



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

ECOFAX-TUOTTEELLA VAHVISTETUN BETONIN ILMAN HUOKOSJAKO

TEKIJÄ: Aimo Laitinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Aimo Laitinen	
Työn nimi Ecofax-tuotteella vahvistetun betonin ilman huokosjako	
Päiväys	Sivumäärä/Liitteet
Leppävirta 5.5.2017	25/38
Ohjaaja(t) pt. tuntiopettaja Juha Pakarinen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Aino Heikkinen-Mustonen, Fatec Oy	
Tiivistelmä	
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli määrittää Ecofax-tuotteella vahvistetun betonin ilman huokosjako ja verrata sitä tavanomaisen betonin ilman huokosjakoon. Myös häirityn betonin ilman huokosjako oli tavoitteena määrittää. Fatec Oy:n Ecofax-tuotteet valmistetaan prosessoimalla A-luokan lentotuhkaa. Sillä voidaan osittain korvata betonin sementtiä. Betoni-massan kokonaisilmamäärä pystytään mittaamaan yksinkertaisella laitteella, mutta ilmahuokosten jakaantumisen määrittämiseen tarvitaan kehittyneempää laitteistoa. Ilmahuokosten jakaantumisella on merkitystä valettaessa kylmissä olosuhteissa.</p> <p>Huokosjaon määrittämistä varten valettiin koekuutioita Fatec Oy:n laboratoriossa Siilinjärvellä. Valmistusreseptit muotoutui Fatec Oy:n kokemuksen kautta. Koekuutioita valettiin Ecofax20-tuotetta sisältävästä massasta ja verrokiksi ns. 0-massasta, joka taas ei sisältänyt Ecofax20-tuotetta. Häirityissä betonimassoissa käytettiin samoja reseptejä. Erona edellisiin massoihin oli se, että niitä häirittiin leviämäpöydällä samalla mitaten leviämä ja annettiin seistä yhden tunnin ajan ennen valamista. Tällä pyrittiin simuloimaan betonin kuljetusta betoniasemalta työmaalle. Kaikissa massoissa käytettiin kiviaineksen, sementin ja veden lisäksi myös sekä huokostinta että notkistinta. Myöhemmin valettiin koekuutioita vielä massoista, joista toisessa oli Ecofax20-tuotetta ja vertailumassassa Ecofax20-tuote korvattiin samalla määrällä sementtiä. Muotista poiston jälkeen koekappaleet säilytettiin vedessä useita viikkoja. Kaikkien valettujen massojen koekappaleilla mitattiin puristuslujuudet 7, 28 ja 91 vuorokauden iässä. Ilmahuokosanalyytit koekuutioista saatuista koekappaleista teki Savonia-ammattikorkeakoulun rakennusalan tutkimus- ja yrityspalvelujen koetuslaitoksessa testausinsinööri Martti Niskanen pintahie-menetelmällä käyttäen Rapid Air 457 -analysointilaitetta.</p> <p>Tulokseksi saatiin massojen leviämät ja puristuslujuudet. Kustakin ilmahuokosanalyyseistä tuloksena saatiin viisisivui-nen raportti, joka sisältää monien muiden tietojen lisäksi haetun betonin ilman huokosjaon. Tuloksista voi päätellä, ettei massojen häirintä heikentänyt huokosjakoa. Samaten jälkimmäisistä massoista valettujen koekappaleiden huokosjakoarvot olivat erinomaisia, sisälsivätpä ne Ecofax20-tuotetta tai ei.</p>	
Avainsanat Betoni, huokosjako, lentotuhka, mikrosuhteitus, pakkasenkestävyys, valaminen	
Luottamuksellisuus Julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Aimo Laitinen			
Title of Thesis Air Void Distribution of Concrete Strengthened by Ecofax Product			
Date	5 May 2017	Pages/Appendices	25/38
Supervisor(s) Mr Juha Pakarinen, Lecturer and Mr Martti Niskanen, Test Engineer			
Client Organisation /Partners Aino Heikkinen-Mustonen, Fatec Oy			
<p>Abstract</p> <p>The aim of the thesis was to determine the air void distribution of concrete strengthened by the Ecofax product and compare it with the air void distribution of ordinary concrete. Another purpose was to determine the air void distribution of interfered concrete. Ecofax products of Fatec Ltd. are manufactured by processing A-class flying ash. It can be used to replace cement in concrete. The total amount of air of the concrete mass can be measured by using a simple device. For determining the distribution of air voids more advanced equipment is needed. The distribution of air voids is important when casting in cold conditions.</p> <p>For the determination of distribution sample cubes were cast in the Fatec laboratory in Siilinjärvi. Manufacturing formulas were based on Fatec Ltd.'s experience. Sample cubes were cast using both the mass which contained the Ecofax20 product and the mass without the Ecofax20 product called zero mass as a reference. The same formulas were used with interfered concrete masses. Those masses were interfered on a spread table when the spreading was also measured and after that they were let stay for an hour before casting. In this way it was tried to simulate concrete transportation from a concrete station to the building site. All masses included aggregates, cement, water, pores and plasticizer. Later sample cubes were cast using masses with the Ecofax20 product and without it. The sample cubes were stored in water for several weeks after removing them from the mold. The compressive strength of the sample cubes of all masses was measured at the age of 7, 28 and 81 days. The air void distribution analysis was done from test pieces sawn of the sample cubes as surface grindings by using Rapid Air 457 analyzer by Martti Niskanen, the test engineer at the test facility of Rakennusalan tutkimus- ja yrityspalvelujen koetuslaitos of Savonia University of Applied Sciences.</p> <p>As a result of this thesis, the spreadings and compressive strengths of the masses were obtained. As a result of each air void distribution analysis a five-page report was obtained including in addition to many other things information about the searched air void distribution of concrete. From the analysis results it can be concluded that interfering the masses did not weaken the air void distribution. Similarly, the air void distribution values of the test pieces cast from the latter masses were excellent whether they included the Ecofax20 product or not.</p>			
Keywords Air void distribution of concrete, casting, concrete, flying ash			

ESIPUHE

Kiitän Fatec Oy:n toimitusjohtaja Aino Heikkinen-Mustosta saamastani opinnäytetyöaiheesta, Fatec Oy:n tuotekehityspäällikkö Tuomo Paavolaa betoniresepteistä, betonivalujen suorittamisesta ja testausmenetelmien kehittämisestä, nyttemmin eläköitynyttä testausinsinööri Martti Niskasta ilmahuokosanalyysin testausvaiheiden esittelystä ja tuntiopettaja Juha Pakarista opinnäytetyön ohjaamisesta.

Leppävirralla 5.5.2017

Aimo Laitinen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	ROOMALAINEN BETONI	8
3	NYKYAIKAINEN BETONI.....	9
3.1	Betonin koostumus.....	9
3.2	Mikrosuhteitus	10
3.3	Betonointi kylmissä olosuhteissa.....	10
3.4	Pakkaskestävyyden parantaminen	11
3.5	Lentotuhka pakkasenkestävässä betonissa	12
4	ECOFAX-TUOTTEET	13
4.1	Lentotuhkan muodostuminen	13
4.2	Lentotuhkan koostumus.....	13
5	KOEKUUTIOIDEN VALAMINEN.....	15
6	ILMAHUOKOSANALYYSI KOEKAPPALEILLE	20
7	TULOKSET	23
8	TULOSTEN TARKASTELU.....	24
	LÄHTEET.....	25

LIITTEET

LIITE 1: RESEPTIT

LIITE 2: ILMAHUOKOSANALYYSIRAPORTTI 12.6.2014 KOEKAPPALEESTA 0

LIITE 3: ILMAHUOKOSANALYYSIRAPORTTI KOEKAPPALEESTA 0 HÄIRITTY

LIITE 4: ILMAHUOKOSANALYYSIRAPORTTI KOEKAPPALEESTA 1

LIITE 5: ILMAHUOKOSANALYYSIRAPORTTI KOEKAPPALEESTA 1 HÄIRITTY

LIITE 6: ILMAHUOKOSANALYYSIRAPORTTI KOEKAPPALEESTA 5

LIITE 7: ILMAHUOKOSANALYYSIRAPORTTI 21.10.2014 KOEKAPPALEESTA 0

LIITE 8: ILMAHUOKOSANALYYSIRAPORTTI KOEKAPPALEESTA 2

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus määrittää Ecofax-tuotteella vahvistetun betonin huokosjako ja verrata sitä tavanomaisen betonin huokosjakoon. Myös häirityn betonin huokosjaon määrittäminen on tavoitteena. Ecofax-tuotteet on siilinjärveläisen Fatec Oy:n CE-merkittyjä tuotteita, joita valmistetaan prosessoimalla A-luokan lentotuhkaa. Niillä voidaan osittain korvata betonin sementtiä. Lentotuhkaa syntyy sivutuotteena poltettaessa kivihiiltä voimalaitoksessa.

Betoni-massan kokonaisilmamäärä pystytään mittaamaan helposti, mutta ilmahuokosten jakaantumisen määrittämiseen tarvitaan kehittyneempää laitteistoa. Tieto on olennainen tuotettaessa pakkasenkestävää betonia, jossa on Ecofax-tuotetta. BY 50 Betoninormit 2012:n mukaan betonin valmistuksessa tulee välttää lentotuhkan käyttöä, mikäli betonilla on pakkasenkestävyysvaatimus. Tässä työssä pyritään selvittämään, voiko prosessoidulla lentotuhkalla korvata osan sementistä valetessa kylmissä olosuhteissa.

Koekappaleet valetaan Fatec Oy:n laboratorioissa Siilinjärvellä. Kappaleet siirretään vesisäilytyksen jälkeen Kuopioon. Huokosjako määritetään pintahie-menetelmällä Savonia-ammattikorkeakoulun rakennusalan tutkimus- ja yrityspalvelujen koetuslaitoksessa.

2 ROOMALAINEN BETONI

Muinaisten roomalaisten betonissa käytettiin vulkaanista tuhkaa. Ecofax -tuotteiden raaka-aineena taas on lentotuhka, joten siinä mielessä on palattu osittain betonin juurille. Osa tuon ajan rakennelmista on säilynyt yli 2000 vuotta, joten jotain oppia niistä on saatavissa nykyrakentamiseen.

Roomalaisten rakentamistavat olivat sekoitus vanhaa ja uutta. Vanhaa oli muun muassa kreikkalaisilta peritty kivirakentamistaito ja se hallittiin lopulta perusteellisesti. Uutta oli betonirakentaminen. Sen ehkä hienoin säilynyt esimerkki on Pantheon, joka rakennettiin keisari Hadrianuksen hallitessa v. 118 - 128. Roomalaiset betonirakenteet kehittyivät muilta kansoilta perityistä savi- ja kalkkilaastimuurauksista. Kehitys alkoi ensimmäisellä vuosisadalla eKr., aluksi hitaasti ja pienimuotoisesti, päätyen myöhemmin vallitsevaksi rakentamistavaksi. Roomalainen betoni (Opus caementicum) ei ollut betonia siinä mielessä, miten betoni nykyään käsitetään. Sideaineena käytetty potsolaani oli punertavan hiekan näköistä vulkaanista tuhkaa sisältäen paljon silikaa. Potsolaani nimettiin löytöpaikkansa Pozzuolin kylän mukaan. Sitä kaivettiin maasta vulkaanisilla alueilla Campanian ja Latiumin seuduilla. Kalkkilaastia alettiin käyttää Roomassa v. 300 - 250 eKr. Potsolaani keksittiin 200 - 100 -lukujen tienoilla eKr., jolloin rakennettiin ensimmäiset betonivalumuurit Campaniaan. Kokemuksen kautta huomattiin, että potsolaanin lisääminen laastiin tekee siitä erittäin lujaa ja saa sen kovettumaan myös veden alla. (Väisänen 2010, 6 - 7.)

Roomalaisten betonirakenteet tehtiin yleensä liittorakenteina muiden materiaalien kuten kivien tai tiilien kanssa. Rakentamisessa voitiin käyttää kalliiden kivilaatujen sijaan paikallisia, vähän heikompiakin raaka-aineita ja käyttää paikallista työvoimaa. Näin valumuurista tuli halpa ja laajasti suosittu ratkaisu, tosin työsuorituksen ja lopputuloksen laadun vaihtellessa suuresti. Laatuerot johtuivat muun muassa siitä, että potsolaanin kemiallista koostumusta ei tunnettu, eikä ymmärretty miten se eroaa vaikkapa hydraulisesta kalkista. Siksi käytettiin niitä raaka-aineita, mitä paikkakunnalla oli ja edettiin kokeilemalla. Rakenteesta tuli valutekniikalla yhtenäinen kappale. Koska raudoittamaton valuttu rakenne on huono kestäämään vetojännityksiä, aukkojen ja tilojen kattamisessa käytettiin hyväksi puristusvoimia ja kaarevia muotoja. Potsolaani paransi kuitenkin laastin vetolujuutta niin paljon, että saavutettiin huomattavan suuria jännevälejä. Pantheonin kupolin 43,2 metrin jänneväli tehtiin valutekniikalla. Ennätys rikottiin vasta 1900-luvulla käyttäen teräsbetonia. Betonitekninen osaaminen hiipui ja unohtui Rooman valtakunnan rappeuduttua. Vuonna 1173 aloitettu Pisan vino torni jäi roomalaisen betonirakennetradition viimeiseksi suureksi rakennelmäksi. (Väisänen 2010, 6 - 7.)

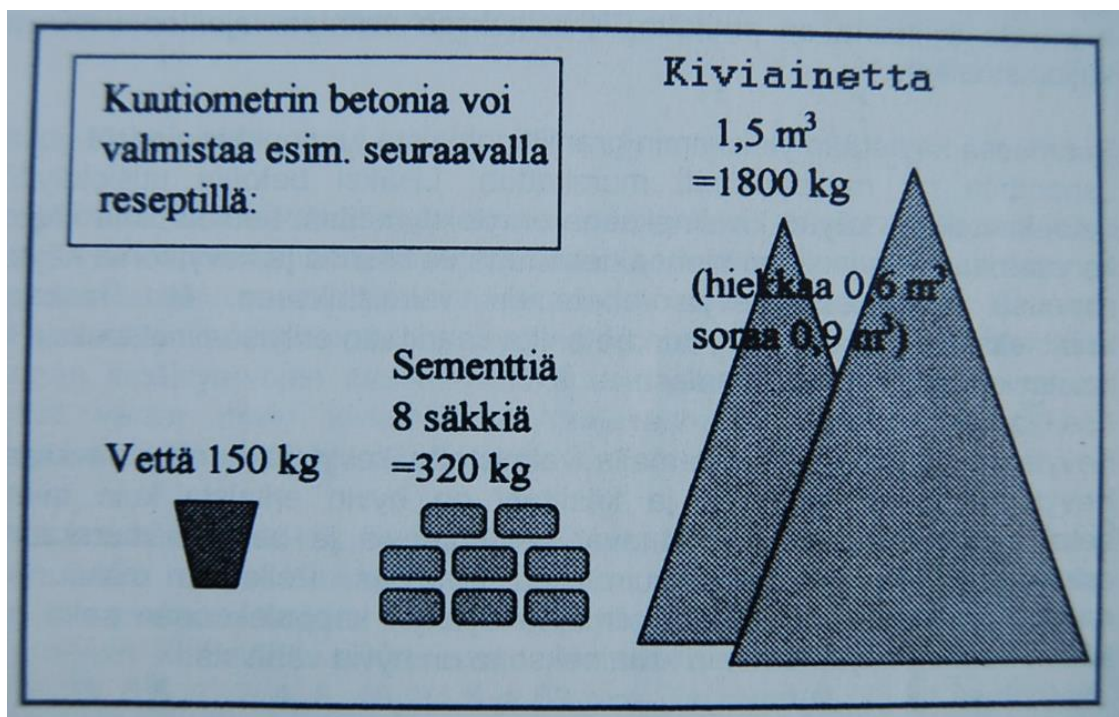
3 NYKYAIKAINEN BETONI

Potsolaanista kiinnostuttiin 1700-luvulla. Insinööri John Smeaton lisäsi sitä 1759 valmistuneen Ed-dystonen majakan kiviperustusten muurauslaastiin. Tuota pidetään nykyaikaisen betonirakentamisen alkuna. Englantilainen James Parker patentoi vuonna 1796 sementin, jota kutsuttiin romansementiksi sen punertavan värin mukaan. Maanmiehensä Joseph Aspdin alkoi ensimmäisenä valmistaa sementtiä suuressa mittakaavassa vuonna 1824 Smeatonin ideaan perustuen. Kovettunut sementti oli vaaleaa ja kovaa kuten Englannin Dorsetissa sijaitsevan Portlandin saaren kalkkikivi, josta se sai nimensä. Nykyisenkaltaisen portlandsementin keksi englantilainen Isaac Johnson liian korkeassa lämpötilassa poltetusta Aspdinsementtierästä vuonna 1844 havaiten sintraantumispisteen merkityksen sementin lujuudelle. Tästä alkoi betonin menestys. (Väisänen 2010, 8.)

Sementtitehtaita perustettiin aluksi Englantiin ja Ranskaan ja myöhemmin Saksaan ja Tanskaan, joista sementtiä alettiin tuoda Suomeen vuodesta 1856. Saimaan kanavan muurirakenteissa oli käytetty jo hieman ennen tätä jonkinlaista sementtiä. Saviolla toimi Suomen ensimmäinen sementtitehdas vuosina 1869–1894. Sementin laajempi teollinen valmistus aloitettiin Paraisilla vuonna 1914 ja Lohjalla vuonna 1919. Betonia käytettiin aluksi kiviinä tai laastina. Paikallavalu tehtiin sullomalla betonia puumuotteihin ilman raudoitusta. Tätä niin sanottua sullobetonia käytettiin satamalaitureissa, talojen perustuksissa sekä julkisivuornamenttien osissa. Betonista tehtiin myös harkkoja, kattotiliä, kaivonrenkaita ja viemäriputkia. (Väisänen 2010, 8.)

3.1 Betonin koostumus

Betoni on keinotekoinen kivi, jossa kovettunut sementtiliima eli sementtikivi sitoo kiviainesrakeet yhteen. Betonin pääraaka-aineet ovat sementti, vesi ja kiviainekset (kuva 1). Näiden lisäksi betonissa käytetään usein lisä- ja seosaineita esimerkiksi työstettävyyden lisäämiseksi tai lujuuden, tiiviyyden ja säilyvyysominaisuuksien parantamiseksi. Betonin osa-aineiden valinnalla ja niiden seossuhteiden määrittämisellä eli suhteituksella on tärkeä merkitys betonin ominaisuuksiin. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004, 31.)



Kuva 1. Esimerkki betonin yksinkertaisesta reseptistä (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004, 31)

Betoni on plastisessa tilassa sitoutumiseen asti, joka tapahtuu noin 2 - 4 tuntia sekoituksesta +20 °C:n lämpötilassa. Tämän jälkeen betoni alkaa kovettua tuottaen samalla lämpöä hydrataatioreaktion tuloksena. 10 °C:n lämpötilan lasku kaksinkertaistaa reaktioajan ja vastaavasti 10 °C:n lämpötilan nousu puolittaa reaktioajan. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004, 69.)

3.2 Mikrosuhteitus

Yleisesti ajatellaan sementtimäärää pienennettäessä ja vesisementtisuhteen suuretessa betonin lujuuden, tiiviyyden ja säilyvyyden heikkenevän. Vesisementtisuhdetta suurennettaessa partikkelien välinen etäisyys kasvaa, koska vesisementtisuhte on käytännössä myös vesihienoainesuhde. Mikrosuhteituksessa minimoidaan partikkelien väliset etäisyydet lisäämällä sopiva määrä hienoainesta. Näin parannetaan pakkautuvuutta riippumatta siitä, mikä on sementtipartikkelien tilavuusosa seoksessa. Pienemmillä sementtimäärillä voidaankin saada betonille paremmat tekniset ominaisuudet, kuin suurempia sementtimääriä käytettäessä. (Heikkinen 1992, 14.)

3.3 Betonointi kylmissä olosuhteissa

Alhaisessa ulkoilman lämpötilassa betonoitaessa tarvitaan erikoistoimia, jotta betoni saa tarpeeksi lämpöä kovettuakseen moitteettomasti. Suomessa vallitsee kylmä sää suurimman osaa vuotta. Näin ollen kylmän sään vaikutus tulee useimmiten ottaa huomioon tehtäessä betonista rakennetta tai rakennusrunkoa. Betonitekniikan kannalta kylmä kausi käsittää sen ajanjakson, jolloin vuorokauden keskilämpötila saattaa laskea alle +5 °C:een. Tuuli lisää talvioloissa lämmön siirtymistä ja edistää kosteuden haihtumista. Betoni sisältää aina vettä, joka laajenee jäätyessään 9 %. Veden jäätyminen

aiheuttaa betoniin sisäisiä rasituksia, jotka sen pitäisi kestää rikkoutumatta. Betonin ei anneta jäätyä kovettumisen aikana ennen muottien purkulujuuden saavuttamista. Muiden työvaiheiden eteneminen voi vaikeuttaa betonin pitämistä lämpimänä, jolloin se saattaa jäätyä. Jäätymistä ei saa tapahtua ennen kuin betoni on saavuttanut jäätymislajuuden, joka on kaikilla lujuusluokilla 5 MN/m². Toistuva jäätyminen ja sulaminen tehostavat jäätymisen vaurioittavaa vaikutusta. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004, 341 - 345.)

