

SAIMAAN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikka, Lappeenranta  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Maa- ja kalliorakentamisen suuntautumisvaihtoehto

Mikko Lapatto

## **KUIVATUOTETEHTAAN TUOTTEIDEN OMINAISUUKSIEN TUTKIMINEN**

Opinnäytetyö 2010

## TIIVISTELMÄ

Mikko Lapatto

Kuivatuotetehtaan tuotteiden ominaisuuksien tutkiminen, 44 sivua, 9 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu, Lappeenranta

Tekniikka, Rakennustekniikan koulutusohjelma

Maa- ja kalliorakentaminen

Opinnäytetyö 2010

Ohjaajat: Tuntiopettaja Vesa Inkilä, Saimaan ammattikorkeakoulu

Insinööri Timo Kapiainen, Kuivabetoni Jurvanen & Havo Oy

Opinnäytetyössä oli tarkoituksena tutkia Kuivabetoni Jurvanen & Havo Oy:n kuivatuotetehtaan tietyistä tuotteista valmistettujen kuutio- ja prismakoekappaleiden puristuslujuuksien suhdetta toisiinsa ja määrittää niiden välinen korrelaatio kullekin tuotteelle. Työn toisena tarkoituksena oli tutkia eräästä tuotteesta johdettujen testimassojen ominaisuuksia, pääasiassa niiden märkämassojen ilmamäärää (SFS SFS-EN 1015-7) ja leviämää eli massojen notkeutta (SFS-EN 1015-3 + A1 + A2).

Tutkimuksissa käytetyt menetelmät ja työvaiheet perustuvat Suomen standardoimisliiton SFS standardoituihin testeihin, ja niitä pyrittiin osittain pelkistämään ja soveltamaan, jotta testejä voitaisiin toistaa helposti.

Korrelaatio määriteltiin yhteensä kolmesta eri tuotteesta, joista eräästä tuotteesta tehtiin kaksi eri versiota.

Koekappaleina käytettiin kuutiokoekappaleita 150 mm \* 150 mm \* 150 mm (SFS-EN 12390-3) ja prismakoekappaleita 40 mm \* 40 mm \* 160 mm (SFS-EN 1015-11 + A1). Korrelaation määrittämiseen käytettiin Pearsonin menetelmää, jossa puristuslujuuksien perusteella selvitettiin siis se, ovatko tuotekohtaiset kuutio- ja prismakoekappaleiden puristuslujuudet yhtenevät vai eroavatko ne toisistaan ja jos eroavat, niin kuinka paljon. Toisin sanoen haluttiin saada tietoa siitä, vaikuttaako koekappaleen koko ja muoto tuotteen puristuslujuuteen.

Tulokset osoittavat sen, että koekappaleiden puristuslujuuksien perusteella tutkittavien tuotteiden kuutio- ja prismakoekappaleilla on vahva korrelaatio tuotekohtaisesti.

Testimassojen tuloksista voidaan havaita se, että pienilläkin reseptin muutoksilla on vaikutusta märkämassojen tutkittuihin ominaisuuksiin.

Asiasanat: koekappale, korrelaatio, puristuslujuus

## ABSTRACT

Mikko Lapatto

Study of the product properties in a dry product factory, 44 pages, 9 appendices

Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta

Technology, Civil and Construction Engineering

Specialisation in Infrastructural Engineering and Production

Final Year Project 2010

Instructors: Lecturer Vesa Inkilä, Saimaa University of Applied Sciences,

Timo Kapiainen, Kuivabetoni Jurvanen & Havo Ltd

The purpose of this thesis was to examine the relationship of compressive strength values of cube and prism test specimens made of certain products in Kuivabetoni Jurvanen & Havo Ltd's factory. The aim was to determine the correlation between each product. Another objective was to investigate the test masses and their properties, mainly in the amount of air in wet masses (SFS SFS-EN 1015-7) and the spread, i.e. the masses' suppleness (SFS-EN 1015-3 + A1 + A2).

The methodology and the working phases are based on the Finnish Standards SFS standardized tests, which were partly simplified and adapted, so that the tests could be repeated easily.

Correlation was defined as a total of three different products, of which about one product was made in two versions.

The samples for cube test specimens were 150 mm \* 150 mm \* 150 mm (SFS-EN 12390-3) and for prism test specimens 40 mm \* 40 mm \* 160 mm (SFS-EN 1015-11 + A1). Pearson's correlation analysis method was used in this case. Using compressive strength values, it was studied whether the product-specific cube and prism test specimens are identical or differ from each other and if so, how much is the difference. In other words, the study tried to obtain information about the effect on sample size and the shape of the compressive strength.

The results show that the compressive strength values of the samples of the products being tested, cube test specimens and prism test specimens have a strong product-specific correlation.

The test results of the masses, show that even small changes in the recipe have impact on the studied properties of wet masses.

