Research. *Teoksessa Advances in Cement and Concrete*. Toim. Lange D.A. ym. Proceedings of a conference held at Copper Mountain, Colorado, USA. August 10-14, 2003. S 151 - 180.
10. Bentur A., Igarashi S. & Kovler K. Prevention of autogenous shrinkage in high-strength concrete by internal curing using wet lightweight aggregates. *Cement and Concrete Research*. No 31. 2001. S. 1587 – 1591.
11. Dhir R.K., Influence of microstructure on the Physical Properties of Self-Curing Concrete. *ACI Materials Journal*. September-October 1996. S. 465 – 471.
12. <http://www.mbtaus.com.au/curing/curing14.htm>. Tulostettu 13.1.2006
13. Rheocure 736:n tuotelehti. Tulostettu Degussan [www.sivuilta](http://www.sivuilta) 13.1.2006.
14. <http://www.infolink.com.au/articles/29/0c010e29.asp>. Tulostettu 13.1.2006
15. Eclipse – Shrinkage Reducing Admixture. Engineering Bulletin 1. Grace Construction Products. Tulostettu [www.sivuilta](http://www.sivuilta) 13.1.2006
16. Eclipse Plus – Shrinkage Reducing Admixture. Product information. Grace Construction Products. Tulostettu [www.sivuilta](http://www.sivuilta) 13.1.2006
17. Eclipse Floor – Shrinkage Reducing Admixture. Product information. Grace Construction Products. Tulostettu [www.sivuilta](http://www.sivuilta) 13.1.2006
18. Mapecure CCI-2000 sisäinen jälkihoitoaine. Tuote-esite. Tulostettu Rescon Mapein [www-sivuilta](http://www.sivuilta) 24.4.2006.
19. Report No 32772. Appendix 3 ja Appendix 4. SINTEF. Norge
20. Auftrag B-0406. Institut für Materialprüfung. 26.7.2001.
21. Valmistajalta saadut halkeilukoetulokset, jotka on valmistajan ilmoituksen mukaan saatu SINTEFissä tehdyssä laboratoriokokeessa.
22. Shah S.P., Weiss W.J. & Yang W. Shrinkage Cracking- Can It Be Prevented? *Concrete International*. Vol 20. No 4. 1998. S. 51 – 55.
23. Orantie K., Ritola J. & Kronlöf A. Ruiskutettavat vesitiiviit komposiittirakenteet. VTT Tiedotteita 2358. Espoo: VTT. 2006. 60 s. + liitt. 89 s. Saatavana: <http://virtual.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2358.pdf>

24. Keskustelu Lohja Ruduksen tuotepäällikön Hannu Mäki-Saaren kanssa 16.3.2006.
25. Keskustelu CBI:n ( Cement och Betong Institutet, Ruotsi) johtajan Johan Silfwerbrandin kanssa 22.3.2006.
26. Keskustelu Vegvesenin (Norja) Reidar Kompenin kanssa 22.3.2006.
27. Keskustelu Banverketin (Ruotsi) Katarina Kieksin kanssa 27.3.2006
28. Project profile. Eclipse Floor. How a high quality concrete floor hit the mark. Grace Construction Products. USA. 2004.
29. Concrete. Performace profile. Eclipse in Flooring. Grace Construction Products. USA. 2001.
30. Bae J. Admixture Controls Slab Drying Shrinkage. Grace Construction Products and Columbia Colstor team use new technology for fish processing facility. Concrete international September 2004. S. 88-89.
31. Project profile. ADVA & Eclipse. Huntsman Cancer Institute Protects Clean Room From Concrete Shrinkage With ADVA and ECLIPSE. Grace Construction Products. USA. 2001.
32. Beattie A. & Perry B. The Replacement A83 Interveill Bridge, Agyill, Scotland. Concrete. November/December 2002. S. 18 – 21.
33. May M. J. Metakaolin concrete for bridge repair. Concrete. February 1999. S. 22 – 23.
34. Meyco TCC 735:n tuotelehti. Tulostettu BASF Construction Chemicals Finland Oy:n www-sivuilta 30.6.2006.

Espoo, 13.10.2006



Anna Kronlöf  
Erikoistutkija



Liisa Salparanta  
Tutkija

JAKELU

Tilaaaja  
VTT/Arkisto

Alkuperäinen  
Alkuperäinen