Jäätymis-/sulamisrasitustekijöiden rasitusluokkia on neljä: XF1, XF2, XF3 ja XF4. Niitä käytetään, jos betoni on märkä ja siihen kohdistuu kosteuden lisäksi merkittäviä jäätymis-sulamisrasituksia. Suunnittelija valitsee luokan ympäristöolosuhteiden kuvausten mukaan.

XF1: Kohtalainen vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita esim. sateelle alltiit pystysuorat betonipinnat, julkisivut, sokkelit ja suolaamattomien teiden siltojen osat, kuten kansilaatta, palkit, maa- ja välituet.

XF2: Kohtalainen vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet esim. sateelle ja jäätymiselle alltiit pystysuorat betonipinnat, jotka ovat alltiina jäätymiselle ja ilman kuljettamalle jäänsulatusaineelle, meluseinät ja sokkelit tien vieressä, suolattavien teiden siltojen osat, kuten päällysrakenteen palkit ja kansilaatat, maa- ja välituet.

XF3: Suuri vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita esim. sateelle ja jäätymiselle alltiit vaakasuorat betonipinnat, parvekkeet, siltapilarit ja muut rakenteet sisävesien vesirajassa, patorakenteet, makean veden altaat, suolaamattomien teiden siltojen osat, kuten reunapalkit, siirtymälaatat, pilarimaiset välituet, rengaskehäsiltojen peruslaatat ja vesistösiltojen suojaamattomat vedenvaihtelualueen rakenteet.

XF4: Suuri vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet tai merivesi esimerkkinä suoralle jäänsulatusroiskeelle ja jäätymiselle alltiit vaakasuorat betonipinnat ja jäänsulatusaineille alltiit teiden siltojen kannet, pysäköintitasot, päällysteet, autotallit, suolattavien teiden siltojen reunapalkit, siirtymälaatat, betonikaiteet, rengaskehän peruslaatat, välituet, kun sillan alittavaa tietä suolataan, meressä olevan sillan suojaamattomat rakenteet tasolta NW-1 ylöspäin. (BY 50 Betoninormit 2012, 88 - 90.)

3.4 Pakkaskestävyyden parantaminen

Betonissa on normaalisti ilmaa 1 – 2 %. Pakkaskestävyyden parantamiseksi se huokostetaan. Tällöin ilmapitoisuus nostetaan 4 - 8 %:in huokostavan lisäaineen avulla. Huokostimet muodostavat pieniä ilmakuplia, jotka leviävät tasaisesti betoniin. Näiden niin sanottujen suojahuokosten tehtävänä on vastaanottaa betonissa olevan veden jäätyessään aiheuttama paine betonin rikkoontumatta. Suojahuokosten ominaispinta-alan tulisi olla alle 25 mm²/mm³ ja huokosjaon korkeintaan 0,23 mm toimiakseen mahdollisimman tehokkaasti ja kestääkseen pakkasrasitusta. Tyypilliset huokostinannokset ovat 0,01-0,03 % sideaineen määrästä. Huokokset lisäävät betonimassan notkeutta ja koossapysyvyyttä, parantavat sen muokkautuvuutta sekä vähentävät osa-aineiden erottumista. Huokostus notkistaa betonia, mutta myös alentaa kovettuneen betonin lujuutta. Karkeasti arvioiden ilmapitoisuuden lisääminen 1 %:lla heikentää lujuutta 5 %. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004, 66-67.)

Huokostuksen onnistumisen varmistaminen on hankalaa, sillä tuoreen massan ilmapitoisuuden mittaaminen ei kerro, miten huokokset ovat jakautuneet massaan, eikä niiden kokoa. Jotkin notkistimet

aiheuttavat ylimääräistä ilmaa betoniin, mutta tämä ilma on yleensä liian suuri-huokoista muodostuksen käytäviä, eikä se siten paranna pakkasenkestävyyttä. Huokostimien ja notkistimien yhteiskäyttö on erittäin ongelmallista. Useat notkistimet joko estävät huokosten synnyn tai ajavat huokokset pois betonista. Huokostimien kanssa on suositeltavinta käyttää melamiinipohjaista notkistinta. Myös sekoitusjärjestyksellä on vaikutusta huokostuksen onnistumiseen. Huokostin on yleensä sekoitettava ensin massaan ja vasta vähintään 1 min sekoituksen jälkeen lisätään notkistin. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004, 67.)

3.5 Lentotuhka pakkasenkestävässä betonissa

Mikäli betonilla on pakkasenkestävyysvaatimus, tulee betonin valmistuksessa välttää lentotuhkan käyttöä. Lentotuhka voi vaikeuttaa merkittävästi huokostuksen onnistumista. Pakkaskestävän betonin valmistukseen voidaan kuitenkin käyttää A-luokan lentotuhkaa, jos ennakkokokein selvitetään jäännöshiilen ja sen vaihteluiden vaikutukset huokostimen annostukseen, sekä jos huolehditaan betonimassan ilmamäärän mittaamisesta valupaikalla ja perusteellisesta jälkihoidosta. (BY 50 Betoninormit 2012, 175.)

Kokemus on osoittanut, että lentotuhkaa sisältävään betoniin aikaansaatu huokostus parantaa betonin pakkasenkestävyyttä yhtä hyvin, kuin portlandsementtibetonissa oleva huokostus. Tiedetään, että hienoinemäärällä on vaikutusta pakkasenkestävyyteen merkittävästi vaikuttavaan huokoskokoja-kaumaan siten, että hienommat materiaalit antavat pienemmän ja siten paremman huokoskokoja-kauman. (BY 52 Lentotuhkan käyttö betonissa 2008, 24.)

4 ECOFAX-TUOTTEET

Ecofax-tuotteet on CE-merkittyjä hienorakeisia seosjauheita, jotka on valmistettu prosessoimalla A-luokan lentotuhkaa 0,001 mm:n tarkkuudella. Tuotteita ovat Ecofax20 ja Ecofax40. Tuotteiden raakeet ovat muodoltaan pyöreitä. Prosessoidulla lentotuhkalla vahvistetaan betonin ja laastin mikrorakenetta. Ecofax20 eroaa Ecofax40:stä hienoudeltaan ja käyttömääriltään. Ecofax20:n käyttökohteita ovat kaikki betonit ja laastit, kun taas Ecofax40:n käyttökohteita ovat lähinnä erikoistuotteet. Taulukossa 1 esitetään Ecofax20:n koostumus. (Fatec.fi.)

Taulukko 1. Ecofax20:n koostumus (Fatec.fi)

Kvartsi, SiO ₂	58,3 %
korundi, Al ₂ O ₃	26,82 %
hematiitti	4,65 %
kalsiumoksidi, CaO	2,66 %
LOI	<5 %
SO ₃	0,15 %
Cl	0,01 %

4.1 Lentotuhkan muodostuminen

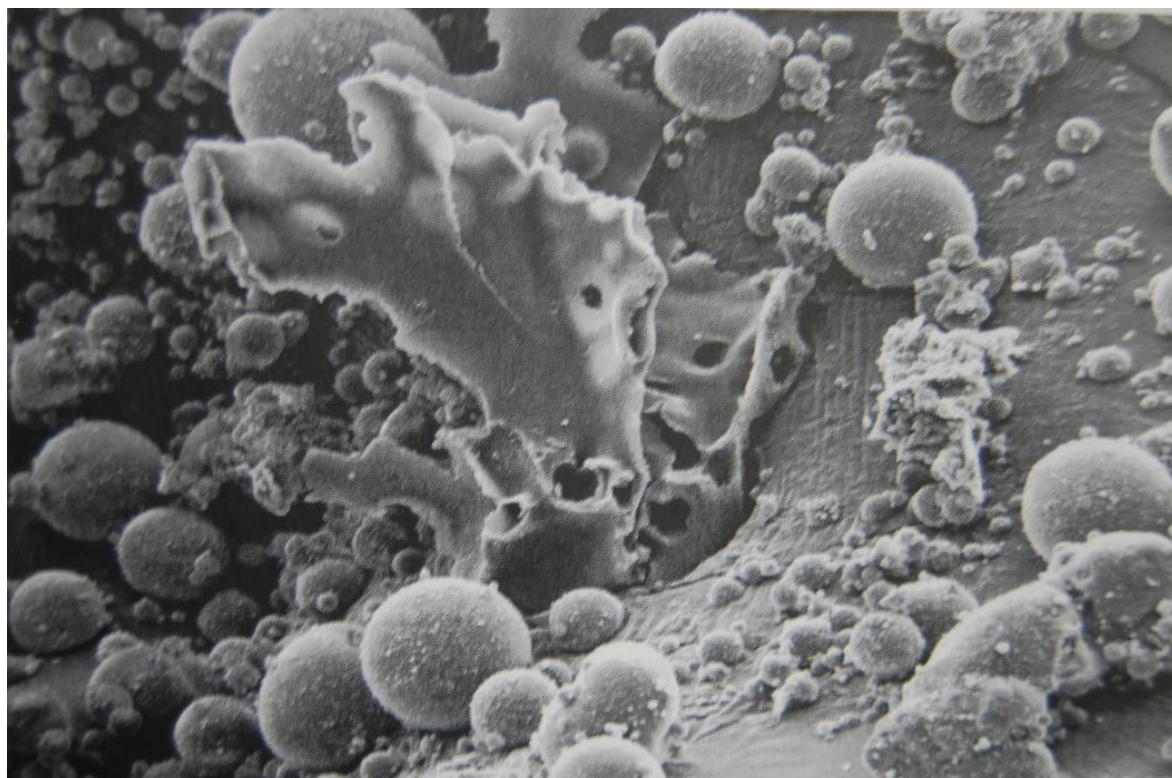
Kivihiltä tuodaan Suomeen karkeana materiaalina ja se jauhetaan hienoksi pölyksi ennen polttamista voimalaitoksen kattilassa. Kivihilipöly puhalletaan kattilaan palamiseen tarvittavan ilman kanssa. Syntyvä lämpö kuumentaa kattilan vettä. Veteen sitoutunut energia muutetaan edelleen generaattorissa ja lämmönsiirtimissä sähkö- ja kaukolämpöenergiaksi. Kivihillen epäorgaaniset aineet, jotka ovat pääasiassa kivihillen louhinnassa mukaan joutuneita mineraaleja, sulavat kuumassa uunissa. Kun energiaa siirtyy kattilan veteen, savukaasujen lämpötila laskee nopeasti. Polttokaasujen jäähtyessä sula alumiini-, pii-, ja rautapitoinen massa jäähtyy nopeasti päätyen lasimaiseen tilaan. Lentotuhkapartikkelit jähmettyvät ilmapirrassa tyypillisesti pallomaiseen muotoon. Jähmettynyt lentotuhka erotetaan savukaasuista sähkösuotimilla ja varastoidaan siiloon. (BY 52 Lentotuhkan käyttö betonissa 2008, 6.)

4.2 Lentotuhkan koostumus

Lentotuhka koostuu pääosin taulukon 2 mineraaleista. Näitten lisäksi lentotuhkassa on vaihtelevia määriä raskasmetalleja, joista merkittävimmät ovat arseeni, kromi, lyijy, molybdeeni ja seleeni. Pitoisuudet ovat pieniä, eikä pilaantuneille maille asetetut raja-arvot juuri koskaan ylitä. Lentotuhkassa on pallomaisten rakeiden lisäksi pitkänomaisia, kuitumaisia rakeita (kuva 2). Lentotuhka on väriltään harmaata ja sävyltään sitä tummempaa, mitä enemmän palamistuotteessa on hiiltä. (Ashpower.fi.)

Taulukko 2. Lentotuhkan koostumus (Ashpower.fi)

kvartsi, SiO ₂	45-55 %
korundi, Al ₂ O ₃	20-30 %
hematiitti, Fe ₂ O ₃	8-11 %
kalsiumoksidi, CaO	4-7 %
magnesiumoksidi, MgO	3-5 %
kaliiumoksidi, K ₂ O	1-2 %
natriumoksidi, Na ₂ O	0-2 %



Kuva 2. Elektronimikroskooppikuva lentotuhkasta (BY 52 Lentotuhkan käyttö betonissa 2008, 8)

5 KOEKUUTIOIDEN VALAMINEN

Ensimmäiset särmältään 100 mm:n kokoiset koekuutiot valettiin 16.5.2014 ja viimeiset 18.9.2014. Valmistusreseptinä käytettiin Fatec Oy:n kokemuksen kautta hyväksi havaittuja reseptejä hieman muokattuina (LIITE 1). Aluksi valettiin verrokiksi erä ns. 0-massasta, jossa ei ollut Ecofax-tuotetta. Kaikissa massoissa käytettiin kiviaineksen, sementin ja veden lisäksi myös sekä huokostinta että notkistinta. Ecofax20-tuotetta sisältävissä massoissa sementin määrää vähennettiin 15 % 0-massaan verrattuna. Samaten veden määrää vähennettiin ja taas vastaavasti kiviaineksen kokonaismäärää lisättiin.

Massa sekoitettiin betonimyllyllä (kuva 3), mitattiin osasta massaa leviämä leviämäpöydällä (kuvat 4, 5 ja 6) ja samalla häirittiin betonia. Osa betonimassasta pantiin koekappalemuotteihin (kuva 7), tiivistettiin tärytyspöydällä (kuva 8) ja merkittiin muottien päälle massan numero sekä valamispäivämäärä (kuva 9). Liiallista tärytystä täytyi välttää, jottei huokosilma poistuisi (SFS 12390-2, 5). Häirityllä betonilla tarkoitetaan tässä betonia, joka leviämän mittauksen aiheuttamien tärskäyksien jälkeen on kerätty astiaan odottamaan 1 tunnin ajaksi ennen valamista muottiin. Tällä pyrittiin simuloimaan betonin kuljetusta betoniasemalta työmaalle. Standardia tuollaisen testaamiseen ei löytynyt. Tässä käytetyn menetelmän kehitti Fatec Oy:n tuotekehityspäällikkö Tuomo Paavola. Koekappaleet säilytettiin muotista poistamisen jälkeen vedessä, jonka lämpötila oli 18–22 °C. Säilytysaika vaihteli ennen siirtämistä Savonia-ammattikorkeakoululle eri koekuutioerillä ollen kaikilla kuitenkin viikkoja (kuva 10).



Kuva 3. Betonimylly toiminnassa (Laitinen 2016-05-15)



Kuva 4. Betonikakku leviämäpöydällä (Laitinen 2016-05-15)



Kuva 5. Leviämän aikaansaaminen (Laitinen 2016-05-15)



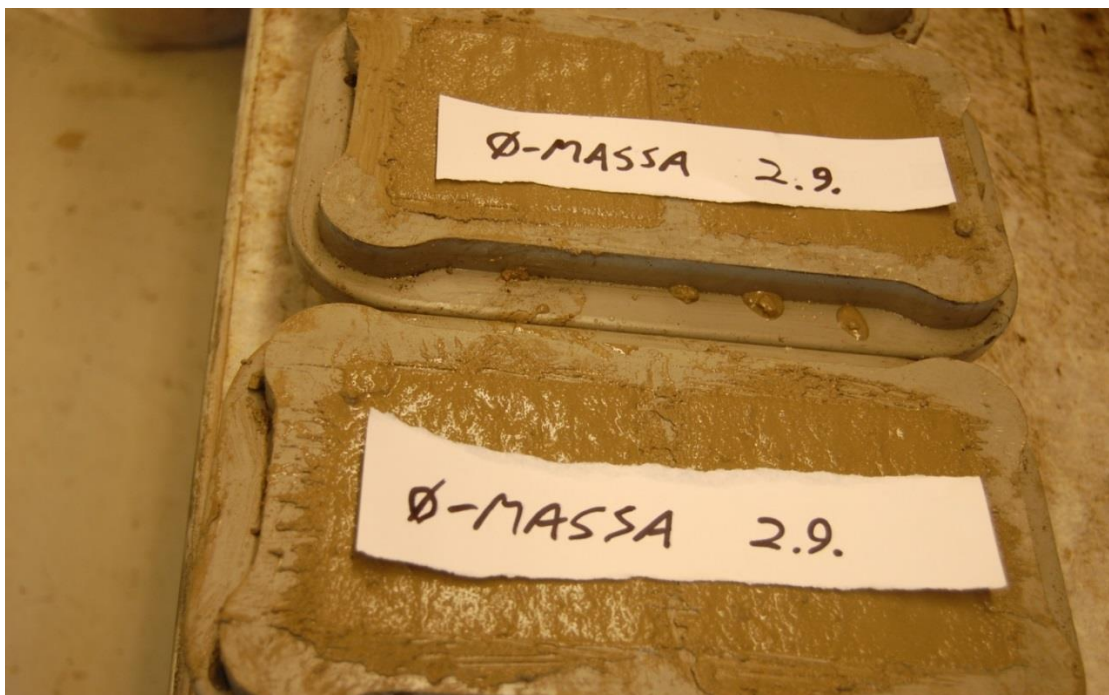
Kuva 6. Leviämän mittaus (Laitinen 2016-05-15)



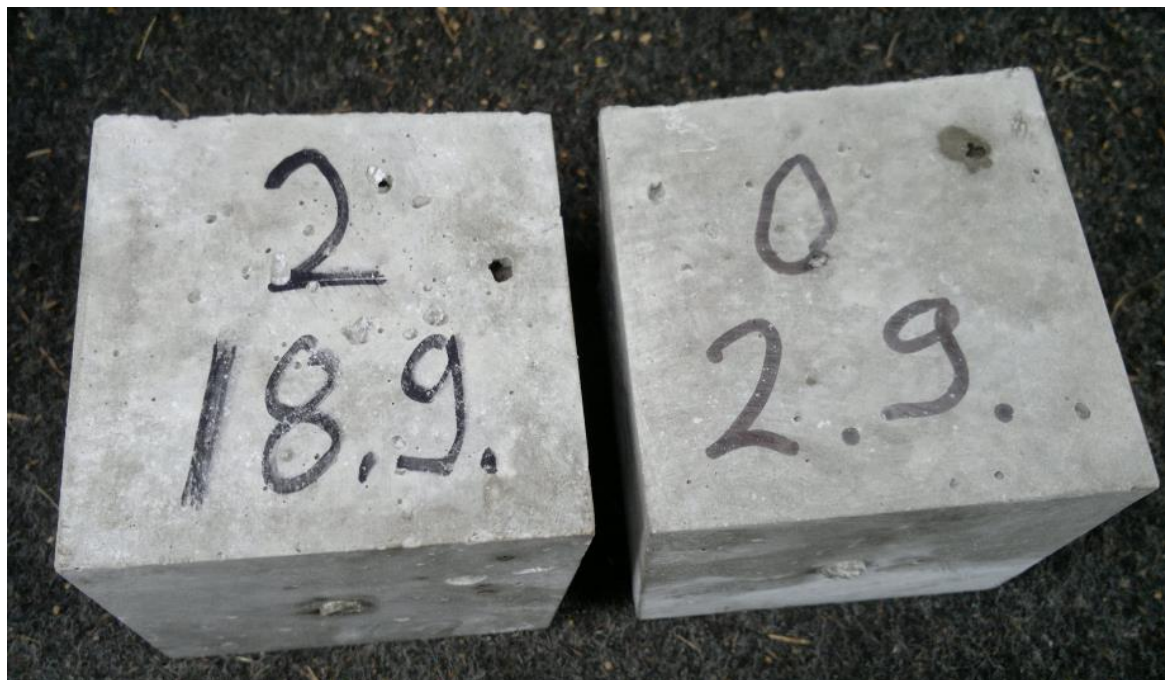
Kuva 7. Koekappalemuotteja (Laitinen 2016-05-15)



Kuva 8. Ylimääräisen ilman poistaminen tärytyspöydällä (Laitinen 2016-05-15)