Keywords: test specimen, correlation, compression strength

# SISÄLTÖ

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1 JOHDANTO .....	5
1.1 Lyhyesti toimeksiantajasta .....	6
1.2 Työn tekeminen .....	6
2 KUIVATUOTTEIDEN RAAKA-AINEET .....	8
2.1 Kiviaines .....	8
2.2 Sideaine .....	9
2.3 Seosaineet .....	10
2.4 Lisäaineet .....	11
3 TUOTTEIDEN KOEKAPPALEET JA NIIDEN PURISTUUSLUJUUKSIEN MITTAUKSISSA KÄYTETYT LAITTEISTOT ...	14
3.1 Kuutiokoekappale 150 mm * 150 mm * 150 mm .....	14
3.2 Prismakoekappale 40 mm * 40 mm * 160 mm .....	16
3.3 Menetelmät ja koekappaleiden puristuslujuuksien mittauksissa käytetyt laitteistot .....	17
3.3.1 Kuutiokoekappaleiden puristuslujuuksien määrittäminen .....	18
3.3.2 Prismakoekappaleiden puristuslujuuksien määrittäminen .....	18
4 KORRELAATION MÄÄRITYS PURISTUSLUJUUKSISSA .....	20
4.1 Korrelaation määrittäminen Pearsonin menetelmällä .....	20
5 TUOTEKOHTAISET KOEKAPPALEET .....	24
5.1 Tuote 1 .....	24
5.1.1 Tuote 1:n kuutiokoekappaleet .....	24
5.1.2 Tuote 1:n prismakoekappaleet .....	27
5.1.3 Tuote 1:n 3 ja 28 vrk:n ikäisten kuutiokoekappaleiden ja prismakoekappaleiden puristuslujuuksien vertailu sekä korrelaatiokertoimen laskeminen .....	32
6 KUIVATUOTTEEN KOOSTUMUKSEN OPTIMOINTI HALUTTUJEN OMINAISUUKSIEN AIKAANSAAMISEKSI .....	35
6.1 Testimassojen valmistus .....	35
6.2 Testimassa 1 .....	36
7 POHDINTA .....	40
LÄHTEET .....	43
LIITTEET	
Liite 1. Tuote 2	
Liite 2. Tuote 3 versio 1	
Liite 3. Tuote 3 versio 2	
Liite 4. Testimassa 2	
Liite 5. Testimassa 3	
Liite 6. Testimassa 4	
Liite 7. Testimassa 5	
Liite 8. Testimassa 6	
Liite 9. Testimassa 7	

# 1 JOHDANTO

Kuivatuotteisiin kuuluvat muun muassa kuivabetonit ja kuivalaastit. Yhteistä kaikille kuivatuotteille on, että työmaalla kuivatuotteeseen lisätään vain vesi ja kerralla voidaan valmistaa vain työvaiheen tai käytettävissä olevan ajan mukainen määrä märkämassaa. Kyseiset tuotteet soveltuvat niin ammattirakentajille kuin omakotirakentajille ja saneeraajillekin.

Opinnäytetyön tavoitteena on Kuivabetoni Jurvanen & Havo Oy:lle tehtävä kuivatuotetehtaan tiettyjen tuotteiden koekappaleiden (kuutio- ja prismakoekappale) puristuslujuuksien välisen yhteyden voimakkuuden selvittäminen eli korrelaation määrittäminen. Lisäksi tutkittiin testimassojen ominaisuuksia, ilmamäärää (%) ja leviämää (mm). Työssä perehdyttiin myös Suomen standardoimisliiton SFS standardoituihin testeihin, ja niitä pyrittiin pelkistämään ja soveltamaan, jotta testejä voitaisiin toistaa helposti. Standardit määrittelevät muun muassa testeissä käytettävät työmenetelmät. Työ käsittää pääpiirteittäin 2 osiota, jotka ovat seuraavat.

Osio 1:

- Korrelaation määrittäminen, kuivatuotteille SFS-EN 12390-3 mukaisen kuutiokoekappaleen (150 mm \* 150 mm \* 150 mm) ja SFS-EN 1015-11 + A1 mukaisen prismakoekappaleen (40 mm \* 40 mm \* 160 mm) puristuslujuuksien perusteella, toisin sanoen puristuslujuuksien välisen yhteyden määrittäminen.

Osio 2:

- Testimassojen ominaisuuksien (massan ilmamäärän % ja leviämän mm) tutkiminen.

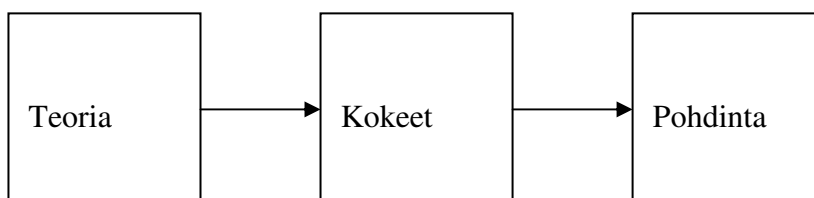
Työstä saatuja tutkimustuloksia käytetään kuivatuotetehtaan tuotekehityksessä sekä laadunvalvonnan tukena.

## 1.1 Lyhyesti toimeksiantajasta

Kuivabetoni Jurvanen ja Havo Oy:n JuHo kuivasekoitetehtas on kuivalaastien ja -betonien toimittaja Kaakkois-Suomessa. Tehtas on toiminut Savitaipaleella vuodesta 1992 lähtien. JuHo on keskittynyt palvelemaan rakentamisen eri sektoreita, lähinnä rautakauppoja ja rakennusliikkeitä. Yrityksen markkina-alueena on koko Suomi. Tavoitteena on kasvaa ja kehittää toimintaa asiakkaiden tarpeiden mukaan. JuHo on täysin kotimainen yritys. JuHo -tuotteet valmistetaan pitkälle automatisoidussa tehtaassa, jonka läheisyydessä sijaitsevan soraharjun tasalaatuinen raaka-aine on yrityksen kilpailuetu ja laadun tae. Jatkuva laadunvalvonta takaa asiakkaille laadukkaan tuotteen. Yrityksellä on ISO 9001 -standardin mukainen laatu järjestelmä. (juholaastit.com 2010.)

## 1.2 Työn tekeminen

Työ aloitettiin perehtymällä tarvittaviin standardeihin sekä tuotetyyppeihin. Standardit määrittelevät yhdenmukaiset tutkimusmenetelmät. Alla olevassa kaaviossa 1.1 on esitetty työn eteneminen.



Kuva 1.1 Työn eteneminen.

Opinnäytetyön luvussa 2 käsitellään lyhyesti kuivatuohteissa käytettyjä raaka-aineita. Luvuissa 3 - 5 on puolestaan käyty läpi osioon 1 kuuluvia tuotteita ja niiden koekappaleita sekä niistä saatuja puristuslujuuksien arvoja, joista on laskettu kunkin tuotteen korrelaatiokerroin kuutiokoekappaleiden ja prismakoekappaleiden puristuslujuuksista.

Luku 6 ja sen alaluvut käsittelevät osioon 2 kuuluvaa tuotteen ominaisuuksien tutkimista. Osioon 2 kuuluvia testimassoja tehtiin yhteensä 7 kappaletta, joista testimassa 1 on esitetty luvussa 6.2. Testimassat 2–7 on puolestaan esitetty liitteissä. Aiemmin mainitussa luvussa 6 ja liitteissä 4–9 käsitellään eräästä tuotteesta johdettuja testimassoja, tarkoituksena oli tutkia pienten reseptimuutosten vaikutusta massojen ominaisuuksiin ilmamäärään (%), (SFS SFS-EN 1015-7) ja leviämään (mm), (SFS-EN 1015-3 + A1 + A2) .

Lopuksi luvussa 7 on tehty yhteenveto molemmista osioista, eli osiosta 1 (luvut 3–5 sekä liitteet 1–3) ja osiosta 2 (luku 6 sekä liitteet 4-9).

## 2 KUIVATUOTTEIDEN RAAKA-AINEET

Kuivabetonit koostuvat raaka-aineista, joita ovat runkoaine, sideaine, seosaineet ja lisäaineet. Kuivalaastien raaka-aineita ovat runkoaine, sideaine sekä mahdolliset lisäaineet. Kuivatuotteet (kuivabetonit ja kuivalaastit) ovat sananmukaisesti kuivia tuotteita, eli kaikki käytettävät raaka-aineet ovat kuivia, toisin kuin valmisbetoneissa, jotka valmistetaan märkäbetonitehtaissa. Muutoin käytettävät raaka-aineet eivät juurikaan eroa suoraan märkätuotteiksi valmistettavista tuotteista. Kuivatuotteisiin lisätään vain kunkin tuotteen ohjeellinen vesimäärä ja massaa sekoitetaan ohjeellinen aika, jolloin saadaan valmista märkämassaa.

Runkoaineena käytetään kiviainesta, jonka tulee olla kyseiseen käyttötarkoitukseen sopivaa. Sideaineena käytetään puolestaan sementtiä. Lisä- ja seosaineilla puolestaan vaikutetaan tuotteiden ominaisuuksiin: säilyvyyteen, notkeuteen, lujuuteen, työstettävyyteen, kovettumiseen ja tiiveyteen. (by 201 2005, 31.)

### 2.1 Kiviaines

Betonin osa-aineista kiviaineksen osuus kokonaistilavuudesta on 65–80 %. Tämän tiedon valossa on selvää, että kiviaineksilla on suurin vaikutus betonin ominaisuuksiin. Kiviaineena voidaan käyttää joko luonnon muokkaamaa tai murskattua kiviainesta (by 201 2005, 31–32.)

Suomen Betoniyhdistyksen betonin kiviainekset kirja by 43 on laadittu betonikiviainesstandardin SFS-EN 12620 pohjalta, teoksessa on kerrottu muun muassa kiviaineksen geometriset, kemialliset ja mekaaniset vaatimukset. Kiviainekset nimetään eri ryhmiin niiden raekoon mukaan, fillerikiviaineksi (filleri), hienoksi kiviaineksi (hiekkä), luonnon lajittamaksi 0/8 tai karkeaksi kiviaineksi. Tämä luonnon lajittama kiviaines 0/8 mm on joko glasiaalista (jäätikkösyntyinen) tai fluviaalista (virtaavaan veteen muodostunut)



alkuperää oleva luonnon kiviaines, jonka halkaisija on pienempi tai yhtä suuri kuin 8 mm. Kyseinen lajite voi olla myös osittain murskattua. (by 43 2009, 8–12.)