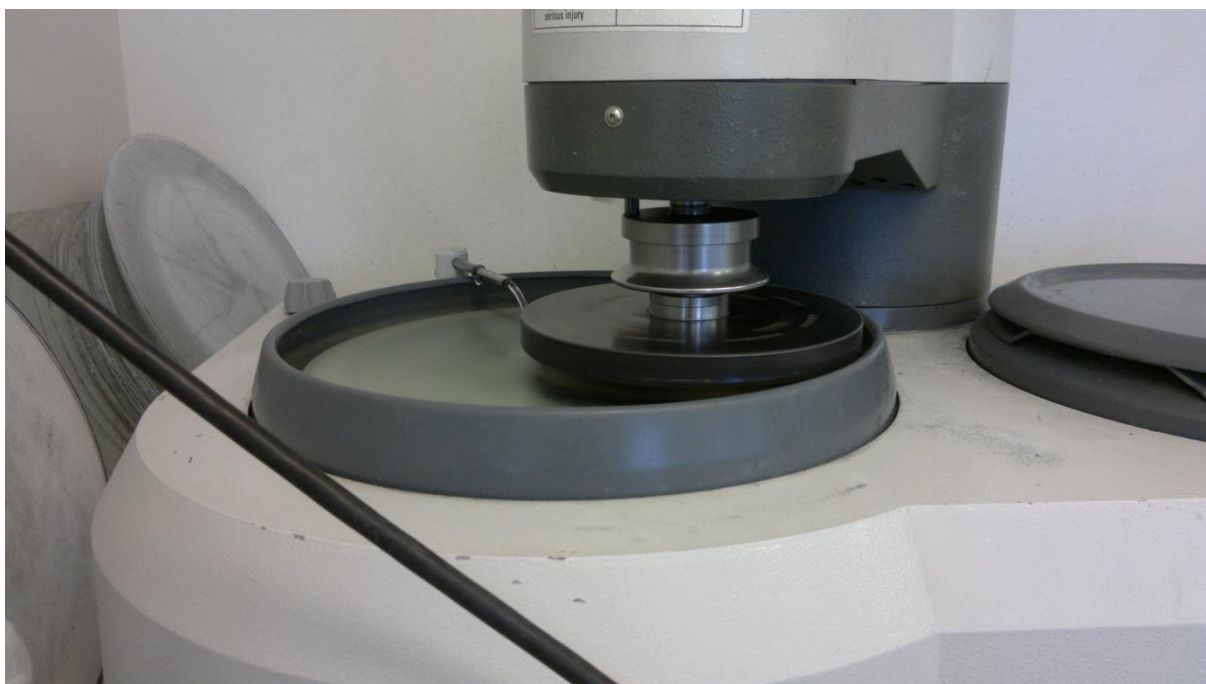
Kuva 9. Betonimassa koekappalemuoteissa tärytyksen jälkeen (Laitinen 2016-05-15)



Kuva 10. Koekuutiot vesisäilytyksen jälkeen (Laitinen 2016-05-15)

6 ILMAHUOKOSANALYYSI KOEKAPPALEILLE

Huokosjaon määritykset teki Savonia-ammattikorkeakoulun rakennusalan tutkimus- ja yrityspalvelujen koetuslaitoksessa testausinsinööri Martti Niskanen. Ensimmäiset betonikuutiot olivat tuolloin lähes kuukauden ikäisiä. Kuutiosta sahattiin noin 20 millimetriä paksu viipale pystysuunnassa valamisasettoon nähden. Näin siksi, koska ilmahuokosia saattaa olla epätasaisesti eri korkeudella valukappaleita. Seuraavaksi näyteviipale hiottiin timanttilaikoilla vaihtaen laikkaa aika ajoin hienommaksi (kuvat 11 ja 12). Kunkin laikanvaihdon yhteydessä hiottu betonipinta siveltiin metallilakalla. Pinnan saamiseksi tasaisemmaksi se kiillotettiin käyttäen piikarbidijauhetta, vettä ja glyseriiniä. Toinen kiilloitus tehtiin käyttäen edellistä hienompaa piikarbidijauhetta. Tämän jälkeen näyte pestiin vedellä, metallilakka huuhdeltiin asetonilla ja pinnasta huiskittiin irtorokat pois.

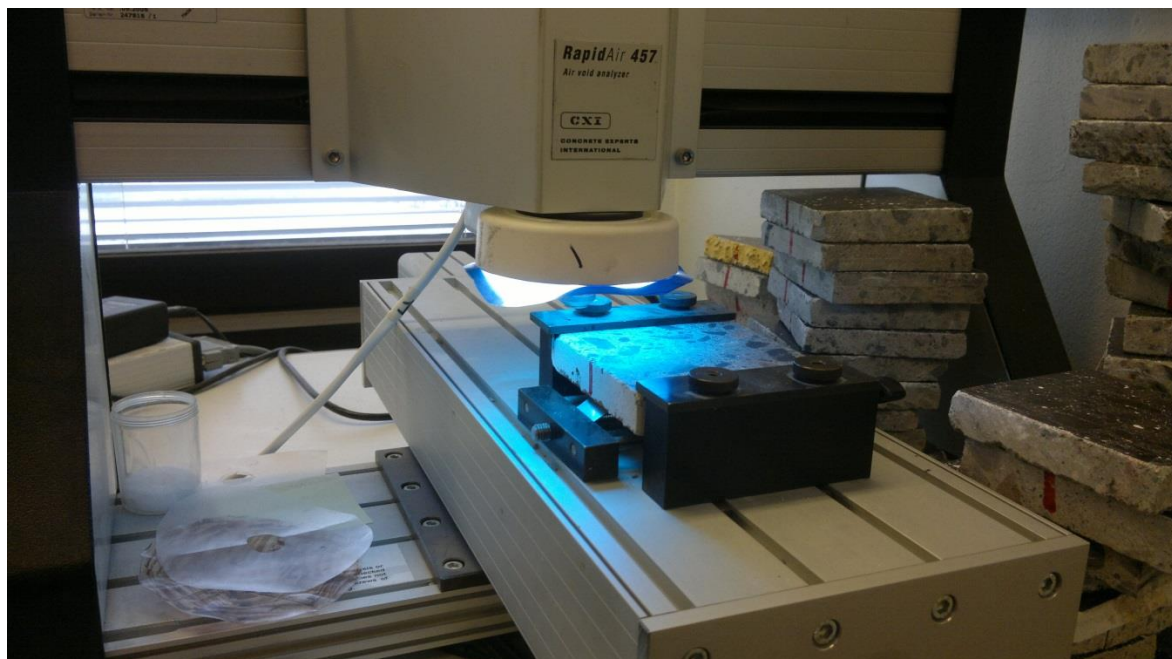


Kuva 11. Näyteviipaleen hionta timanttilaikalla (Laitinen 2016-05-15)

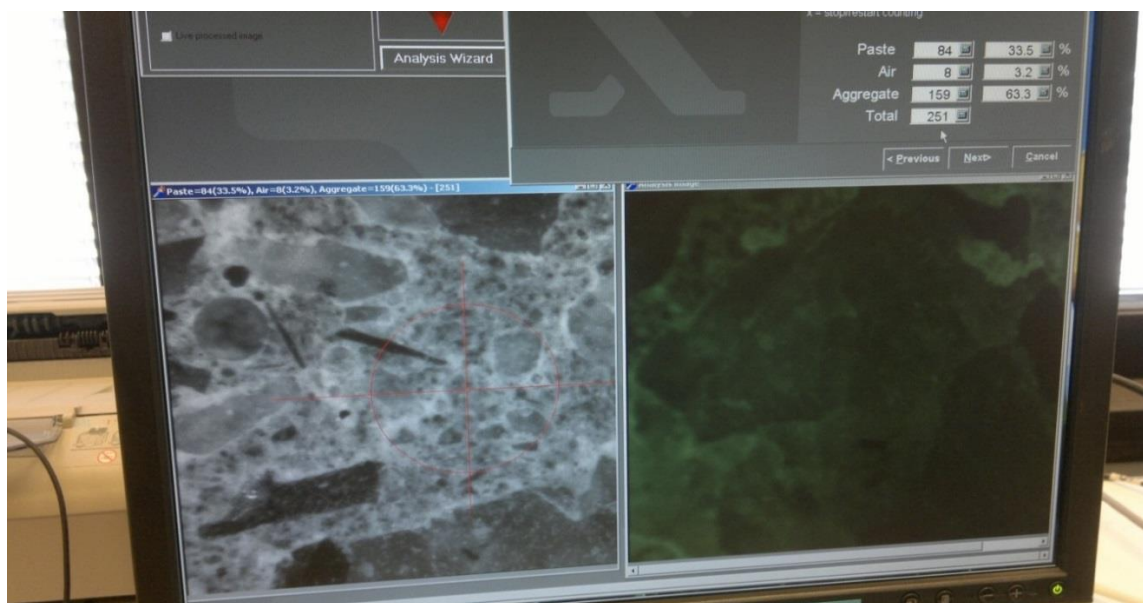


Kuva 12. Näyteviipaleen hiontalaitteen säätöpaneeli (Laitinen 2016-05-15)

Pastaprocentin määrittämiseksi Rapid Air 457 -analysointilaitteella näytettiin kirjainyhdistelmän 500:n analyysipisteen pysähdyspaikka, joka voi olla runkoaine, sementtipasta tai huokonen standardin ASTM C 457-90 menettely A:n mukaisesti. Näytepisteitä olisi voinut olla jokin muukin määrä. Näytteen pinta värjättiin tarkoitukseen sopivalla mustalla tussilla suuremman kontrastin aikaansaamiseksi. Pintaan levitettiin ja taputeltiin valkeaa barium-sulfaatti –jauhetta huokosten täyttämiseksi ja pinta puhdistettiin lopuksi varovasti ylimääräisestä värijauheesta. Näitten valmistelujen jälkeen näyte oli valmis Rapid Air 457 -laitteella tehtävään ilmahuokosanalyysiin. Kone määrittä tämän jälkeen 80 x 80 mm²:n kokoiselta alueelta 2413,7 mm:n pituisella matkalla olevien ilmahuokosten määrän ja luokitteli ne lävistyspituuksien mukaan sekä määrittä mm. huokosten ominaispinta-alan ja huokosjaon (kuvat 13 ja 14).



Kuva 13. Näyteviipale Rapid Air 457 -laitteessa ilmahuokosanalyyssissä (Laitinen 2016-05-15)



Kuva 14. Näkymä Rapid Air 457 -laitteen näytöltä määritettäessä analysipisteen laatua (Laitinen 2016-05-15)

7 TULOKSET

Kustakin koekappaleesta testausinsinööri Martti Niskanen laati viisisivuisen raportin (LIITTEET 2 – 8), jonka kansisivulla on kuva kappaleesta ja mm. sen tunnus, projekti, toimeksiantaja, päiväys sekä tekijän nimikirjaimet. Toisella sivulla kerrotaan koekappaleen koko, mittauspituus, pastapitoisuus, mitattu pinta-ala ja lävistysjakaumataulukko, jossa ilmahuokokset on luokiteltu 28:aan luokkaan lävistyspituuden mukaan. Mittaustuloksista on vielä laskettu ilmamäärä, ominaispinta-ala, huokosjako, huokostiheys, keskimääräinen lävistyspituus ja pasta-ilma-suhde. Kolmannella sivulla on esitetty edellisen sivun lävistyspituusjakaumataulukon lävistyspituuden yleisyys ja ilmamäärän osuus havainnollisemmin pylväsdiagrammin muodossa. Sivulla on myös parametrit lävistyspituudeltaan alle 0,5 mm:n ja alle 1,0 mm:n ilmahuokosille sekä kaikenkokoisille huokosille. Neljännellä sivulla on esitetty normalisoitu lävistyspituuksien taajuus lävistyspituuden funktiona. Raportin viimeinen sivu on toisen sivun kaltainen sillä erotuksella, että laskennassa on mukana vain lävistyspituudeltaan 20 - 1000 micronin huokokset, koska suojahuokonen määritellään tässä analyysissä huokoseksi, jonka lävistyspituus ohuthieen yläpinnan tasossa on 0,020 - 0,800 mm. (VTT TEST R003-00-2010 Huokosjako.) VTT:n testausohje on ohuthie-näytteitä varten, mutta sitä sovelletaan pintahie-näytteille. Viimeiset ilmahuokosanalyysit on tehty lokakuussa 2014. Niissä laskennassa on edellisistä poiketen 20 – 800 micronin huokokset ohjelmistopäivityksestä johtuen.

Taulukko 3. Puristuslujuustulokset massoille eri iässä

	16.5.2014	16.5.2014	16.5.2014	16.5.2014	2.9.2014	2.9.2014	18.9.2014	18.9.2014
	0	0	1	1	0	0	2	2
vrk	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
7	48,45		47,62		37,93	38,14	35,48	37,83
28	53,46	52,69	51,24	51,56	43,3	45,01	45,54	43,05
91	61,79	57,82	60,56	59,73	50,15	50,66	53,35	53,33

Taulukko 4. Koonti tehdyistä huokosjakoanalyyseistä

Analyysipvm	Koekappale	Mit. pinta-ala	Huokosjako	Ominaispinta-ala	ilmamäärä
		(mm x mm)	(mm)	(mm ⁻¹)	(%)
12.6.2014	0	80x80	0,195	26,14	4,85
16.6.2014	0 häiritty	80x80	0,202	30,11	3,04
16.6.2014	1	80x80	0,242	24,68	3,20
17.6.2014	1 häiritty	80x80	0,210	27,68	3,56
18.6.2014	5	80x45	0,134	37,18	4,68
21.10.2014	0	80x80	0,136	40,68	3,47
23.10.2014	2	80x80	0,139	41,96	3,59

8 TULOSTEN TARKASTELU

Opinnäytetyön tavoitteena oli määrittää Ecofax-tuotteella vahvistetun betonin huokosjako ja verrata sitä tavanomaisen betonin huokosjakoon. Myös häirityn betonin huokosjaon määrittäminen oli tavoitteena. Nämä määrittäykset tehtiin ja lisäksi määritettiin myös puristuslujuudet, vaikkei niiden mitausta alun perin suunniteltukaan.

Puristuslujuus mitattiin kaikkien valettujen massojen koekappaleilla 7, 28 ja 91 vuorokauden iässä (taulukko 3). Lujuusluokka ensimmäisillä massoilla oli seitsemän vuorokauden iässä C35, 28 vuorokauden iässä 0-massalla C40 ja 1-massalla C35 ja 91 vuorokauden iässä molemmilla C45. Syksyllä valetuilla massoilla lujuusluokka oli seitsemän vuorokauden iässä C25, 28 vuorokauden iässä C30 ja 91 vuorokauden iässä 0-massalla C35 ja 2-massalla C40. 1- ja 2-massa sisälsivät Ecofax20-tuotetta. Ecofax20-tuotteella vahvistettu massa siis saavutti suuremman loppulujuuden jälkimmäisillä valuilla.

Huokosjako oli häiritystä 0-massasta valetulla koekappaleella hieman suurempi kuin vastaavasta häiritsemättömästä massasta valetulla koekappaleella (taulukko 4). Ero on kuitenkin hyvin pieni. 1-massasta valetuilla koekappaleilla taas häirityn huokosjako oli selkeästi pienempi kuin häiritsemättömän. Näiden testien perusteella näyttää siis siltä, ettei Ecofax-tuotteella vahvistetun massan häirintä heikennä sen huokosjakoa, pikemminkin parantaa sitä.

Kesäkuisessa 0-massassa huokosjako on selkeästi pienempi kuin Ecofax20-tuotetta sisältävässä 1-massassa. Näiden kokonaisilmamäärissä oli suuri ero, joka johti päätökseen valaa vielä koekappaleet, joissa pyritään karkeasti samaan ilmamäärään. Muutaman siltä osin epäonnistuneen valamisen jälkeen siinä onnistuttiinkin. Lokakuussa analysoiduilla koekappaleilla kokonaisilmamäärä eroaa vain 0,12 prosenttiyksikköä. 0-massan huokosjako on analyysin mukaan 3 µm pienempi kuin 2-massalla. Ero on käytännössä merkityksetön. Huokosjako on molemmilla erittäin hyvä.

SFS 7022 mukaan rakenteen suunnitellun käyttöiän ollessa 50 vuotta ja vesi/sementti-suhteen ollessa suurempi kuin 0,4, huokosjaon enimmäisarvo vaihtelee rasisitusluokan XF3:n 0,23 mm:stä rasisitusluokan XF1:n 0,27 mm:iin. Suunnitellun käyttöiän ollessa 100 vuotta ja yli 0,4:n vesi/sementti-suhteella huokosjaon enimmäisarvo on rasisitusluokassa XF1 0,25 mm ja rasisitusluokassa XF3 0,22 mm. Rasisitusluokissa XF2 ja XF4 enimmäisarvoa ei ole annettu vaan, niissä noudatetaan InfraRYL 2006 kohdan 42020.1.2 mukaisia vaatimuksia. Analysoiduista koekappaleista ainoastaan 1-massa ylittää rasisitusluokan XF3 enimmäisarvon sekä 50, että 100 vuoden suunnitellulla käyttöiällä.

LÄHTEET

Ashpower.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-04-07] Saatavissa www.ashpower.fi Polku: ashpower.fi.tietoa lentotuhkasta.

BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. Suomen Betoniyhdistys ry. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

BY 50 Betoninormit 2012. Suomen Betoniyhdistys ry. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

BY 52 Lentotuhkan käyttö betonissa 2008. Suomen Betoniyhdistys ry. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Fatec.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-03-31] Saatavissa www.fatec.fi Polku: fatec.fi.tuotteet.

HEIKKINEN Aino ja VON KONOW Thorborg 1992. Betonin mikrosuhteitus. Jyväskylä: Suomen Betonitieto Oy.

LAITINEN Aimo 2016-05-15. [digikuvat]. Sijainti:Leppävirta: Tekijän sähköiset kokoelmat.

SFS 7022 Betoni: Standardin SFS-EN206-1 käyttö Suomessa. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 12390-2 Kovettuneen betonin testaus. Osa 2: Koekappaleiden valmistus ja säilytys lujuustestejä varten. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

VÄISÄNEN, Päivi 2010. Betoni, perustietoa arkkitehtiopiskelijalle. TKK Arkkitehtiosasto. [Viitattu 2014-09-05]. Saatavissa: http://arkkitehtuuri.tkk.fi/oppituolit/ro/julkaisut/Betoni_web2.pdf

VTT TEST R003-00-2010 Huokosjako. Betonin ilmahuokosparametrien määrittäminen ohuthieistä. VTT Expert Services Oy.