Laastin kiviaineksena käytetään normaalisti hiekkaa tai murskattua kiveä. Hiekan tulee olla sellaista, ettei hiekkahiukkasten väliin jää ns. tyhjää tilaa liikaa. Tällöin vältetään sideaineen ylimääräiseltä käytöltä, sillä sen liiallinen käyttö aiheuttaa usein kutistumisvaaran, koska sementtiliima kutistuu kovettuessaan. (Siikanen 2001, 105.)

Hiekan hienon aineksen määrä vaikuttaa muun muassa laastin lujuuteen, tartuntaan työstettävyyteen ja vedenpidätyskykyyn. Raemuodoltaan tulisi käyttää pyöreää ja sileärakeista hiekkaa, koska tällaiset rakeet täyttävät hyvin ns. tyhjat tilat. Tämän lisäksi hiekan tulee sisältää erikokoisia rakeita sopivassa suhteessa. (Ylä-Mattila 1984, 12.)

Kiviaineksen enimmäisraekoko saa olla enintään 30–40 % sauman tai rappauksen paksuudesta. Tartunta- ja täyttörappauskerroksissa suurin raekoko on normaalisti vähintään 3–4 mm. Pintarappauskerroksessa käytetään enintään raekooltaan 2 mm:n suuruista kiviainesta. (Siikanen 2001, 105.)

## **2.2 Sideaine**

Sideaineena betonissa käytetään sementtiä, jonka raaka-aineita ovat luonnonmineraalit, kalkkikivi ja kvartsi, joita esiintyy maapallolla runsaasti. Raaka-aineet jauhetaan ja poltetaan uunissa (1450 °C), jossa niiden alkuperäinen rakenne hajoaa veden ja hiilidioksidin poistuessa. Kyseisessä reaktiossa syntyy pääasiassa kaliumsilikaateista muodostuneita klinkkerimineraaleja, joista sementti jauhetaan. Sementtiä käytetään betonin ohella erilaisten laastien valmistukseen. (betoni.com.)

Sementti on hydraulinen sideaine, jonka kiintotiheys on noin 3100 kg/m<sup>3</sup>, joka reagoi vedellä muodostaen kestävästä lopputuotteesta. Sen

kemiallinen koostumus vaikuttaa betonin ominaisuuksiin: lujuuteen, lämmönkehitykseen ja kemialliseen kestävyys. Sementit ryhmitellään sementtistandardissa SFS-EN 197-1 päälajeihin niiden koostumuksen perusteella. Päälajit ovat: (CEM I) portlandsementti, (CEM II) portlandseossementti, (CEM III) masuunikuonasementti, (CEM IV) pozzolaaniseimentti ja (CEM V) seossementti. Suomessa käytettävät rakennussementit kuuluvat päälajeihin portlandsementti ja portlandseossementti. (by 201 2005, 39–56.)

Laasteissa käytettävä sideaine valitaan käyttökohteen ja sen vaatimusten mukaan. Sideaineita on päätyypeittäin kahta erilaista. Hydrauliset eli vedessä kovettuvat ja ei-hydrauliset eli ilmassa kovettuvat. Yleisimmin käytetyt sideaineet ovat kalkki, kipsi, sementti (portlandsementti) ja muuraussementti, joka on koostumukseltaan hienommaksi jauhettua kuin portlandsementti. (Siikanen 2001, 105.)

Sammutettua kalkkia (ilmasideaine) käytetään kalkkilaastin ja kalkkisementtilaastin sideaineena. Useimmiten julkisivuissa käytetään laastien sideaineena kalkin ja sementin seosta. (Siikanen 2001, 106.)

### **2.3 Seosaineet**

Betonissa voidaan käyttää seosaineita, joista yleisimpiä ovat silika, lentotuhka ja masuunikuona. Silika on piiraudan ja alkuaine piin valmistuksessa syntyvä savukaasuista erotettava, erittäin hienojakoinen pozzolaani. Sen raekoko on alle 1  $\mu\text{m}$ . Silika lisää merkittävästi betonin loppulujuutta. Se parantaa betonin koossapysyvyyttä ja vedenpitävyyttä, mutta heikentää työstettävyys ominaisuuksia sen kittimäisen ominaisuuden vuoksi. (by 201 2005, 59–60.)

Silikan kiintotiheys on noin  $2200 \text{ kg/m}^3$  ja ominaispinta-ala on noin  $20\,000 \text{ kg/m}^2$ . Silikan ominaispinta-ala on hyvin suuri muihin betonin osa-aineisiin verrattuna, jonka johdosta silika lisää betonin veden tarvetta. Vedentarpeen

kasvusta johtuen silikabetoneissa käytetään notkistavia lisäaineita. (by 23 1987, 27-28.)

Kivihiilen polton yhteydessä syntyy savukaasuja, joista lentotuhka erotellaan. Lentotuhka on pozzolaani ja sen kiintotiheys vaihtelee 2100...2500 kg/m<sup>3</sup>. Sitä voidaan käyttää betonissa sideaineena tai kiviaineksena. Mikäli sementtiä korvataan tuhalla, betonin hydratoitumislämpö pienenee. Betonin lujuusominaisuuksiin tuhka vaikuttaa siten, että se heikentää varhaislujuutta, mutta parantaa jonkin verran loppulujuuksia. (by 201 2005, 59.)

Lentotuhka koostuu hiukkasista joiden koko on 1...150 µm, rakeisuutensa vuoksi sitä voidaan käyttää korvaamaan betonin kiviaineksen hienorakeisinta osaa. (by 23 1987, 3.)

Masuunikuonajauhetta saadaan jauhamalla hienoksi granuloitua masuunikuonaa. Masuunikuonaa saadaan puolestaan raakaraudan valmistuksen yhteydessä. Raakaraudan valmistuksessa masuuniin muodostuu emäksistä silikaattisulatetta, joka jäähdytetään nopeasti, jolloin saadaan masuunikuonajauhetta. Raekooltaan se vastaa sementin raekokoa. Masuunikuonajauhe vähentää merkittävästi betonin hydratoitumislämpöä, ja sitä käytettäessä vedentarve pienenee ja se notkistaa betonia. (by 201 2005, 60.)

Masuunikuonajauhe kovettuu hitaammin kuin normaalisti kovettava sementti. Mikäli osa sementistä korvataan masuunikuonajauheella, niin yleensä siitä seuraa betonin varhaislujuuden laskeminen. (by 23 1987, 16.)

## **2.4 Lisäaineet**

Lisäaineiden käytöllä pyritään parantamaan betonin tiettyjä teknisiä ominaisuuksia ja betonirakentamisen taloudellisuutta. Lisäaineet on niiden vaikuttavien ominaisuuksien perusteella jaettu ryhmiin: notkistin, tehonotkistin

tai nesteytin, huokostimet, muut pakkasen kestävyyttä parantavat aineet, kiihdyttimet, hidastimet, tiivistysaineet, injektointiaineet sekä muut lisäaineet. (by 201 2005, 63–64.)

Notkistavat lisäaineet jaetaan seuraaviin ryhmiin niiden tehokkuuden perusteella: notkistimet, tehonotkistimet ja nesteyttimet. Notkistavat lisäaineet ovat pinta-aktiivisia aineita. Niiden toiminta tapahtuu veden ja sementin välillä parantaen betonin ominaisuuksia mm. koossapysymisen ja työstettävyyden suhteen. (by 201 2005, 64–65.)

Notkistimilla hajoitetaan hiukkaskasaantumia, joita kuivassa portlandsementissä pyrkii muodostumaan erilaisten voimien vaikutuksesta. Notkistimet soveltuvat hyvin käytettäväksi sellaisissa betoneissa, joissa on korkea hienoainespitoisuus eli korkean lujuusluokan omaavissa betoneissa. Notkistimen käytöllä saavutetaan parempi betonin pumpattavuus, jolloin esimerkiksi ahtaiden muottien betonointi helpottuu. (by 22 1985, 6-7.)

Betonin pakkasenkestävyyttä parannetaan huokostavalla lisäaineella. Huokostimet muodostavat pieniä ilmakuplia, jotka levittäytyvät tasaisesti betoniin. Tämä ns. suojuhuokoset vastaanottavat betonissa olevan veden jäätyessään aiheuttaman paineen. Lisäksi huokostimilla pystytään parantamaan betonimassan työstettävyyttä ja koossapysyvyyttä. Huokostin notkistaa betonia, mutta alentaa sen loppulujuutta. Karkeasti voidaan sanoa, että yhden prosentin ilmamäärän lisäys aiheuttaa loppulujuuteen 5 %:n aleneman. (by 201 2005, 66–67.)

Huokostavan lisäaineen käytöllä saavutetaan tehokkain vaikutus silloin, kun betonimassa on suhteellisen notkeaa eikä sisällä runsaasti sementtiä ja filleriä (hienoja aineksia). Sementin sitoutumisaikaan huokostimet eivät pääsääntöisesti vaikuta. (by 22 1985, 8-9.)

Hidastimilla hidastetaan betonin hydrataatiota eli sitoutumista. Varsinkin lämpimissä olosuhteissa hidastimesta on hyötyä muokkausajan pidentäjänä. Betonimassan notkeuden menetystä sillä ei kuitenkaan voida estää.

Kiihdyttimillä nopeutetaan betonin hydrataatiota eli sitoutumista. Lisäksi saatavina on erilaisia injektointi-, tiivistys ja tartunta-aineita, mutta niiden käyttö on melko vähäistä. (by 201 2005, 67–68.)

Laasteissa voidaan käyttää lisäaineina kiihdytintä, hidastinta, huokostinta, notkistinta tai vettä hylkiviä lisäaineita. Kiihdyttimet vaikuttavat nopeuttavasti sitoutumiseen ja kovettumiseen, kiihdyttimien käyttö rajautuu pääasiassa kalkkisementti- ja sementtilaasteihin. Mikäli sideaineena on sementti, käytetään normaalisti betonin lisäaineita. (Siikanen 2001, 106.)

Hidastimet nimensä mukaisesti hidastavat sementti- ja kalkkisementtilaastien lujittumista. Huokostimien tehtävänä on lisätä laastin työstettävyyttä, minkä lisäksi ne lisäävät kovettuneen laastin sään- ja pakkasenkestävyyttä. Notkistimet puolestaan lisäävät laastin työstettävyyttä ja pienentävät kutistumaa. Vettä hylkivät lisäaineet estävät veden tunkeutumisen rapattuun pintaan. (Siikanen 2001, 106.)