LIITE 1: RESEPTIT

		Resepti no. 0		16.5.2014	
Aine	kg	Density		kg/m3	l/m3
Sementti	Rapid	3,10		400,0	129,0
EcoFax		2,20	%	0,0	0,0
0-4		2,60	15,4	270,0	103,8
0-8		2,65	36,6	640,0	241,5
8--12		2,68	8,1	141,0	52,6
12--18		2,68	40,0	700,0	261,2
Water		1,00		175,0	175,0
Air				0,030	40,0
Notkistin	%	1,00		0,75	0,75
			Hiekka	1751,0	
			yht.	2326,0	1003,9

	Resepti no. 1			16.5.2014	
Aine	kg	Density		kg/m3	l/m3
Sementti	Rapid	3,10		340,0	109,7
EcoFax		2,20	%	20,0	9,1
0-4		2,60	16,8	300,0	115,4
0-8		2,65	36,3	650,0	245,3
8--12		2,68	7,9	141,0	52,6
8--18		2,68	39,1	700,0	261,2
Water		1,00		168,0	168,0
Air				0,030	40,0
Notkistin	%	1,00		0,00	0,00
			Hiekka	1791,0	
			yht.	2319,0	1001,2

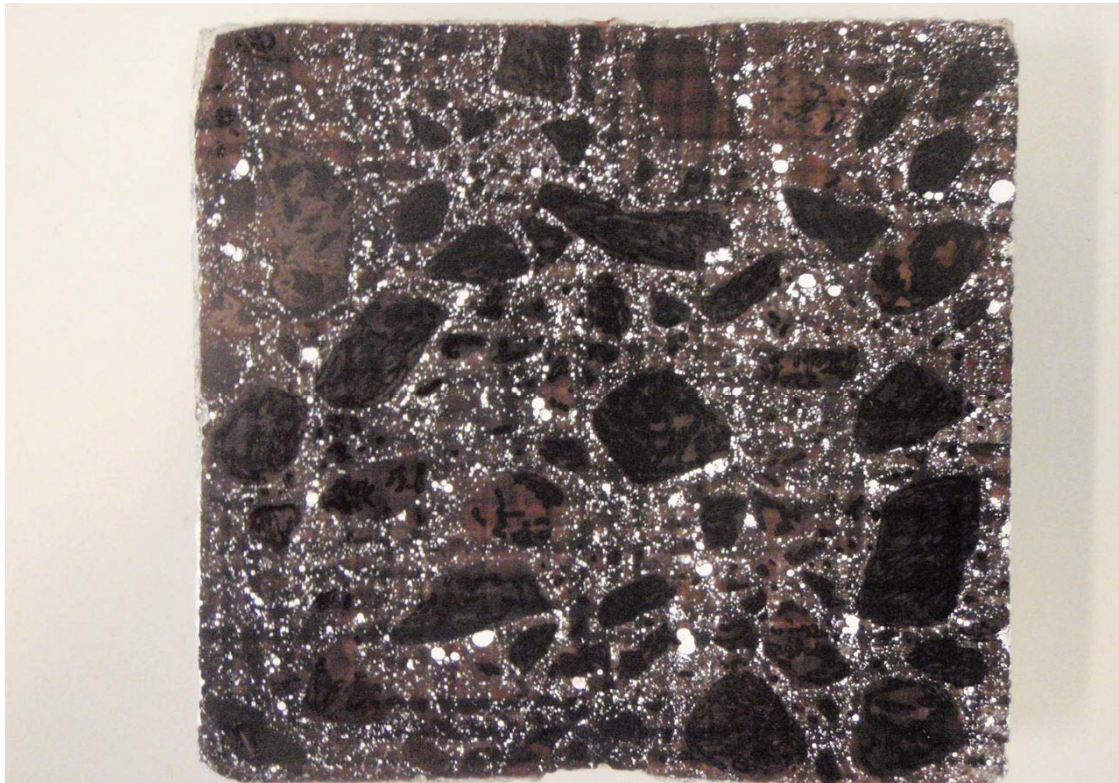
		Resepti no. 0		2.9.2014	
Aine	kg	Density		kg/m3	l/m3
Sementti	Rapid	3,10		350,0	112,9
EcoFax		2,20	%	0,0	0,0
0--8 kuivabet		2,60	45,0	825,0	317,3
0-8 OMA		2,65	0,0	0,0	0,0
8--12		2,68	0,0	0,0	0,0
8--32 OMA		2,68	55,0	1010,0	376,9
Water		1,00		170,0	170,0
Air				0,030	30,0
Notkistin	%	1,00		0,00	0,00
			Hiekka	1835,0	
			yht.	2355,0	1007,1

	Resepti no. 2		18.9.2014		
Aine	kg	Density		kg/m3	l/m3
Sementti	Rapid	3,10		332,5	107,3
EcoFax		2,20	%	17,5	8,0
0--8 kuivabet		2,60	45,0	825,0	317,3
0-8 OMA		2,65	0,0	0,0	0,0
8--12		2,68	0,0	0,0	0,0
8--32 OMA		2,68	55,0	1010,0	376,9
Water		1,00		166,0	166,0
Air				0,040	30,0
Notkistin	%	1,00		0,00	0,00
			Hiekka	1835,0	
			yht.	2351,0	1005,4

TEST.SEL.N:o 14104-017
Liite 1

Ilmahuokosanalyysi kovettuneesta betonista

ASTM C 457, menettely A:n mukaisesti



Koekappale:	0	Päiväys:	12/6/2014
Projekti nro:	Aimo Laitinen päättötyö	Tekijä:	MN
Toimeksiantaja:	Fatec Oy	Kynnysarvo:	170
Tiedostonimi:	C:\RapidAir\Reports\MN485.xls		

Testauslaboratorio: Savonia-amk, Tekniikka

Koekappale: 0

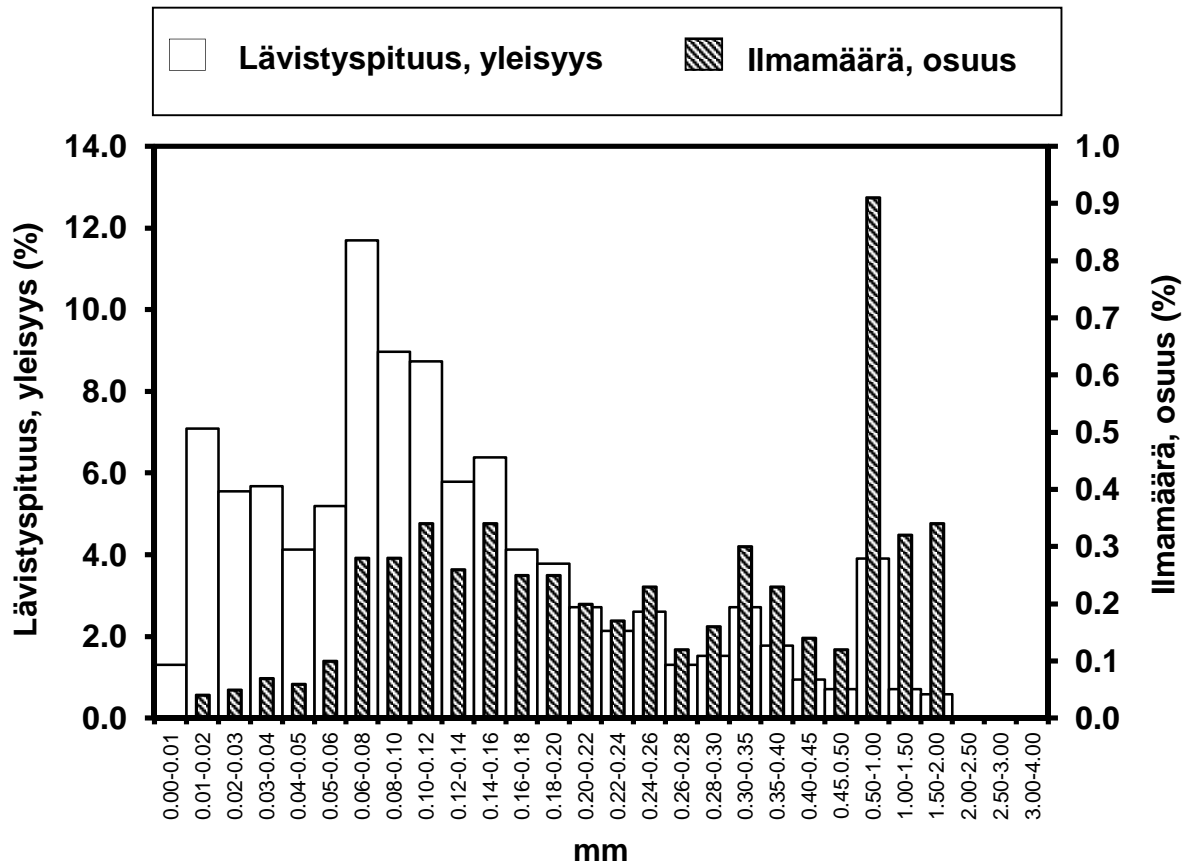
Koekappaleen koko (mm x mm):	100 x 100	Mittauspituus (mm):	2413.7
Pastapitoisuus (%):	30.00	Mitattu pinta-ala (mm x mm):	80 x 80

Lävistyspituusjakaumataulukko

Luokka nro	Lävistyspituus (micron)	Kpl / luokka	%-osuus	Ilmamäärä / luokka	Kumulatiivinen ilmamäärä
1	0-10	11	1.30	0.000	0.000
2	10-20	60	7.08	0.040	0.040
3	20-30	47	5.55	0.050	0.090
4	30-40	48	5.67	0.070	0.160
5	40-50	35	4.13	0.060	0.220
6	50-60	44	5.19	0.100	0.320
7	60-80	99	11.69	0.280	0.610
8	80-100	76	8.97	0.280	0.890
9	100-120	74	8.74	0.340	1.220
10	120-140	49	5.79	0.260	1.490
11	140-160	54	6.38	0.340	1.820
12	160-180	35	4.13	0.250	2.070
13	180-200	32	3.78	0.250	2.320
14	200-220	23	2.72	0.200	2.520
15	220-240	18	2.13	0.170	2.690
16	240-260	22	2.60	0.230	2.920
17	260-280	11	1.30	0.120	3.040
18	280-300	13	1.53	0.160	3.200
19	300-350	23	2.72	0.300	3.500
20	350-400	15	1.77	0.230	3.730
21	400-450	8	0.94	0.140	3.870
22	450-500	6	0.71	0.120	3.980
23	500-1000	33	3.90	0.910	4.160
24	1000-1500	6	0.71	0.320	5.210
25	1500-2000	5	0.59	0.340	5.550
26	2000-2500	0	0.00	0.000	5.550
27	2500-3000	0	0.00	0.000	5.550
28	3000-4000	0	0.00	0.000	5.550

Ilmamäärä (%):	5.55
Ominaispinta-ala (mm ⁻¹):	25.29
Huokosjako (mm):	0.190
Huokostiheys (mm ⁻¹):	0.351
Keskimääräinen lävistyspituus (mm):	0.158
Pasta-ilma-suhde:	5.41

Koekappale: 0



Ilmahuokosparametrit	Lävistys < 0.5 mm	Lävistys < 1.0 mm	Yhteensä
Huokosten lukumäärä	803	836	847
% kokonaismäärästä	94.8	98.7	100
Mitattujen huokosten pituus (mm)	96.15	118.07	133.96
% kokonaispituudesta	71.8	88.1	100
Ilmamäärä (%)	3.98	4.89	5.55
Keskimääräinen lävistyspituus (mm)	0.120	0.141	0.158
Pasta-ilma-suhde	7.54	6.13	5.41
Ominaispinta-ala (mm ⁻¹)	33.41	28.32	25.29
Huokostiheys (mm ⁻¹)	0.333	0.346	0.351
Huokosjako (mm)	0.167	0.180	0.190

Huomautuksia:

Pastapitoisuus laskettu

pistelaskumenetelmällä:

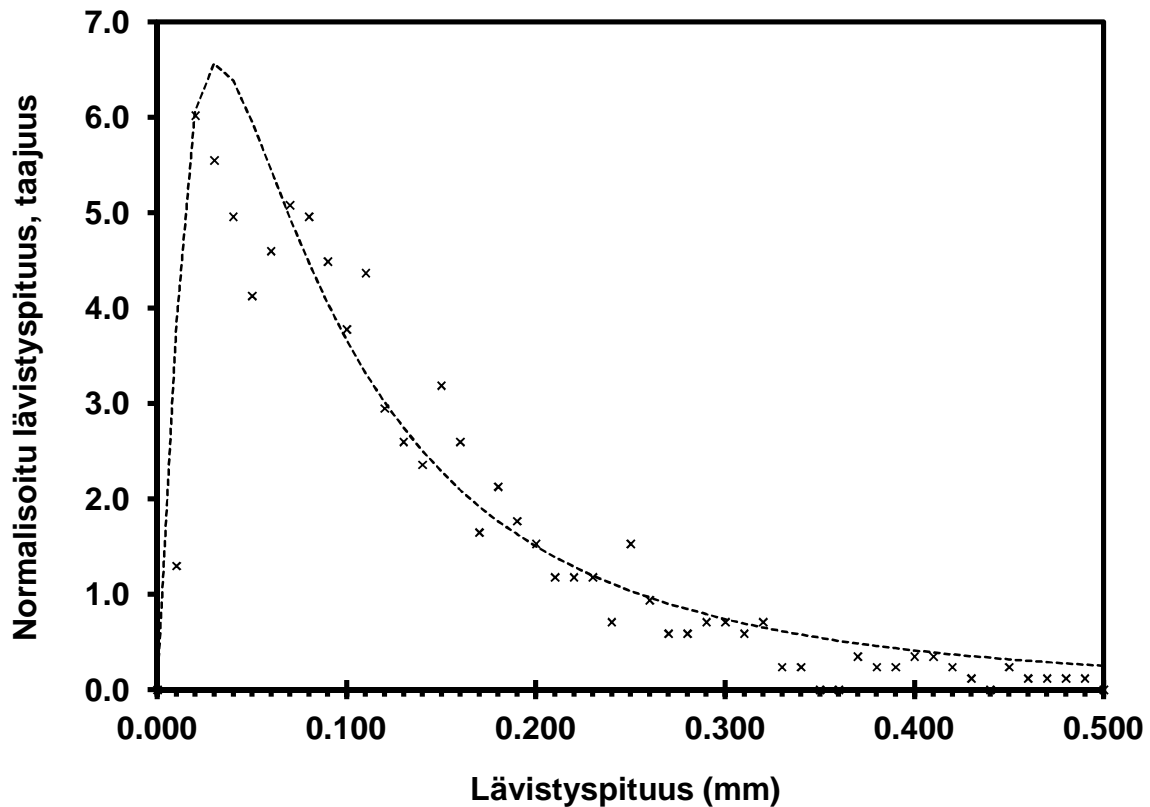
YES

Pistelaskun tiedosto:

C:\RapidAir\Reports\pc443.csv

Koekappale: 0

Log-normal-jakautuma



Huokosjakoparametrit	''	mm
Mallin mukaan useimmin havaittu lävistyspituus	0.00122	0.0309
Keskimääräinen lävistyspituus	0.00620	0.1580
Hajonnan leveys ja vääristymä	0.002	1.088E+00
Neliöityjen virheiden summa	316	

Reference: Roberts, L.R. & Scheiner, P. 1981. Microprocessor-based Linear Traverse Apparatus for Air-Void Distribution Analysis. In: Proc. 3th ICMA, Texas, pp. 211-227

Huomautuksia:

Koekappale: 0

Koekappaleen koko (mm x mm):	100 x 100	Mittauspituus (mm):	2413.7
Pastapitoisuus (%):	30.00	Mitattu pinta-ala (mm x mm):	80 x 80

Lävistyspituusjakaumataulukko

Luokka nro	Lävistyspituus (micron)	Kpl / luokka	%-osuus	Ilmamäärä / luokka	Kumulatiivinen ilmamäärä
1	0-10	11	1.30	0.000	0.000
2	10-20	60	7.08	0.040	0.040
3	20-30	47	5.55	0.050	0.090
4	30-40	48	5.67	0.070	0.160
5	40-50	35	4.13	0.060	0.220
6	50-60	44	5.19	0.100	0.320
7	60-80	99	11.69	0.280	0.610
8	80-100	76	8.97	0.280	0.890
9	100-120	74	8.74	0.340	1.220
10	120-140	49	5.79	0.260	1.490
11	140-160	54	6.38	0.340	1.820
12	160-180	35	4.13	0.250	2.070
13	180-200	32	3.78	0.250	2.320
14	200-220	23	2.72	0.200	2.520
15	220-240	18	2.13	0.170	2.690
16	240-260	22	2.60	0.230	2.920
17	260-280	11	1.30	0.120	3.040
18	280-300	13	1.53	0.160	3.200
19	300-350	23	2.72	0.300	3.500
20	350-400	15	1.77	0.230	3.730
21	400-450	8	0.94	0.140	3.870
22	450-500	6	0.71	0.120	3.980
23	500-1000	33	3.90	0.910	4.160
24	1000-1500	6	0.71	0.320	5.210
25	1500-2000	5	0.59	0.340	5.550
26	2000-2500	0	0.00	0.000	5.550
27	2500-3000	0	0.00	0.000	5.550
28	3000-4000	0	0.00	0.000	5.550

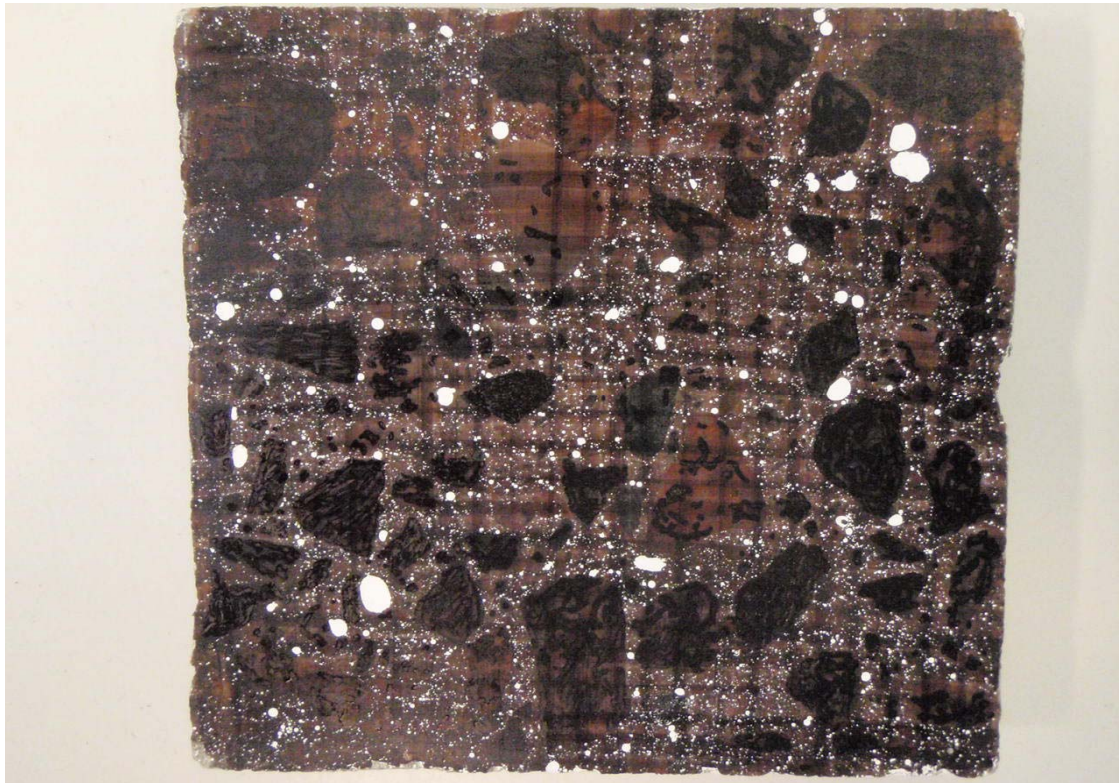
Vain lävistyspituudet 20-1000 micronia on laskennassa mukana!

Ilmamäärä (%):	4.85
Ominaispinta-ala (mm ⁻¹):	26.14
Huokosjako (mm):	0.195
Huokostiheys (mm ⁻¹):	0.317
Keskimääräinen lävistyspituus (mm):	0.153
Pasta-ilma-suhde:	6.19

TEST.SEL.N:o 14104-107
Liite 3

Ilmahuokosanalyysi kovettuneesta betonista

ASTM C 457, menettely A:n mukaisesti



Koekappale:	0 häiritty	Päiväys:	16/06/2014
Projekti nro:	Aimo Laitinen päättötyö	Tekijä:	MN
Toimeksiantaja:	Fatec Oy	Kynnysarvo:	170
Tiedostonimi:	C:\RapidAir\Reports\MN486.xls		

Testauslaboratorio: Savonia-amk, Tekniikka

Koekappale: 0 häiritty

Koekappaleen koko (mm x mm):	100 x 100	Mittauspituus (mm):	2413.7
Pastapitoisuus (%):	27.60	Mitattu pinta-ala (mm x mm):	80 x 80

Lävistyspituusjakaumataulukko

Luokka nro	Lävistyspituus (micron)	Kpl / luokka	%-osuus	Ilmamäärä / luokka	Kumulatiivinen ilmamäärä
1	0-10	14	2.19	0.010	0.010
2	10-20	59	9.22	0.040	0.040
3	20-30	44	6.88	0.050	0.090
4	30-40	58	9.06	0.080	0.170
5	40-50	37	5.78	0.070	0.240
6	50-60	40	6.25	0.090	0.330
7	60-80	61	9.53	0.180	0.510
8	80-100	63	9.84	0.230	0.740
9	100-120	52	8.13	0.230	0.980
10	120-140	35	5.47	0.190	1.170
11	140-160	36	5.63	0.220	1.390
12	160-180	20	3.13	0.140	1.530
13	180-200	15	2.34	0.120	1.650
14	200-220	10	1.56	0.090	1.730
15	220-240	15	2.34	0.140	1.870
16	240-260	9	1.41	0.090	1.970
17	260-280	9	1.41	0.100	2.070
18	280-300	5	0.78	0.060	2.130
19	300-350	12	1.88	0.160	2.290
20	350-400	2	0.31	0.030	2.320
21	400-450	8	1.25	0.140	2.460
22	450-500	2	0.31	0.040	2.500
23	500-1000	19	2.97	0.580	2.530
24	1000-1500	5	0.78	0.250	3.330
25	1500-2000	3	0.47	0.210	3.540
26	2000-2500	4	0.63	0.380	3.920
27	2500-3000	1	0.16	0.120	4.040
28	3000-4000	2	0.31	0.280	4.320