### **3 TUOTTEIDEN KOEKAPPALEET JA NIIDEN PURISTUSLUJUUKSIEN MITTAUKSISSA KÄYTETYT LAITTEISTOT**

Tutkittuja tuotteita oli tässä osiossa yhteensä kolme erilaista. Tuote 1, tuote 2 ja tuote 3, josta tehtiin 2 eri versiota. Toisessa tuote 3:n massassa vesimäärää hieman laskettiin, jolloin saatiin hienoista muutosta tulevaan lujuuskehitykseen. Tuote 1:n tulokset on esitetty opinnäytetyön varsinaisessa tekstiosuudessa, muiden tuotteiden tulokset on sijoitettu liitteisiin (liitteet 1–3).

Yhteensä tutkittavia massoja oli siis 4 kappaletta. Jokaisen tuotteen samasta tuotantoerästä varattiin tarvittava määrä kuivamassaa, josta tehtiin standardin SFS-EN 12390-3 mukaiset kuutiokoekappaleet ja standardin SFS-EN 1015-11 + A1 mukaiset prismakoekappaleet. Standardit määrittelevät muun muassa koekappaleiden mitat ja valmistusmenetelmät sekä menetelmät puristuslujuuksien määrittämisen. Koekappaleiden puristuslujuudet mitattiin 3 ja 28 vuorokauden ikäisinä, josta 28 vrk:n testausikä on molempien edellä mainittujen standardien edellyttämä testausikä. 3 vrk:n testausikä ei ole standardien edellyttämä, vaan se otettiin mukaan, koska haluttiin selvittää koekappaleiden alkulujuuksien kehittyminen.

#### **3.1 Kuutiokoekappaleet 150 mm \* 150 mm \* 150 mm**

Koekappaleet (kuva 3.1) tehtiin aiemmin mainitun standardin SFS-EN 12390-3 mukaan. Yhden koekappaleen nimellimitat olivat 150 mm \* 150 mm \* 150 mm. Jokaisesta tutkittavasta kuivamassasta tehtiin 3 koekappaletta puristuslujuuden testausikää kohden eli yhteensä koekappaleita tuli 24 ( $4 * 3 * 2 = 24$ ). Koekappaleiden määrät on yksilöity tarkemmin taulukossa 3.1.



Kuva 3.1 Kuutiokoekappale.

Koekappaleet valettiin muovimuotteihin (kuva 3.2), jonka nimellimitat olivat 150 mm \* 150 mm \* 150 mm.



Kuva 3.2 Kuutiokoekappaleen muovinen valumuotti.

### 3.2 Prismakoekappaleet 40 mm \* 40 mm\* 160 mm

Koekappaleet (kuva 3.3) tehtiin aiemmin mainitun standardin SFS-EN 1015-11 + A1 mukaan. Yhden koekappaleen nimellismitta oli 40 mm \* 40 mm \* 160 mm. Jokaisesta tutkittavasta kuivamassasta tehtiin 3 koekappaletta puristuslujuuden testausikäähän kohden eli yhteensä koekappaleita tuli 24 ( $4 * 3 * 2 = 24$ ). Koekappaleiden määrät on yksilöity tarkemmin taulukossa 3.1.



Kuva 3.3 Prismakoekappale.

Koekappaleet valettiin teräsmuotteihin (kuva 3.4), Yhdestä teräsmuotista saatiin kolme koekappaletta, joiden nimellimitat olivat 40 mm \* 40 mm \* 160 mm.



Kuva 3.4 Prismakoekappaleiden teräksinen valumuotti.



Taulukko 3.1 Koekappaleiden lukumäärät.

<b>TUOTE</b>	<b>KUUTIOKOEKAPPALEIDEN LUKUMÄÄRÄ 3 VRK.</b>	<b>PRISMAKOEKAPPALEIDEN LUKUMÄÄRÄ 3 VRK.</b>
tuote 1	3	3
tuote 2	3	3
tuote 3 vers. 1	3	3
tuote 3 vers. 2	3	3

<b>TUOTE</b>	<b>KUUTIOKOEKAPPALEIDEN LUKUMÄÄRÄ 28 VRK.</b>	<b>PRISMAKOEKAPPALEIDEN LUKUMÄÄRÄ 28 VRK.</b>
tuote 1	3	3
tuote 2	3	3
tuote 3 vers. 1	3	3
tuote 3 vers. 2	3	3

Taulukossa on esitetty tuote- ja puristuslujuusikä kohtaisesti molempien koekappaleiden lukumäärät.

### **3.3 Menetelmät ja koekappaleiden puristuslujuuksien mittauksissa käytetyt laitteistot**

Tutkimuksissa käytetyt menetelmät ja työvaiheet perustuvat Suomen standardoimisliiton SFS standardoituihin testeihin, ja niitä pyrittiin osittain pelkistämään ja soveltamaan, jotta testejä voitaisiin toistaa helposti.

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry on standardisoinnin keskusjärjestö Suomessa. Se on riippumaton, taloudellista voittoa tavoittelematon yhdistys. SFS huolehtii siitä, että Suomeen luodaan standardikokoelma, joka vastaa maan tarpeita ja sisältää kansainvälisten sekä eurooppalaisten sopimusten edellyttämät kansalliset standardit. (sfs.fi.)