Ilmamäärä (%): 4.32

Ominaispinta-ala (mm⁻¹): 24.54

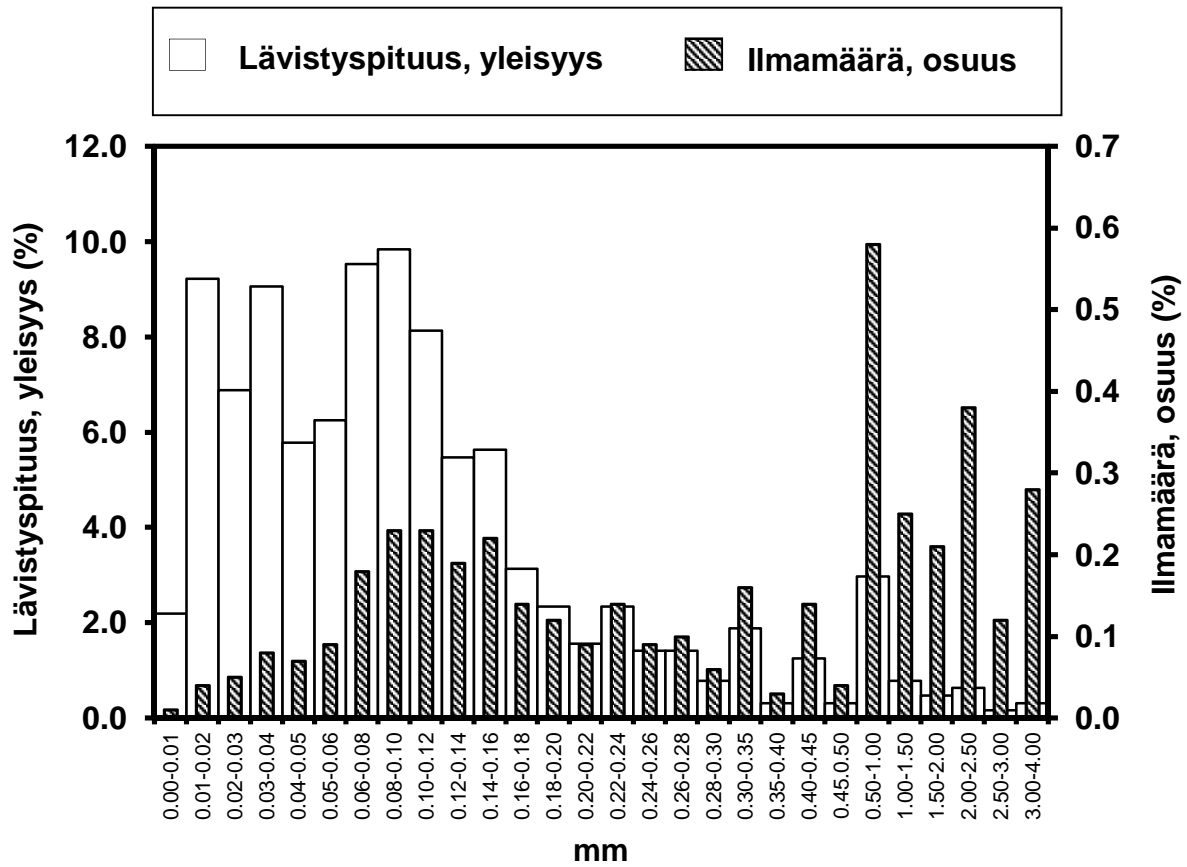
Huokosjako (mm): 0.211

Huokostiheys (mm⁻¹): 0.265

Keskimääräinen lävistyspituus (mm): 0.163

Pasta-ilma-suhde: 6.39

Koekappale: 0 häiritty



Ilmahuokosparametrit	Lävistys < 0.5 mm	Lävistys < 1.0 mm	Yhteensä
Huokosten lukumäärä	606	625	640
% kokonaismäärästä	94.7	97.7	100
Mitattujen huokosten pituus (mm)	60.42	74.37	104.30
% kokonaispituudesta	57.9	71.3	100
Ilmamäärä (%)	2.50	3.08	4.32
Keskimääräinen lävistyspituus (mm)	0.100	0.119	0.163
Pasta-ilma-suhde	11.04	8.96	6.39
Ominaispinta-ala (mm ⁻¹)	40.12	33.62	24.54
Huokostiheys (mm ⁻¹)	0.251	0.259	0.265
Huokosjako (mm)	0.165	0.180	0.211

Huomautuksia:

Pastapitoisuus laskettu

pistelaskumenetelmällä:

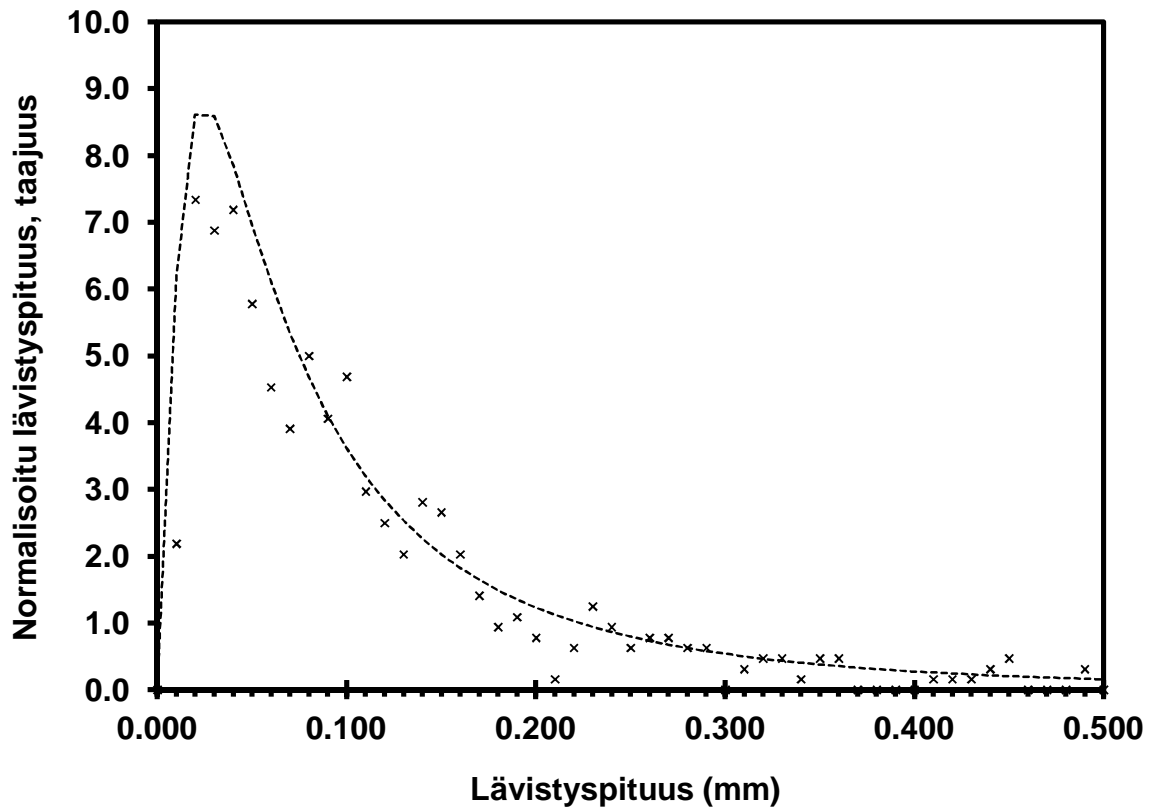
YES

Pistelaskun tiedosto:

C:\RapidAir\Reports\pc444.csv

Koekappale: 0 häiritty

Log-normal-jakautuma



Huokosjakoparametrit	''	mm
Mallin mukaan useimmin havaittu lävistyspituus	0.00096	0.0243
Keskimääräinen lävistyspituus	0.00640	0.1630
Hajonnan leveys ja vääristymä	0.002	1.064E+00
Neliöityjen virheiden summa	334	

Reference: Roberts, L.R. & Scheiner, P. 1981. Microprocessor-based Linear Traverse Apparatus for Air-Void Distribution Analysis. In: Proc. 3th ICMA, Texas, pp. 211-227

Huomautuksia:

Koekappale: 0 häiritty

Koekappaleen koko (mm x mm):	100 x 100	Mittauspituus (mm):	2413.7
Pastapitoisuus (%):	27.60	Mitattu pinta-ala (mm x mm):	80 x 80

Lävistyspituusjakaumataulukko

Luokka nro	Lävistyspituus (micron)	Kpl / luokka	%-osuus	Ilmamäärä / luokka	Kumulatiivinen ilmamäärä
1	0-10	14	2.19	0.010	0.010
2	10-20	59	9.22	0.040	0.040
3	20-30	44	6.88	0.050	0.090
4	30-40	58	9.06	0.080	0.170
5	40-50	37	5.78	0.070	0.240
6	50-60	40	6.25	0.090	0.330
7	60-80	61	9.53	0.180	0.510
8	80-100	63	9.84	0.230	0.740
9	100-120	52	8.13	0.230	0.980
10	120-140	35	5.47	0.190	1.170
11	140-160	36	5.63	0.220	1.390
12	160-180	20	3.13	0.140	1.530
13	180-200	15	2.34	0.120	1.650
14	200-220	10	1.56	0.090	1.730
15	220-240	15	2.34	0.140	1.870
16	240-260	9	1.41	0.090	1.970
17	260-280	9	1.41	0.100	2.070
18	280-300	5	0.78	0.060	2.130
19	300-350	12	1.88	0.160	2.290
20	350-400	2	0.31	0.030	2.320
21	400-450	8	1.25	0.140	2.460
22	450-500	2	0.31	0.040	2.500
23	500-1000	19	2.97	0.580	2.530
24	1000-1500	5	0.78	0.250	3.330
25	1500-2000	3	0.47	0.210	3.540
26	2000-2500	4	0.63	0.380	3.920
27	2500-3000	1	0.16	0.120	4.040
28	3000-4000	2	0.31	0.280	4.320

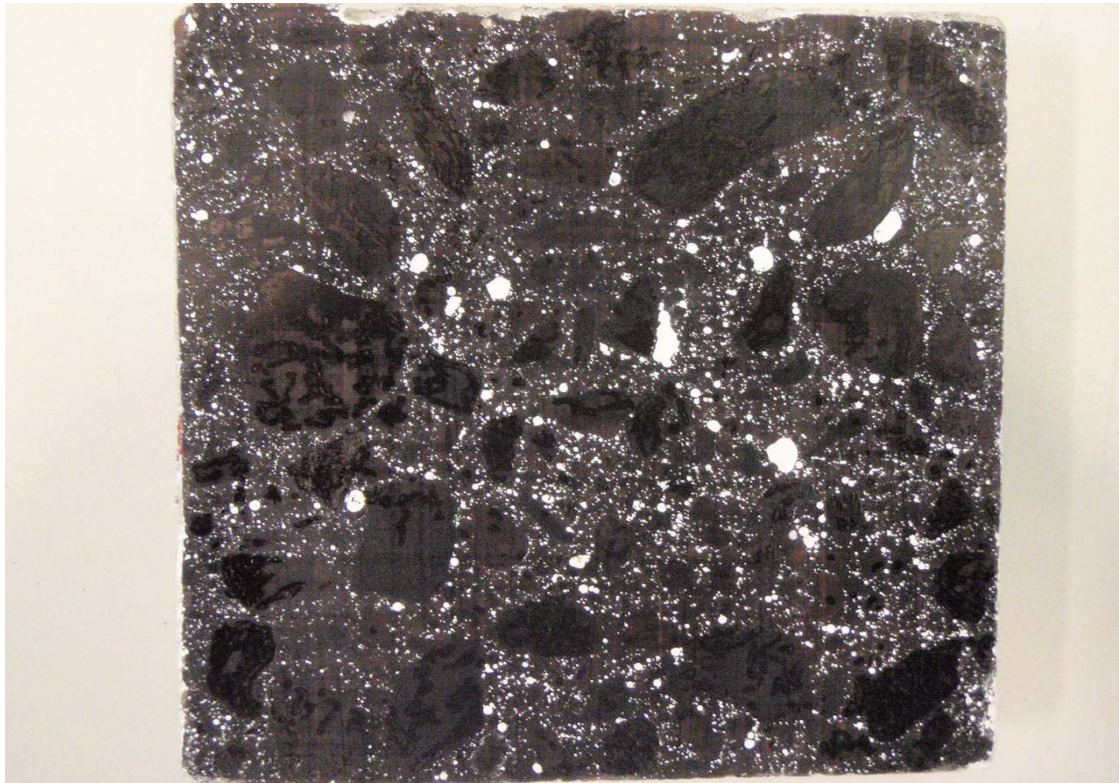
Vain lävistyspituudet 20-1000 micronia on laskennassa mukana!

Ilmamäärä (%):	3.04
Ominaispinta-ala (mm ⁻¹):	30.11
Huokosjako (mm):	0.202
Huokostiheys (mm ⁻¹):	0.229
Keskimääräinen lävistyspituus (mm):	0.133
Pasta-ilma-suhde:	9.08

TEST.SEL.N:o 14104-07
Liite 2

Ilmahuokosanalyysi kovettuneesta betonista

ASTM C 457, menettely A:n mukaisesti



Koekappale:	1	Päiväys:	16/06/2014
Projekti nro:	Aimo Laitinen päättötyö	Tekijä:	MN
Toimeksiantaja:	Fatec Oy	Kynnysarvo:	170
Tiedostonimi:	C:\RapidAir\Reports\MN487.xls		

Testauslaboratorio: Savonia-amk, Tekniikka

Koekappale: 1

Koekappaleen koko (mm x mm):	100 x 100	Mittauspituus (mm):	2413.7
Pastapitoisuus (%):	28.00	Mitattu pinta-ala (mm x mm):	80 x 80

Lävistyspituusjakaumataulukko

Luokka nro	Lävistyspituus (micron)	Kpl / luokka	%-osuus	Ilmamäärä / luokka	Kumulatiivinen ilmamäärä
1	0-10	12	2.20	0.000	0.000
2	10-20	43	7.89	0.030	0.030
3	20-30	27	4.95	0.030	0.060
4	30-40	37	6.79	0.050	0.110
5	40-50	17	3.12	0.030	0.140
6	50-60	31	5.69	0.070	0.210
7	60-80	58	10.64	0.170	0.380
8	80-100	41	7.52	0.150	0.540
9	100-120	46	8.44	0.210	0.740
10	120-140	36	6.61	0.200	0.940
11	140-160	25	4.59	0.160	1.090
12	160-180	17	3.12	0.120	1.210
13	180-200	23	4.22	0.180	1.390
14	200-220	19	3.49	0.160	1.560
15	220-240	11	2.02	0.100	1.660
16	240-260	12	2.20	0.120	1.780
17	260-280	8	1.47	0.090	1.870
18	280-300	8	1.47	0.100	1.970
19	300-350	10	1.83	0.130	2.100
20	350-400	11	2.02	0.170	2.270
21	400-450	8	1.47	0.140	2.420
22	450-500	5	0.92	0.100	2.510
23	500-1000	27	4.95	0.720	2.690
24	1000-1500	8	1.47	0.380	3.610
25	1500-2000	0	0.00	0.000	3.610
26	2000-2500	1	0.18	0.090	3.700
27	2500-3000	4	0.73	0.450	4.150
28	3000-4000	0	0.00	0.000	4.150

Ilmamäärä (%): 4.15

Ominaispinta-ala (mm⁻¹): 21.77

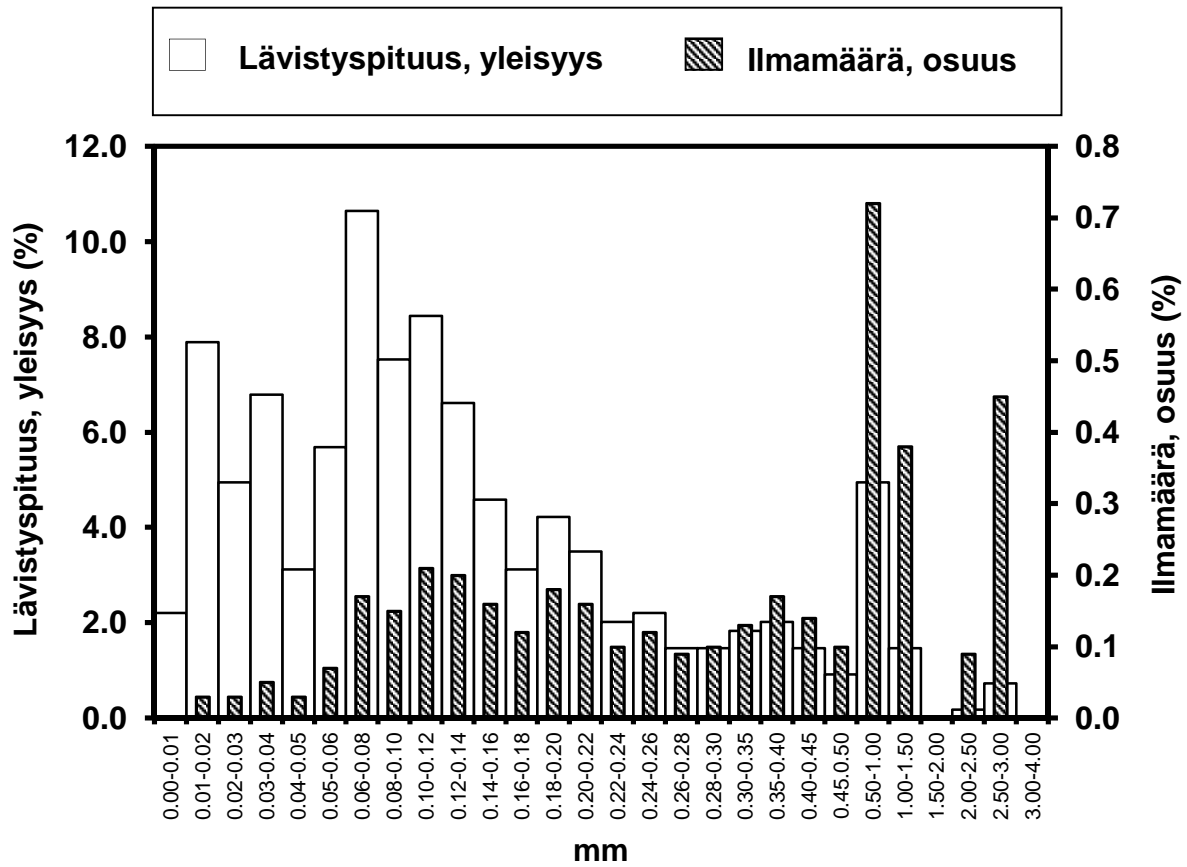
Huokosjako (mm): 0.244

Huokostiheys (mm⁻¹): 0.226

Keskimääräinen lävistyspituus (mm): 0.184

Pasta-ilma-suhde: 6.75

Koekappale: 1



Ilmahuokosparametrit	Lävistys < 0.5 mm	Lävistys < 1.0 mm	Yhteensä
Huokosten lukumäärä	505	532	545
% kokonaismäärästä	92.7	97.6	100
Mitattujen huokosten pituus (mm)	60.70	78.07	100.15
% kokonaispituudesta	60.6	77.9	100
Ilmamäärä (%)	2.51	3.23	4.15
Keskimääräinen lävistyspituus (mm)	0.120	0.147	0.184
Pasta-ilma-suhde	11.16	8.67	6.75
Ominaispinta-ala (mm ⁻¹)	33.28	27.26	21.77
Huokostiheys (mm ⁻¹)	0.209	0.220	0.226
Huokosjako (mm)	0.200	0.218	0.244

Huomautuksia:

Pastapitoisuus laskettu

pistelaskumenetelmällä:

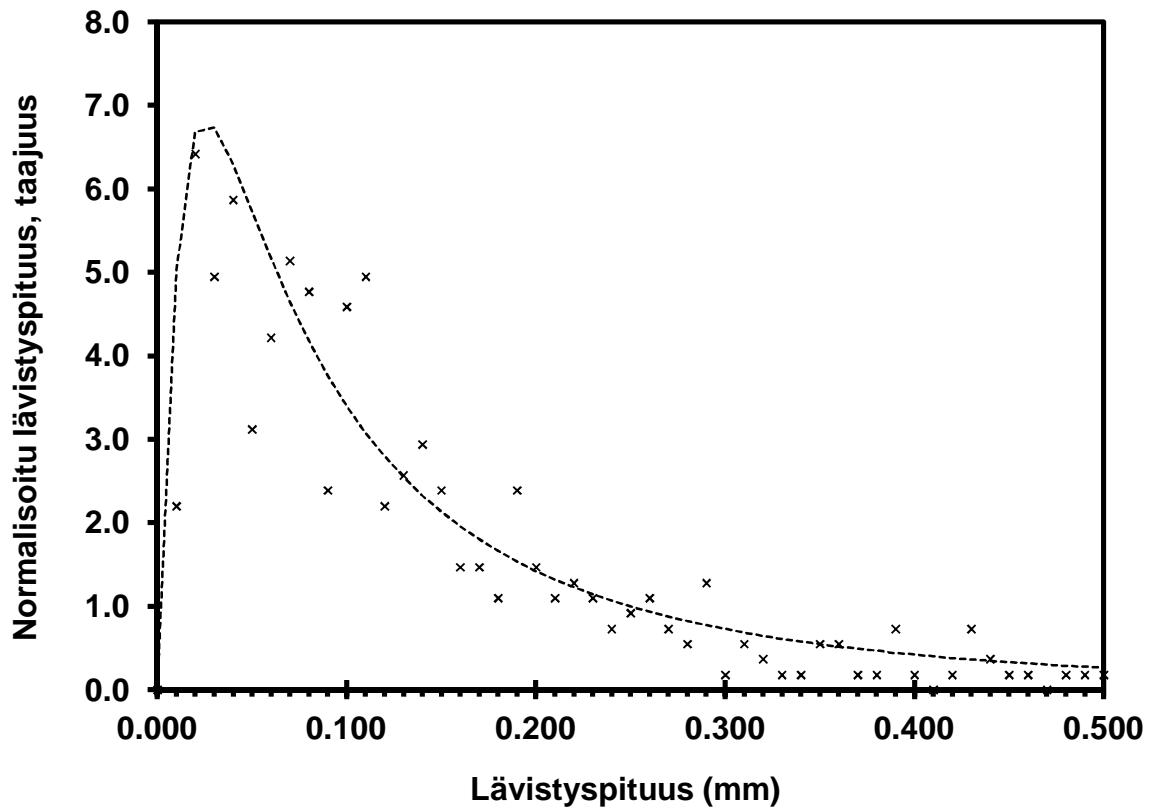
YES

Pistelaskun tiedosto:

C:\RapidAir\Reports\pc445.csv

Koekappale: 1

Log-normal-jakautuma



Huokosjakoparametrit	''	mm
Mallin mukaan useimmin havaittu lävistyspituus	0.00099	0.0251
Keskimääräinen lävistyspituus	0.00720	0.1840
Hajonnan leveys ja vääristymä	0.002	1.173E+00
Neliöityjen virheiden summa	451	

Reference: Roberts, L.R. & Scheiner, P. 1981. Microprocessor-based Linear Traverse Apparatus for Air-Void Distribution Analysis. In: Proc. 3th ICMA, Texas, pp. 211-227

Huomautuksia:

Koekappale: 1

Koekappaleen koko (mm x mm):	100 x 100	Mittauspituus (mm):	2413.7
Pastapitoisuus (%):	28.00	Mitattu pinta-ala (mm x mm):	80 x 80

Lävistyspituusjakaumataulukko

Luokka nro	Lävistyspituus (micron)	Kpl / luokka	%-osuus	Ilmamäärä / luokka	Kumulatiivinen ilmamäärä
1	0-10	12	2.20	0.000	0.000
2	10-20	43	7.89	0.030	0.030
3	20-30	27	4.95	0.030	0.060
4	30-40	37	6.79	0.050	0.110
5	40-50	17	3.12	0.030	0.140
6	50-60	31	5.69	0.070	0.210
7	60-80	58	10.64	0.170	0.380
8	80-100	41	7.52	0.150	0.540
9	100-120	46	8.44	0.210	0.740
10	120-140	36	6.61	0.200	0.940
11	140-160	25	4.59	0.160	1.090
12	160-180	17	3.12	0.120	1.210
13	180-200	23	4.22	0.180	1.390
14	200-220	19	3.49	0.160	1.560
15	220-240	11	2.02	0.100	1.660
16	240-260	12	2.20	0.120	1.780
17	260-280	8	1.47	0.090	1.870
18	280-300	8	1.47	0.100	1.970
19	300-350	10	1.83	0.130	2.100
20	350-400	11	2.02	0.170	2.270
21	400-450	8	1.47	0.140	2.420
22	450-500	5	0.92	0.100	2.510
23	500-1000	27	4.95	0.720	2.690
24	1000-1500	8	1.47	0.380	3.610
25	1500-2000	0	0.00	0.000	3.610
26	2000-2500	1	0.18	0.090	3.700
27	2500-3000	4	0.73	0.450	4.150
28	3000-4000	0	0.00	0.000	4.150

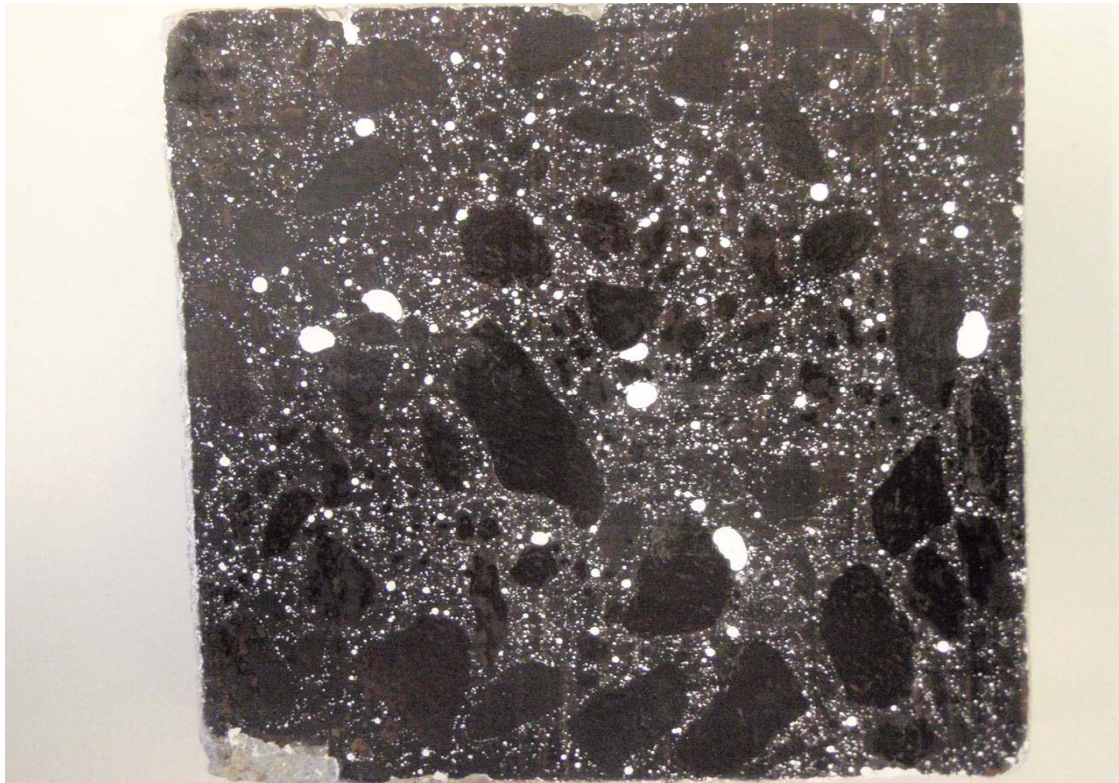
Vain lävistyspituudet 20-1000 micronia on laskennassa mukana!

Ilmamäärä (%):	3.20
Ominaispinta-ala (mm ⁻¹):	24.68
Huokosjako (mm):	0.242
Huokostiheys (mm ⁻¹):	0.198
Keskimääräinen lävistyspituus (mm):	0.162
Pasta-ilma-suhde:	8.75

TEST.SEL.N:o 14104-107
Liite 4

Ilmahuokosanalyysi kovettuneesta betonista

ASTM C 457, menettely A:n mukaisesti



Koekappale:	1 häiritty	Päiväys:	17/06/2014
Projekti nro:	Aimo Laitinen päättötyö	Tekijä:	MN
Toimeksiantaja:	Fatec Oy	Kynnysarvo:	170
Tiedostonimi:	C:\RapidAir\Reports\MN488.xls		

Testauslaboratorio: Savonia-amk, Tekniikka

Koekappale: 1 häiritty

Koekappaleen koko (mm x mm):	100 x 100	Mittauspituus (mm):	2413.7
Pastapitoisuus (%):	29.40	Mitattu pinta-ala (mm x mm):	80 x 80

Lävistyspituusjakaumataulukko

Luokka nro	Lävistyspituus (micron)	Kpl / luokka	%-osuus	Ilmamäärä / luokka	Kumulatiivinen ilmamäärä
1	0-10	19	2.59	0.010	0.010
2	10-20	108	14.73	0.070	0.070
3	20-30	51	6.96	0.050	0.130
4	30-40	56	7.64	0.080	0.210
5	40-50	41	5.59	0.080	0.280
6	50-60	45	6.14	0.100	0.380
7	60-80	67	9.14	0.190	0.580
8	80-100	71	9.69	0.260	0.840
9	100-120	49	6.68	0.220	1.060
10	120-140	30	4.09	0.160	1.220
11	140-160	26	3.55	0.160	1.390
12	160-180	26	3.55	0.180	1.570
13	180-200	13	1.77	0.100	1.670
14	200-220	16	2.18	0.140	1.810
15	220-240	9	1.23	0.080	1.890
16	240-260	7	0.95	0.070	1.970
17	260-280	13	1.77	0.140	2.110
18	280-300	10	1.36	0.120	2.230
19	300-350	15	2.05	0.200	2.430
20	350-400	11	1.50	0.170	2.600
21	400-450	8	1.09	0.140	2.740
22	450-500	4	0.55	0.080	2.820
23	500-1000	27	3.68	0.810	2.910
24	1000-1500	4	0.55	0.190	3.820
25	1500-2000	3	0.41	0.210	4.030
26	2000-2500	0	0.00	0.000	4.030
27	2500-3000	2	0.27	0.240	4.270
28	3000-4000	2	0.27	0.300	4.570

Ilmamäärä (%): 4.57

Ominaispinta-ala (mm⁻¹): 26.60

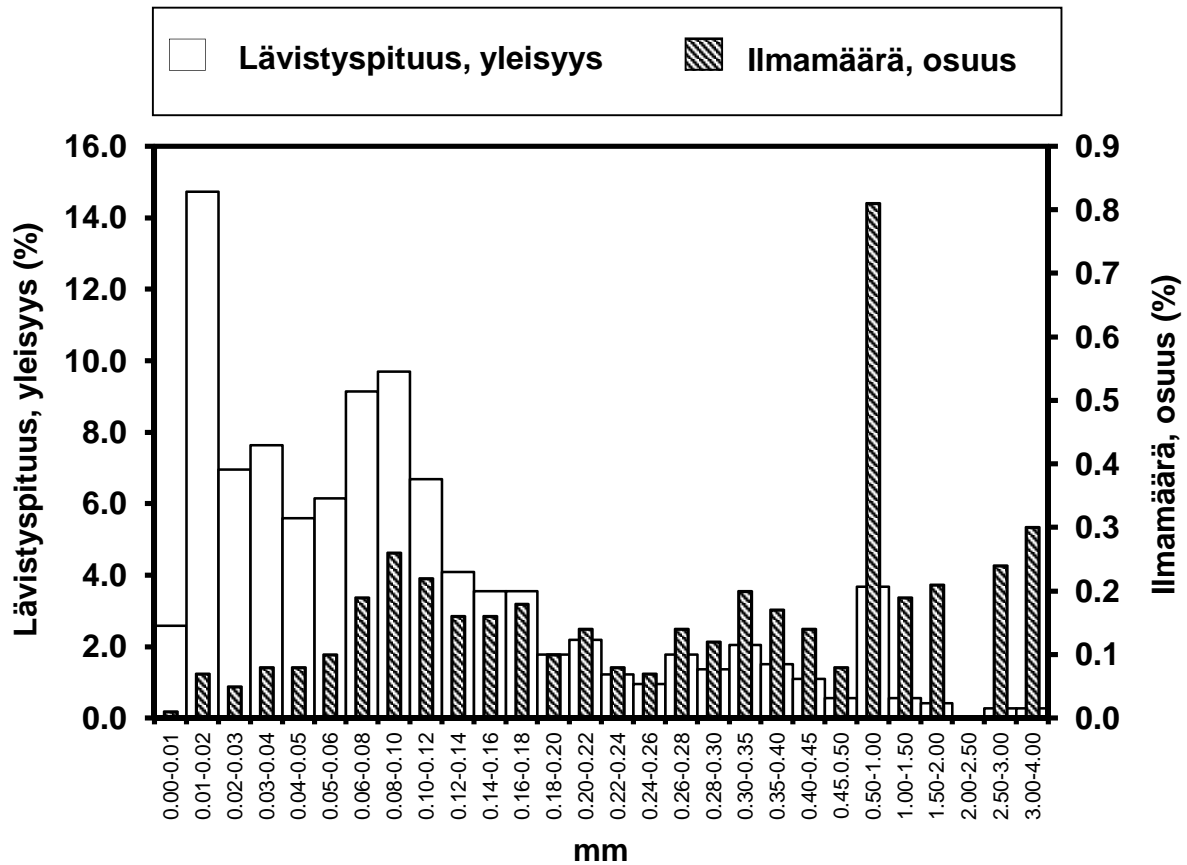
Huokosjako (mm): 0.195

Huokostiheys (mm⁻¹): 0.304

Keskimääräinen lävistyspituus (mm): 0.150

Pasta-ilma-suhde: 6.43

Koekappale: 1 häiritty



Ilmahuokosparametrit	Lävistys < 0.5 mm	Lävistys < 1.0 mm	Yhteensä
Huokosten lukumäärä	695	722	733
% kokonaismäärästä	94.8	98.5	100
Mitattujen huokosten pituus (mm)	68.06	87.72	110.23
% kokonaispituudesta	61.7	79.6	100
Ilmamäärä (%)	2.82	3.63	4.57
Keskimääräinen lävistyspituus (mm)	0.098	0.121	0.150
Pasta-ilma-suhde	10.43	8.10	6.43
Ominaispinta-ala (mm ⁻¹)	40.84	32.92	26.60
Huokostiheys (mm ⁻¹)	0.288	0.299	0.304
Huokosjako (mm)	0.158	0.175	0.195

Huomautuksia:

Pastapitoisuus laskettu

pistelaskumenetelmällä:

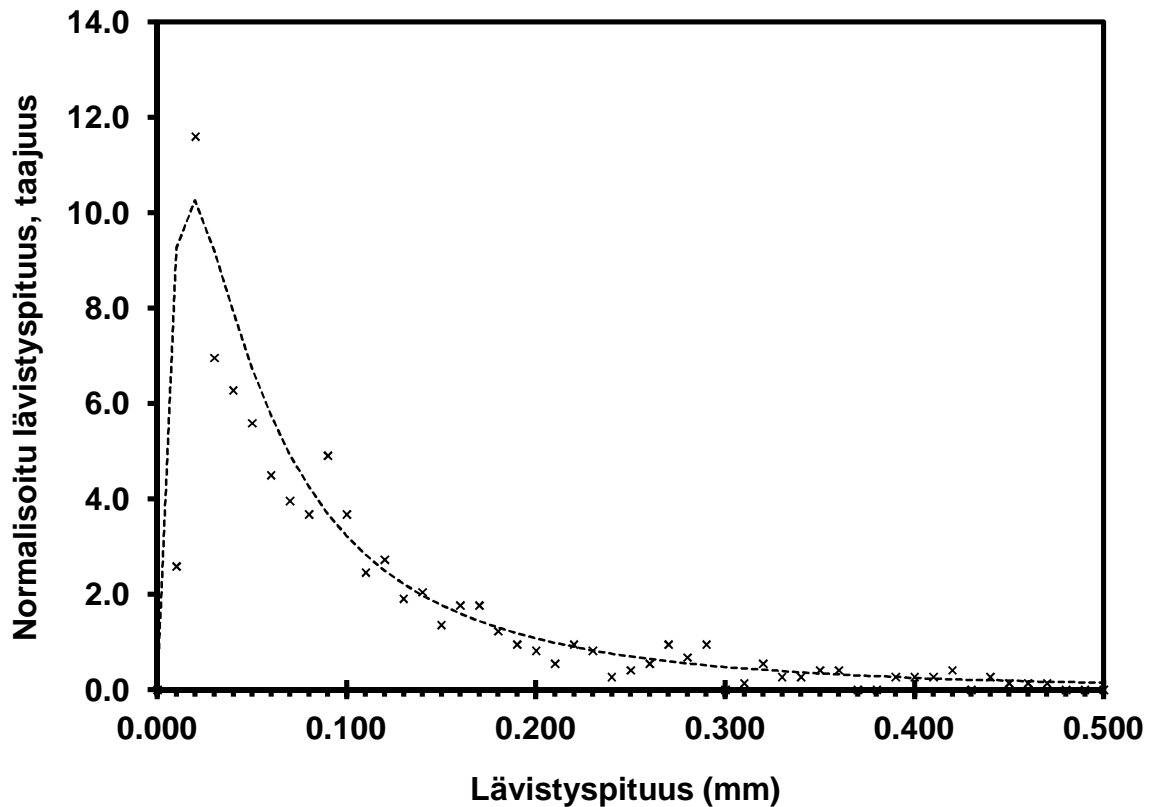
YES

Pistelaskun tiedosto:

C:\RapidAir\Reports\pc446.csv

Koekappale: 1 häiritty

Log-normal-jakautuma



Huokosjakoparametrit	''	mm
Mallin mukaan useimmin havaittu lävistyspituus	0.00068	0.0172
Keskimääräinen lävistyspituus	0.00590	0.1500
Hajonnan leveys ja vääristymä	0.002	1.153E+00
Neliöityjen virheiden summa	492	

Reference: Roberts, L.R. & Scheiner, P. 1981. Microprocessor-based Linear Traverse Apparatus for Air-Void Distribution Analysis. In: Proc. 3th ICMA, Texas, pp. 211-227

Huomautuksia:

Koekappale: 1 häiritty

Koekappaleen koko (mm x mm):	100 x 100	Mittauspituus (mm):	2413.7
Pastapitoisuus (%):	29.40	Mitattu pinta-ala (mm x mm):	80 x 80

Lävistyspituusjakaumataulukko

Luokka nro	Lävistyspituus (micron)	Kpl / luokka	%-osuus	Ilmamäärä / luokka	Kumulatiivinen ilmamäärä
1	0-10	19	2.59	0.010	0.010
2	10-20	108	14.73	0.070	0.070
3	20-30	51	6.96	0.050	0.130
4	30-40	56	7.64	0.080	0.210
5	40-50	41	5.59	0.080	0.280
6	50-60	45	6.14	0.100	0.380
7	60-80	67	9.14	0.190	0.580
8	80-100	71	9.69	0.260	0.840
9	100-120	49	6.68	0.220	1.060
10	120-140	30	4.09	0.160	1.220
11	140-160	26	3.55	0.160	1.390
12	160-180	26	3.55	0.180	1.570
13	180-200	13	1.77	0.100	1.670
14	200-220	16	2.18	0.140	1.810
15	220-240	9	1.23	0.080	1.890
16	240-260	7	0.95	0.070	1.970
17	260-280	13	1.77	0.140	2.110
18	280-300	10	1.36	0.120	2.230
19	300-350	15	2.05	0.200	2.430
20	350-400	11	1.50	0.170	2.600
21	400-450	8	1.09	0.140	2.740
22	450-500	4	0.55	0.080	2.820
23	500-1000	27	3.68	0.810	2.910
24	1000-1500	4	0.55	0.190	3.820
25	1500-2000	3	0.41	0.210	4.030
26	2000-2500	0	0.00	0.000	4.030
27	2500-3000	2	0.27	0.240	4.270
28	3000-4000	2	0.27	0.300	4.570

Vain lävistyspituudet 20-1000 micronia on laskennassa mukana!