Standardit määrittelevät muun muassa koekappaleiden valmistuksessa käytettävät menetelmät ja laitteistot sekä puristuslujuuksien mittauksissa käytettävät laitteistot.

### 3.3.1 Kuutiokoekappaleiden puristuslujuuksien määrittäminen

Kuutiokoekappaleiden 150 mm \* 150 mm \* 150 mm puristuslujuuksien mittaauksissa käytettiin Testele products Oy:n valmistamaa AdrAuto 2000 Mode1 Compression -laitetta. Koekappaleiden puristuspaikkana toimi Saimaan ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön laboratorio. Puristuslaitteen mittaustarkkuus oli 0,01 N/mm<sup>2</sup>.

Puristavan pinnan pinta-ala oli 150 mm x 150 mm. Kuutio (kuva 3.1) asetettiin tarkasti reunojaan myöden puristusalustalle muottipinnat osoittaen ylös- ja alaspäin. Puristuslaite laski puristuksen päätyttyä automaattisesti puristuslujuuden N/mm<sup>2</sup> kaavalla 3.1 (SFS-EN 12390-3.)

$$f_c = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

missä  $f_c$  = puristuslujuus (N/mm<sup>2</sup>)  
 $F$  = murtovoima (N)  
 $A$  = puristuspinta-ala (mm<sup>2</sup>)

### 3.3.2 Prismakoekappaleiden puristuslujuuksien määrittäminen

Prismakoekappaleiden 40 mm \* 40 mm \* 160 mm puristuslujuuksien mittaauksissa käytettiin Toni Technikin valmistamaa Toninorm Series 2000 Toninorm powerbox -laitetta. Koekappaleiden puristuspaikkana toimi Finnsementin Lappeenrannan yksikön laboratorio. Puristuslaitteen mittaustarkkuus oli 0,05 N/mm<sup>2</sup>.

Puristavan pinnan pinta-ala oli 40 mm x 40 mm. Prisma (kuva 3.3) asetettiin tarkasti reunojaan myöden puristusalustalle muottipinnat osoittaen ylös- ja alaspäin. Prismän puristuslujuus otettiin koekappaleen molemmista päistä.

Puristuslaite laskee puristuksen päätyttyä automaattisesti puristuslujuuden  $\text{N/mm}^2$  kaavalla 3.1 (SFS-EN 1015-11 + A1.)

$$f_c = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

missä  $f_c$  = puristuslujuus ( $\text{N/mm}^2$ )  
 $F$  = murtovoima (N)  
 $A$  = puristuspinta-ala ( $\text{mm}^2$ )

## 4 KORRELAATION MÄÄRITYS PURISTUSLUJUUKSISTA

Korrelaation määrittämisen tarkoituksena oli selvittää, eroavatko saman tuotteen kuutio- ja prismakoekappaleiden puristuslujuudet toisistaan, ts. vaikuttaako puristettavan koekappaleen koko ja muoto puristuslujuuteen. Mittauksista saatujen tietojen perusteella määriteltiin kunkin tuotteen korrelaatio koekappaleiden puristuslujuuksien perusteella.

Korrelaation määrittämisessä käytettiin saman valmistuserän tuotteista tehdystä massasta valmistettujen kuutiokoekappaleiden 150 mm \* 150 mm \* 150 mm puristuslujuuksien SFS-EN 12390-3 sekä prismakoekappaleiden 40 mm \* 40 mm \* 160 mm puristuslujuuksien SFS-EN 1015-11 + A1 muuttujien välistä yhteyttä, korrelaatiokerrointa  $r$ .

### 4.1 Korrelaation määrittäminen Pearsonin menetelmällä

Korrelaatiokertoimella (coefficient of correlation) mitataan muuttujien välisen yhteyden voimakkuutta. Korrelaatio on tilastollinen tunnusluku, jota käytetään hyväksi muiden tunnuslukujen tavoin tilastoanalyysiä tehtäessä. (Holopainen & Pulkkinen 1994, 156.)

Yleisimmin käytetty korrelaatiokerroin on Pearsonin korrelaatiokerroin (product moment correlation). Usein korrelaatiokertoimesta puhuttaessa sillä tarkoitetaan nimenomaan Pearsonin korrelaatiokerrointa, se mittaa muuttujien välistä lineaarista yhteyttä. (Holopainen & Pulkkinen 1994, 156.)

Lineaarinen riippuvuus tarkoittaa kahden muuttujan arvojen välistä vaikutussuhdetta, jossa tarkastellaan, miten havainnot ovat ryhmittyneet suoran ympärille. (edu.fi 2010.)