Ilmamäärä (%):	3.56
Ominaispinta-ala (mm ⁻¹):	27.68
Huokosjako (mm):	0.210
Huokostiheys (mm ⁻¹):	0.247
Keskimääräinen lävistyspituus (mm):	0.144
Pasta-ilma-suhde:	8.26

TEST.SEL.N:o 14108
Liite 1

Ilmahuokosanalyysi kovettuneesta betonista

ASTM C 457, menettely A:n mukaisesti



Koekappale:	5	Päiväys:	18/06/2014
Projekti nro:		Tekijä:	MN
Toimeksiantaja:	Fatec Oy	Kynnysarvo:	170
Tiedostonimi:	C:\RapidAir\Reports\MN489.xls		

Testauslaboratorio: Savonia-amk, Tekniikka

Koekappale: 5

Koekappaleen koko (mm x mm):	100 x 51	Mittauspituus (mm):	2413.7
Pastapitoisuus (%):	27.20	Mitattu pinta-ala (mm x mm):	80 x 45

Lävistyspituusjakaumataulukko

Luokka nro	Lävistyspituus (micron)	Kpl / luokka	%-osuus	Ilmamäärä / luokka	Kumulatiivinen ilmamäärä
1	0-10	24	2.05	0.010	0.010
2	10-20	94	8.04	0.060	0.070
3	20-30	79	6.76	0.080	0.150
4	30-40	121	10.35	0.170	0.320
5	40-50	81	6.93	0.150	0.480
6	50-60	105	8.98	0.240	0.710
7	60-80	129	11.04	0.370	1.080
8	80-100	143	12.23	0.520	1.610
9	100-120	91	7.78	0.410	2.010
10	120-140	73	6.24	0.400	2.410
11	140-160	44	3.76	0.270	2.680
12	160-180	29	2.48	0.200	2.890
13	180-200	21	1.80	0.160	3.050
14	200-220	32	2.74	0.280	3.330
15	220-240	18	1.54	0.170	3.500
16	240-260	11	0.94	0.110	3.620
17	260-280	12	1.03	0.140	3.750
18	280-300	12	1.03	0.140	3.900
19	300-350	22	1.88	0.290	4.190
20	350-400	8	0.68	0.120	4.310
21	400-450	7	0.60	0.130	4.440
22	450-500	4	0.34	0.080	4.520
23	500-1000	8	0.68	0.230	4.580
24	1000-1500	0	0.00	0.000	4.750
25	1500-2000	1	0.09	0.070	4.820
26	2000-2500	0	0.00	0.000	4.820
27	2500-3000	0	0.00	0.000	4.820
28	3000-4000	0	0.00	0.000	4.820

Ilmamäärä (%): 4.82

Ominaispinta-ala (mm⁻¹): 40.20

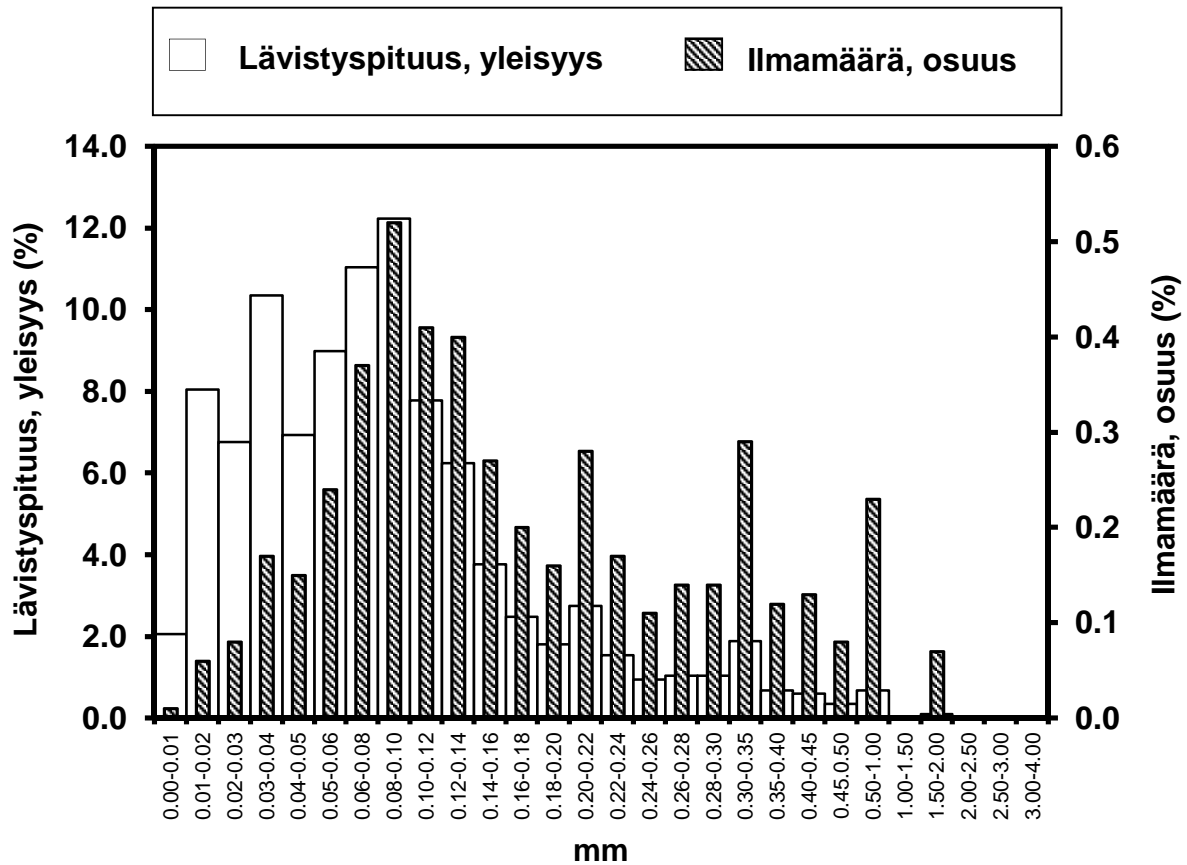
Huokosjako (mm): 0.122

Huokostiheys (mm⁻¹): 0.484

Keskimääräinen lävistyspituus (mm): 0.099

Pasta-ilma-suhde: 5.64

Koekappale: 5



Ilmahuokosparametrit	Lävistys < 0.5 mm	Lävistys < 1.0 mm	Yhteensä
Huokosten lukumäärä	1160	1168	1169
% kokonaismäärästä	99.2	99.9	100
Mitattujen huokosten pituus (mm)	109.03	114.63	116.31
% kokonaispituudesta	93.7	98.6	100
Ilmamäärä (%)	4.52	4.75	4.82
Keskimääräinen lävistyspituus (mm)	0.094	0.098	0.099
Pasta-ilma-suhde	6.02	5.73	5.64
Ominaispinta-ala (mm ⁻¹)	42.56	40.76	40.20
Huokostiheys (mm ⁻¹)	0.481	0.484	0.484
Huokosjako (mm)	0.119	0.121	0.122

Huomautuksia:

Pastapitoisuus laskettu

pistelaskumenetelmällä:

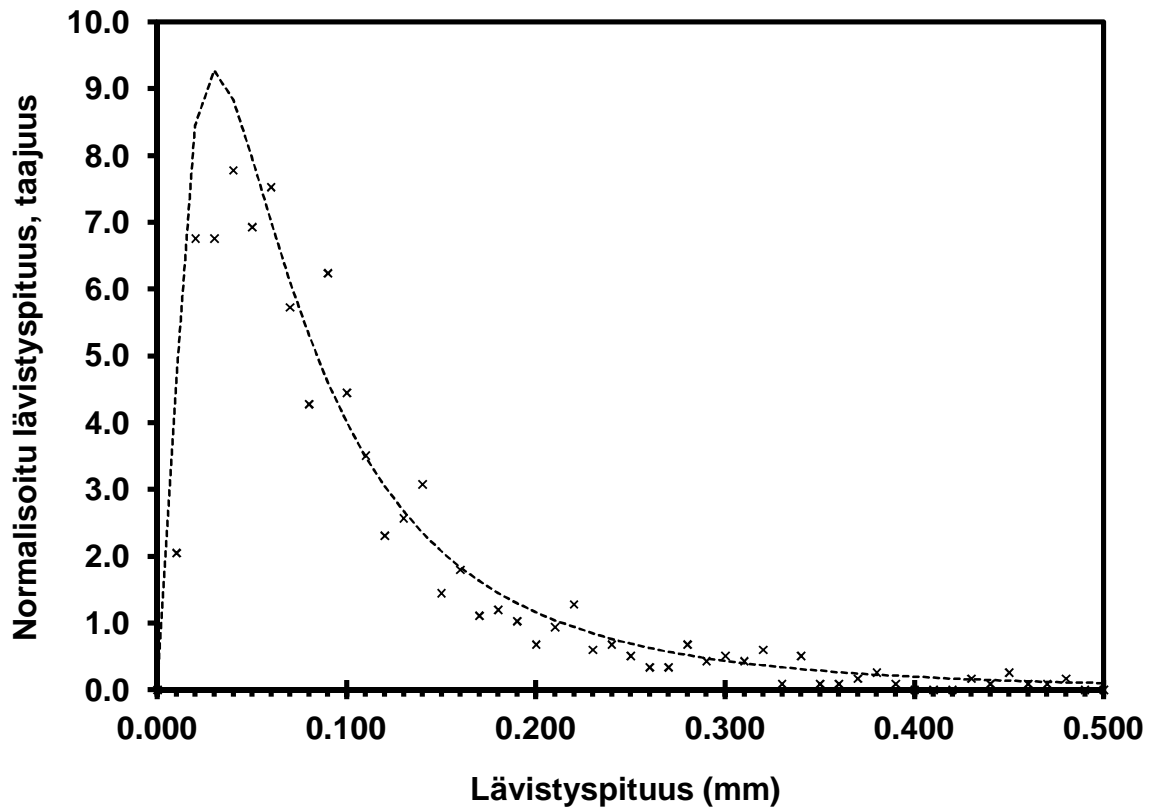
YES

Pistelaskun tiedosto:

C:\RapidAir\Reports\pc447.csv

Koekappale: 5

Log-normal-jakautuma



Huokosjakoparametrit	''	mm
Mallin mukaan useimmin havaittu lävistyspituus	0.00118	0.0299
Keskimääräinen lävistyspituus	0.00390	0.0990
Hajonnan leveys ja vääristymä	0.001	9.320E-01
Neliöityjen virheiden summa	231	

Reference: Roberts, L.R. & Scheiner, P. 1981. Microprocessor-based Linear Traverse Apparatus for Air-Void Distribution Analysis. In: Proc. 3th ICMA, Texas, pp. 211-227

Huomautuksia:

Koekappale: 5

Koekappaleen koko (mm x mm):	100 x 51	Mittauspituus (mm):	2413.7
Pastapitoisuus (%):	27.20	Mitattu pinta-ala (mm x mm):	80 x 45

Lävistyspituusjakaumataulukko

Luokka nro	Lävistyspituus (micron)	Kpl / luokka	%-osuus	Ilmamäärä / luokka	Kumulatiivinen ilmamäärä
1	0-10	24	2.05	0.010	0.010
2	10-20	94	8.04	0.060	0.070
3	20-30	79	6.76	0.080	0.150
4	30-40	121	10.35	0.170	0.320
5	40-50	81	6.93	0.150	0.480
6	50-60	105	8.98	0.240	0.710
7	60-80	129	11.04	0.370	1.080
8	80-100	143	12.23	0.520	1.610
9	100-120	91	7.78	0.410	2.010
10	120-140	73	6.24	0.400	2.410
11	140-160	44	3.76	0.270	2.680
12	160-180	29	2.48	0.200	2.890
13	180-200	21	1.80	0.160	3.050
14	200-220	32	2.74	0.280	3.330
15	220-240	18	1.54	0.170	3.500
16	240-260	11	0.94	0.110	3.620
17	260-280	12	1.03	0.140	3.750
18	280-300	12	1.03	0.140	3.900
19	300-350	22	1.88	0.290	4.190
20	350-400	8	0.68	0.120	4.310
21	400-450	7	0.60	0.130	4.440
22	450-500	4	0.34	0.080	4.520
23	500-1000	8	0.68	0.230	4.580
24	1000-1500	0	0.00	0.000	4.750
25	1500-2000	1	0.09	0.070	4.820
26	2000-2500	0	0.00	0.000	4.820
27	2500-3000	0	0.00	0.000	4.820
28	3000-4000	0	0.00	0.000	4.820

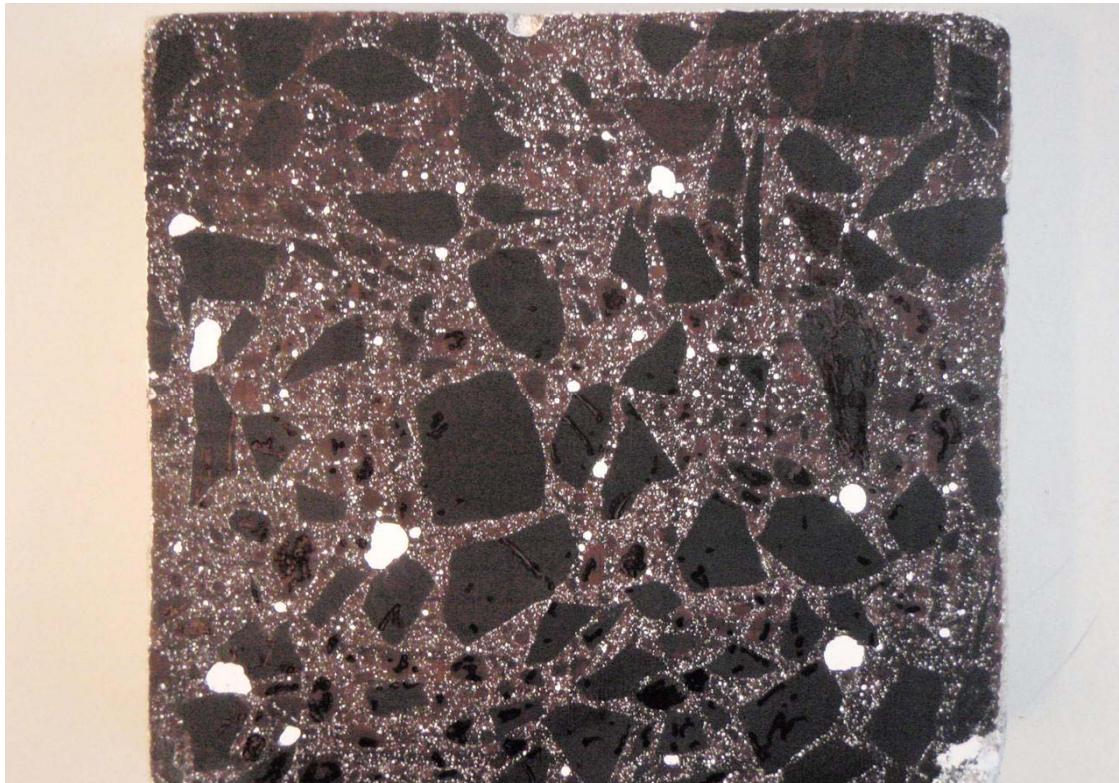
Vain lävistyspituudet 20-1000 micronia on laskennassa mukana!

Ilmamäärä (%):	4.68
Ominaispinta-ala (mm ⁻¹):	37.18
Huokosjako (mm):	0.134
Huokostiheys (mm ⁻¹):	0.435
Keskimääräinen lävistyspituus (mm):	0.108
Pasta-ilma-suhde:	5.81

TEST.SEL.N:o 14255-256
Liite 1

Ilmahuokosanalyysi kovettuneesta betonista

ASTM C 457, menettely A:n mukaisesti



Koekappale:	0	Päiväys:	21/10/2014
Projekti:	Aimo Laitisen päättötyö	Tekijä:	MN
Toimeksiantaja:	Fatec Oy	Kynnysarvo:	170
Tiedostonimi:	C:\RapidAir\Reports\MN532.xls		

Testauslaboratorio: Savonia-amk, Tekniikka

Koekappale: 0

Koekappaleen koko (mm x mm):	100 x 100	Mittauspituus (mm):	2413.7
Pastapitoisuus (%):	25.60	Mitattu pinta-ala (mm x mm):	80 x 80

Lävistyspituusjakaumataulukko

Luokka nro	Lävistyspituus (micron)	Kpl / luokka	%-osuus	Ilmamäärä / luokka	Kumulatiivinen ilmamäärä
1	0-10	23	2.33	0.010	0.010
2	10-20	100	10.12	0.060	0.070
3	20-30	88	8.91	0.090	0.160
4	30-40	103	10.43	0.150	0.310
5	40-50	80	8.10	0.150	0.460
6	50-60	96	9.72	0.210	0.670
7	60-80	125	12.65	0.360	1.030
8	80-100	90	9.11	0.330	1.360
9	100-120	60	6.07	0.270	1.630
10	120-140	52	5.26	0.280	1.910
11	140-160	35	3.54	0.220	2.130
12	160-180	14	1.42	0.100	2.230
13	180-200	21	2.13	0.160	2.390
14	200-220	15	1.52	0.130	2.520
15	220-240	17	1.72	0.160	2.680
16	240-260	17	1.72	0.170	2.860
17	260-280	3	0.30	0.030	2.890
18	280-300	6	0.61	0.070	2.960
19	300-350	9	0.91	0.120	3.080
20	350-400	1	0.10	0.020	3.100
21	400-450	4	0.40	0.070	3.170
22	450-500	4	0.40	0.080	3.240
23	500-800	15	1.52	0.420	3.330
24	800-1500	4	0.40	0.190	3.860
25	1500-2000	1	0.10	0.080	3.940
26	2000-2500	0	0.00	0.000	3.940
27	2500-3000	1	0.10	0.120	4.060
28	3000-4000	4	0.40	0.580	4.640

Ilmamäärä (%): 4.64

Ominaispinta-ala (mm⁻¹): 35.27

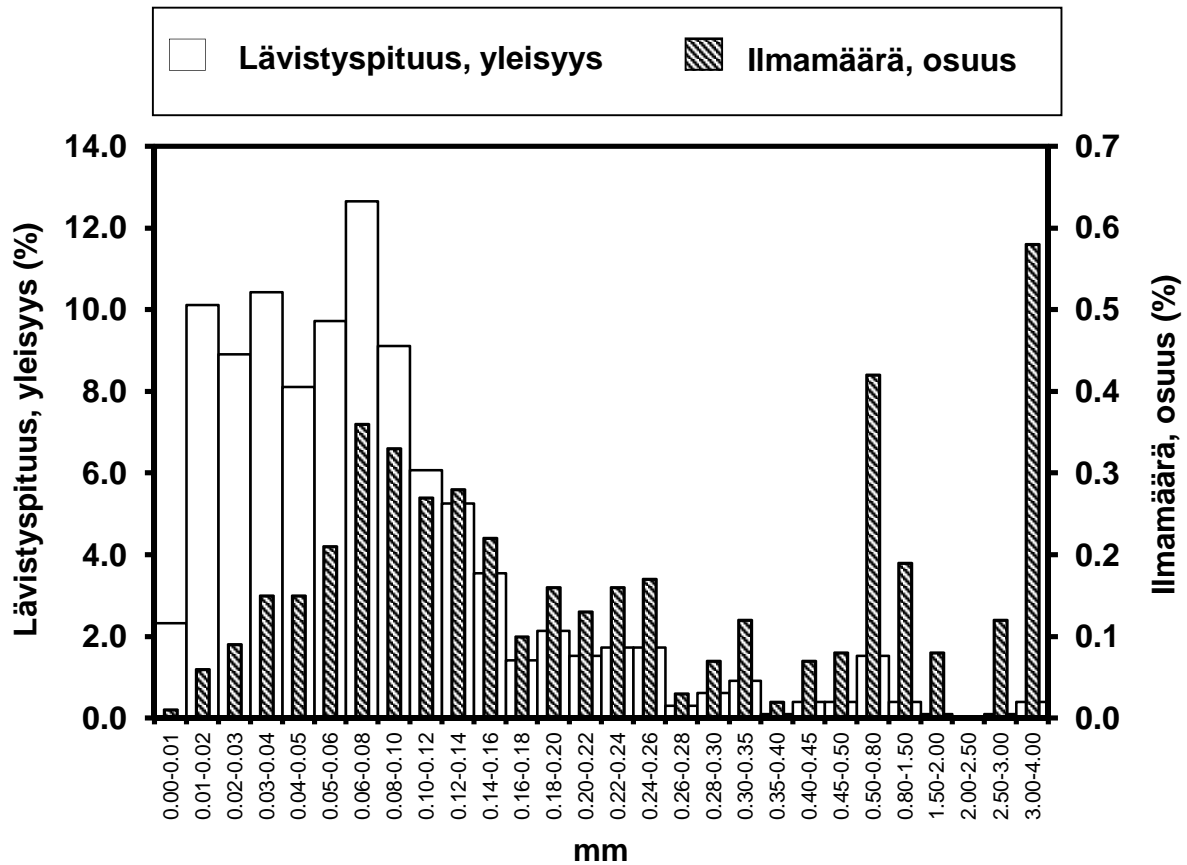
Huokosjako (mm): 0.137

Huokostiheys (mm⁻¹): 0.409

Keskimääräinen lävistyspituus (mm): 0.113

Pasta-ilma-suhde: 5.52

Koekappale: 0



Ilmahuokosparametrit	Lävistys < 0.5 mm	Lävistys < 1.0 mm	Yhteensä
Huokosten lukumäärä	963	978	988
% kokonaismäärästä	97.5	99.0	100
Mitattujen huokosten pituus (mm)	78.31	88.41	112.05
% kokonaispituudesta	69.9	78.9	100
Ilmamäärä (%)	3.24	3.66	4.64
Keskimääräinen lävistyspituus (mm)	0.081	0.090	0.113
Pasta-ilma-suhde	7.90	6.99	5.52
Ominaispinta-ala (mm ⁻¹)	49.19	44.25	35.27
Huokostiheys (mm ⁻¹)	0.399	0.405	0.409
Huokosjako (mm)	0.116	0.122	0.137

Huomautuksia:

Pastapitoisuus laskettu

pistelaskumenetelmällä:

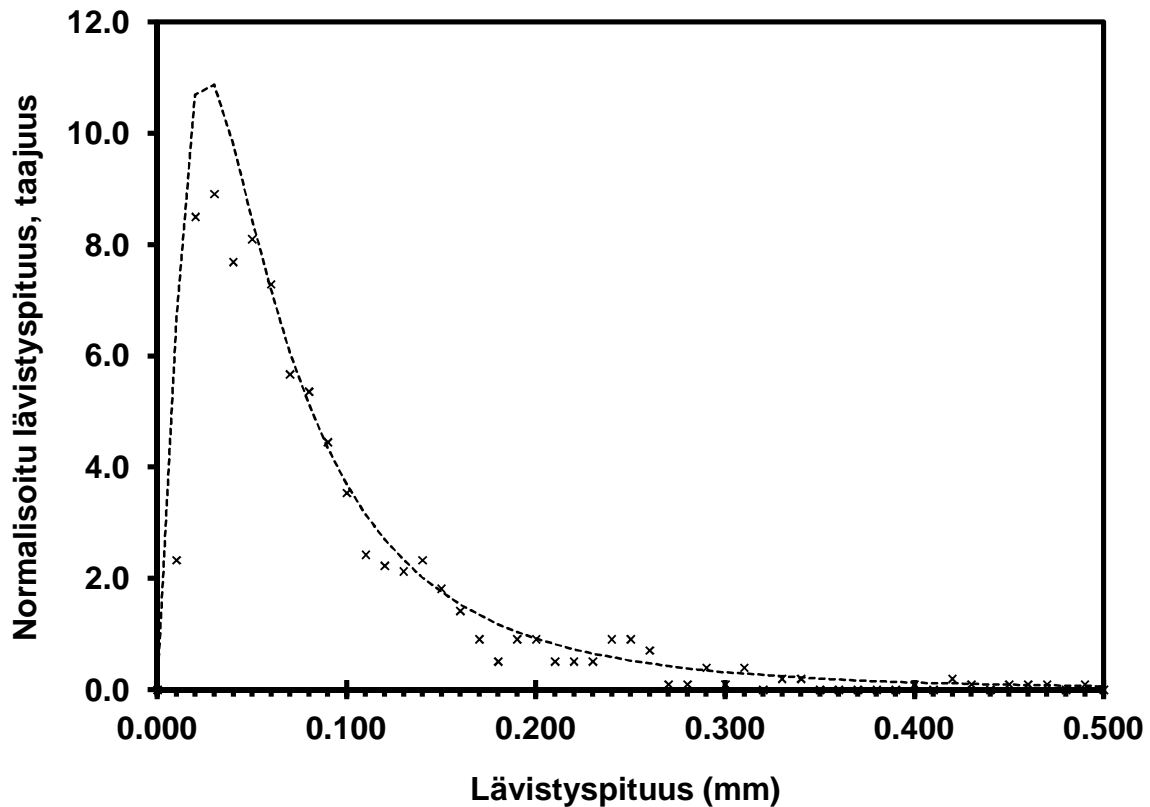
YES

Pistelaskun tiedosto:

C:\RapidAir\Reports\pc489.csv

Koekappale: 0

Log-normal-jakautuma



Huokosjakoparametrit	''	mm
Mallin mukaan useimmin havaittu lävistyspituus	0.00100	0.0254
Keskimääräinen lävistyspituus	0.00450	0.1130
Hajonnan leveys ja vääristymä	0.001	9.260E-01
Neliöityjen virheiden summa	194	

Reference: Roberts, L.R. & Scheiner, P. 1981. Microprocessor-based Linear Traverse Apparatus for Air-Void Distribution Analysis. In: Proc. 3th ICMA, Texas, pp. 211-227

Huomautuksia:

Koekappale: 0

Koekappaleen koko (mm x mm):	100 x 100	Mittauspituus (mm):	2413.7
Pastapitoisuus (%):	25.60	Mitattu pinta-ala (mm x mm):	80 x 80

Lävistyspituusjakaumataulukko

Luokka nro	Lävistyspituus (micron)	Kpl / luokka	%-osuus	Ilmamäärä / luokka	Kumulatiivinen ilmamäärä
1	0-10	23	2.33	0.010	0.010
2	10-20	100	10.12	0.060	0.070
3	20-30	88	8.91	0.090	0.160
4	30-40	103	10.43	0.150	0.310
5	40-50	80	8.10	0.150	0.460
6	50-60	96	9.72	0.210	0.670
7	60-80	125	12.65	0.360	1.030
8	80-100	90	9.11	0.330	1.360
9	100-120	60	6.07	0.270	1.630
10	120-140	52	5.26	0.280	1.910
11	140-160	35	3.54	0.220	2.130
12	160-180	14	1.42	0.100	2.230
13	180-200	21	2.13	0.160	2.390
14	200-220	15	1.52	0.130	2.520
15	220-240	17	1.72	0.160	2.680
16	240-260	17	1.72	0.170	2.860
17	260-280	3	0.30	0.030	2.890
18	280-300	6	0.61	0.070	2.960
19	300-350	9	0.91	0.120	3.080
20	350-400	1	0.10	0.020	3.100
21	400-450	4	0.40	0.070	3.170
22	450-500	4	0.40	0.080	3.240
23	500-800	15	1.52	0.420	3.330
24	800-1500	4	0.40	0.190	3.860
25	1500-2000	1	0.10	0.080	3.940
26	2000-2500	0	0.00	0.000	3.940
27	2500-3000	1	0.10	0.120	4.060
28	3000-4000	4	0.40	0.580	4.640

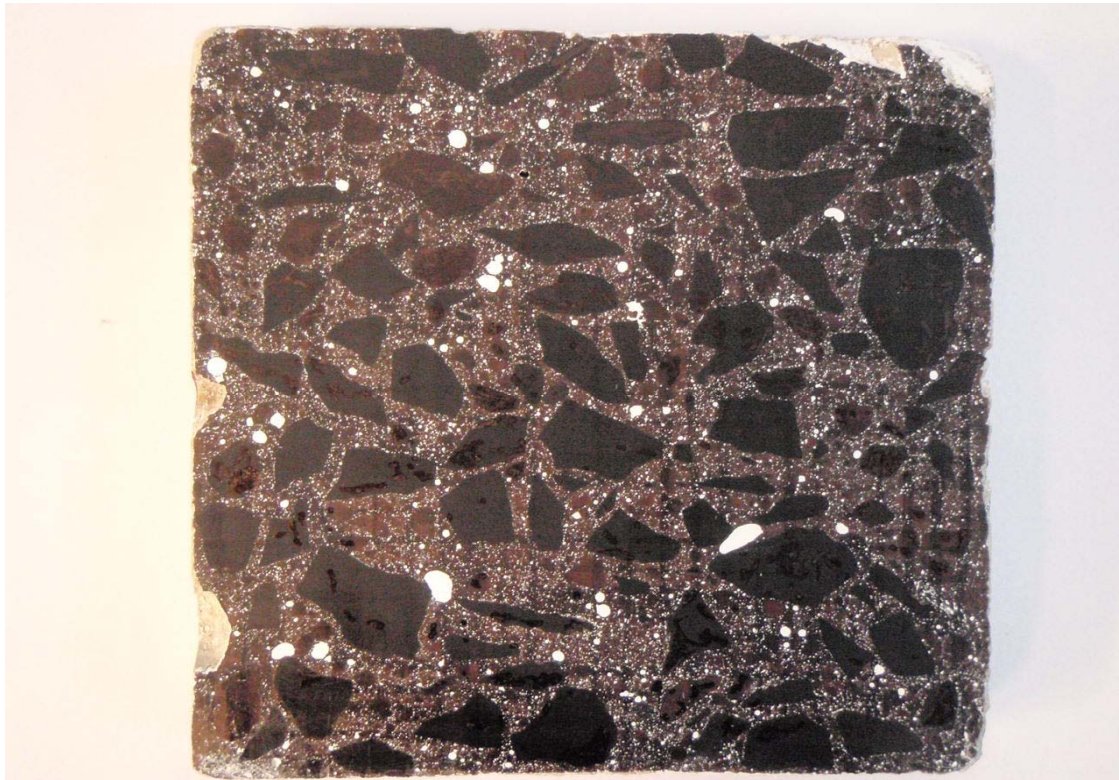
Vain lävistyspituudet 20-800 micronia on laskennassa mukana!

Ilmamäärä (%):	3.47
Ominaispinta-ala (mm ⁻¹):	40.68
Huokosjako (mm):	0.136
Huokostiheys (mm ⁻¹):	0.353
Keskimääräinen lävistyspituus (mm):	0.098
Pasta-ilma-suhde:	7.38

TEST.SEL.N:o 14255-256
Liite 2

Ilmahuokosanalyysi kovettuneesta betonista

ASTM C 457, menettely A:n mukaisesti



Koekappale:	2	Päiväys:	23/10/2014
Projekti:	Aimo Laitisen päättötyö	Tekijä:	MN
Toimeksiantaja:	Fatec Oy	Kynnysarvo:	170
Tiedostonimi:	C:\RapidAir\Reports\MN533.xls		

Testauslaboratorio: Savonia-amk, Tekniikka

Koekappale: 2

Koekappaleen koko (mm x mm):	100 x 100	Mittauspituus (mm):	2413.7
Pastapitoisuus (%):	29.80	Mitattu pinta-ala (mm x mm):	80 x 80

Lävistyspituusjakaumataulukko

Luokka nro	Lävistyspituus (micron)	Kpl / luokka	%-osuus	Ilmamäärä / luokka	Kumulatiivinen ilmamäärä
1	0-10	32	2.87	0.010	0.010
2	10-20	158	14.16	0.100	0.110
3	20-30	105	9.41	0.110	0.220
4	30-40	122	10.93	0.180	0.400
5	40-50	79	7.08	0.150	0.540
6	50-60	87	7.80	0.190	0.740
7	60-80	144	12.90	0.410	1.150
8	80-100	91	8.15	0.330	1.490
9	100-120	88	7.89	0.400	1.890
10	120-140	43	3.85	0.230	2.120
11	140-160	26	2.33	0.160	2.280
12	160-180	18	1.61	0.130	2.400
13	180-200	17	1.52	0.130	2.530
14	200-220	22	1.97	0.190	2.730
15	220-240	17	1.52	0.160	2.890
16	240-260	6	0.54	0.060	2.950
17	260-280	7	0.63	0.080	3.030
18	280-300	6	0.54	0.070	3.100
19	300-350	6	0.54	0.080	3.180
20	350-400	7	0.63	0.110	3.290
21	400-450	4	0.36	0.070	3.360
22	450-500	4	0.36	0.080	3.440
23	500-800	15	1.34	0.480	3.440
24	800-1500	3	0.27	0.150	4.070
25	1500-2000	6	0.54	0.440	4.510
26	2000-2500	2	0.18	0.190	4.700
27	2500-3000	0	0.00	0.000	4.700
28	3000-4000	1	0.09	0.150	4.840

Ilmamäärä (%): 4.84

Ominaispinta-ala (mm⁻¹): 38.19

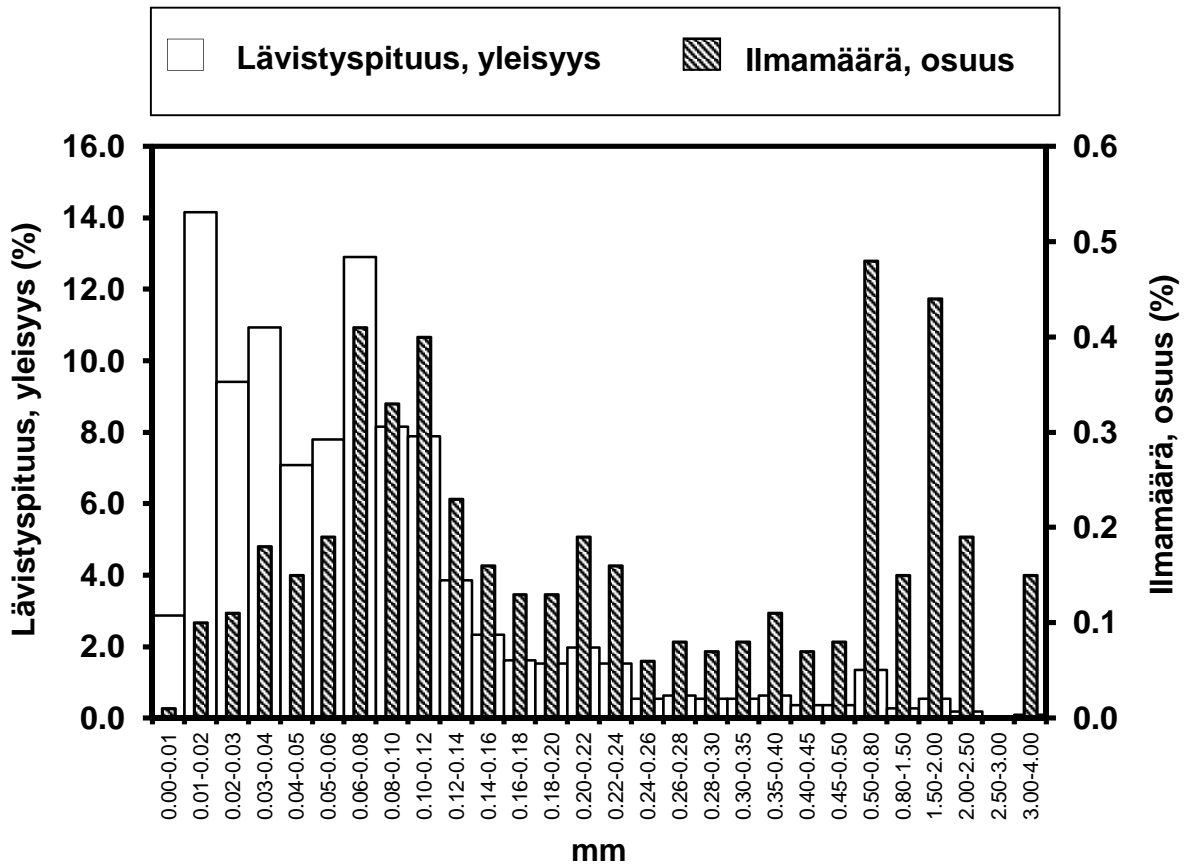
Huokosjako (mm): 0.133

Huokostiheys (mm⁻¹): 0.462

Keskimääräinen lävistyspituus (mm): 0.105

Pasta-ilma-suhde: 6.16

Koekappale: 2



Ilmahuokosparametrit	Lävistys < 0.5 mm	Lävistys < 1.0 mm	Yhteensä
Huokosten lukumäärä	1089	1104	1116
% kokonaismäärästä	97.6	98.9	100
Mitattujen huokosten pituus (mm)	83.01	94.70	116.90
% kokonaispituudesta	71.0	81.0	100
Ilmamäärä (%)	3.44	3.92	4.84
Keskimääräinen lävistyspituus (mm)	0.076	0.086	0.105
Pasta-ilma-suhde	8.66	7.60	6.16
Ominaispinta-ala (mm ⁻¹)	52.48	46.63	38.19
Huokostiheys (mm ⁻¹)	0.451	0.457	0.462
Huokosjako (mm)	0.113	0.120	0.133

Huomautuksia:

Pastapitoisuus laskettu

pistelaskumenetelmällä:

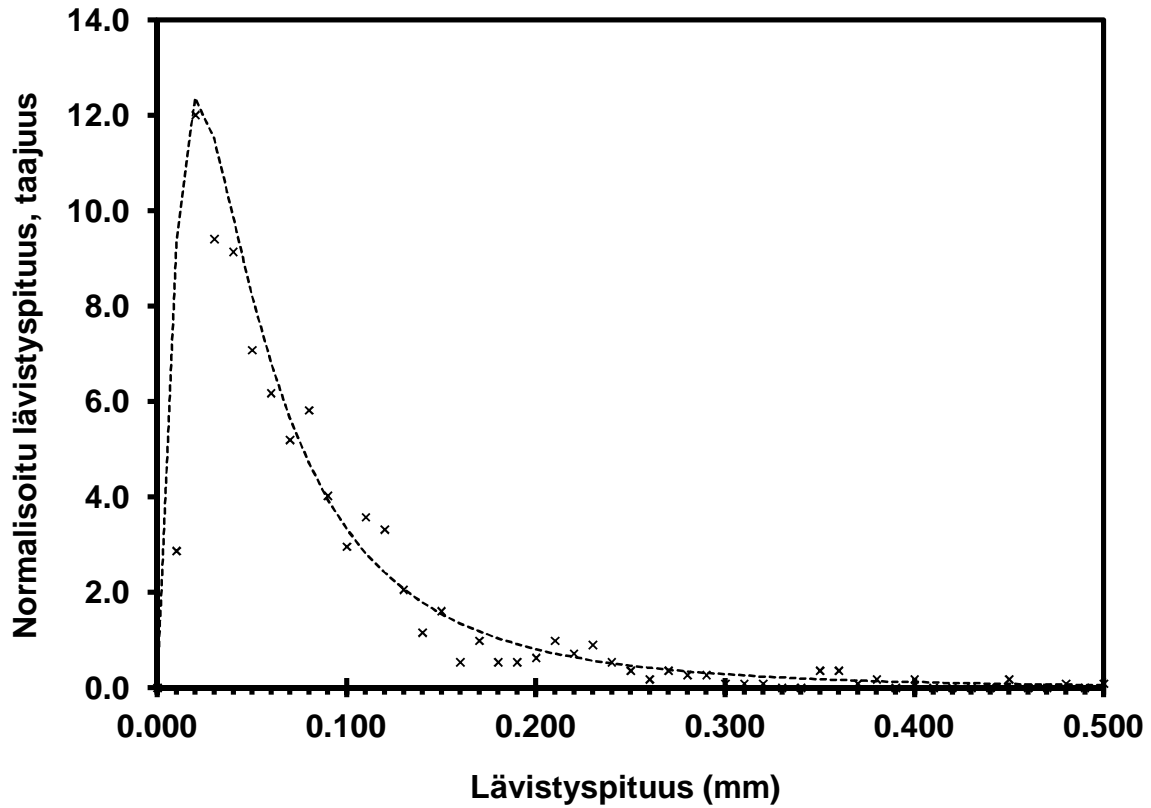
YES

Pistelaskun tiedosto:

C:\RapidAir\Reports\pc490.csv

Koekappale: 2

Log-normal-jakautuma



Huokosjakoparametrit	''	mm
Mallin mukaan useimmin havaittu lävistyspituus	0.00082	0.0208
Keskimääräinen lävistyspituus	0.00410	0.1050
Hajonnan leveys ja vääristymä	0.002	9.690E-01
Neliöityjen virheiden summa	259	

Reference: Roberts, L.R. & Scheiner, P. 1981. Microprocessor-based Linear Traverse Apparatus for Air-Void Distribution Analysis. In: Proc. 3th ICMA, Texas, pp. 211-227

Huomautuksia:

Koekappale: 2

Koekappaleen koko (mm x mm):	100 x 100	Mittauspituus (mm):	2413.7
Pastapitoisuus (%):	29.80	Mitattu pinta-ala (mm x mm):	80 x 80

Lävistyspituusjakaumataulukko

Luokka nro	Lävistyspituus (micron)	Kpl / luokka	%-osuus	Ilmamäärä / luokka	Kumulatiivinen ilmamäärä
1	0-10	32	2.87	0.010	0.010
2	10-20	158	14.16	0.100	0.110
3	20-30	105	9.41	0.110	0.220
4	30-40	122	10.93	0.180	0.400
5	40-50	79	7.08	0.150	0.540
6	50-60	87	7.80	0.190	0.740
7	60-80	144	12.90	0.410	1.150
8	80-100	91	8.15	0.330	1.490
9	100-120	88	7.89	0.400	1.890
10	120-140	43	3.85	0.230	2.120
11	140-160	26	2.33	0.160	2.280
12	160-180	18	1.61	0.130	2.400
13	180-200	17	1.52	0.130	2.530
14	200-220	22	1.97	0.190	2.730
15	220-240	17	1.52	0.160	2.890
16	240-260	6	0.54	0.060	2.950
17	260-280	7	0.63	0.080	3.030
18	280-300	6	0.54	0.070	3.100
19	300-350	6	0.54	0.080	3.180
20	350-400	7	0.63	0.110	3.290
21	400-450	4	0.36	0.070	3.360
22	450-500	4	0.36	0.080	3.440
23	500-800	15	1.34	0.480	3.440
24	800-1500	3	0.27	0.150	4.070
25	1500-2000	6	0.54	0.440	4.510
26	2000-2500	2	0.18	0.190	4.700
27	2500-3000	0	0.00	0.000	4.700
28	3000-4000	1	0.09	0.150	4.840

Vain lävistyspituudet 20-800 micronia on laskennassa mukana!

Ilmamäärä (%):	3.59
Ominaispinta-ala (mm ⁻¹):	41.96
Huokosjako (mm):	0.139
Huokostiheys (mm ⁻¹):	0.376
Keskimääräinen lävistyspituus (mm):	0.095
Pasta-ilma-suhde:	8.30

www.savonia.fi