Pearsonin korrelaatiokerroin määrittään seuraavasti kaavalla 4.1  
(Holopainen & Pulkkinen 1994, 158.)

$$r = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2][n(\sum y_i^2) - (\sum y_i)^2]}} \quad (4.1)$$

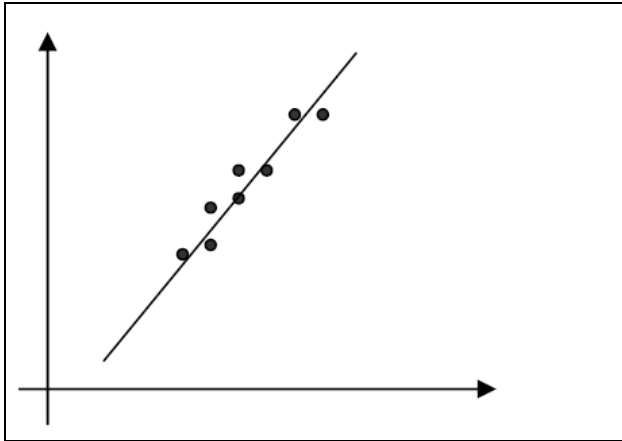
missä

- r = korrelaatiokerroin
- n = havaintoparien lukumäärä
- $\Sigma$  = sigma, = summa
- $x_i y_i$  = muuttujien X ja Y tulo
- $x_i$  = muuttujan X arvo
- $y_i$  = muuttujan Y arvo
- / = jakoviiva
- $\sqrt{\quad}$  = neliöjuuri
- $^2$  = toinen potenssi

Myöhemmin tulevissa laskuissa on nimetty kuutiokoe-kappaleiden 150 mm \* 150 mm \* 150 mm puristuslujuudet ovat yhtäkuin  $x_i$ . Prismakoe-kappaleiden 40 mm \* 40 mm \* 160 mm puristuslujuudet ovat yhtäkuin  $y_i$ .

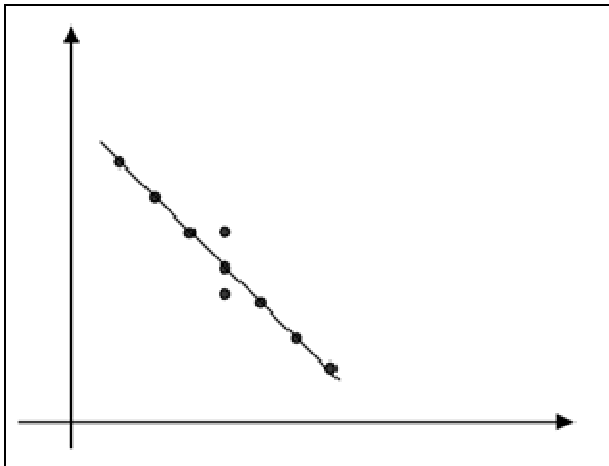
Saatua korrelaatiokerrointa r voidaan tulkita siten, että kun r on likimain 1, lineaarinen riippuvuus on täydellistä siten, että molemmat tutkittavat asiat kasvavat yhtä aikaa. Kyseessä on positiivinen korrelaatio. Korrelaatiokertoimen r ollessa likimain -1, lineaarinen riippuvuus on myös täydellistä, mutta siten, että toisen arvon kasvaessa toinen vähenee. Kyseessä on negatiivinen korrelaatio. Korrelaatiokertoimen eli r:n ollessa likimain 0, lineaarista riippuvuutta ei ole ollenkaan. (Hautajärvi, Ottelin ja Wallin-Jaakkola 2003, 133.)

Kuvassa 4.1 pisteet ovat hajallaan nousevan suoran ympärillä. Kyseisessä tapauksessa korrelaation sanotaan olevan positiivista, kun x:n kasvaessa myös y kasvaa. (opinnot.internetix.fi.)



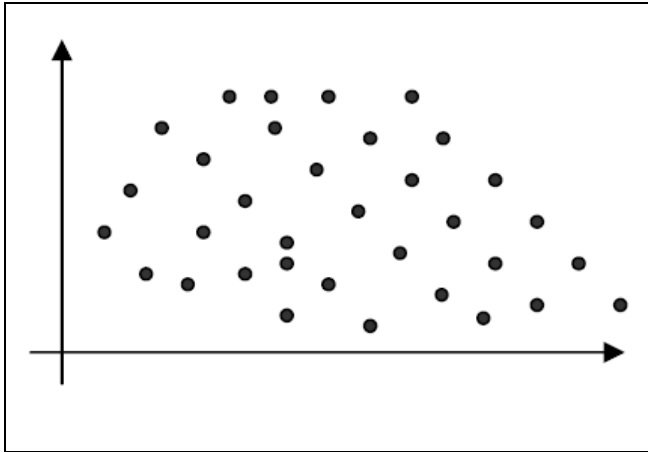
Kuva 4.1 Positiivinen korrelaatio (opinnot.internetix.fi)

Kuvassa 4.2 pisteet ovat sijoittuneet laskevan suoran ympäristöön. Korrelaatio on nyt negatiivista, toisin sanoen  $x$ :n kasvaessa  $y$  vähenee. (opinnot.internetix.fi.)



Kuva 4.2 Negatiivinen korrelaatio (opinnot.internetix.fi.)

Kuvassa 4.3 pistejoukko on niin hajaantunut, ettei toisen muuttujan arvo ennusta toista muuttujaa ollenkaan. Tässä tapauksessa sanotaan, ettei korrelaatiota ole tai että korrelaatio saa arvon nolla. Esimerkiksi tämän tapaisesta riippuvuutta voisi esiintyä koehenkilön massan ja asuinpaikan vuotuisen keskilämpötilan välillä. (opinnot.internetix.fi)



Kuva 4.3 Korrelaatiota ei ole (opinnot.internetix.fi)

## **5 TUOTEKOHTAISET KOEKAPPALEET**

Tuotekohtaiset koekappaleet valmistettiin samalla tavalla, ainoastaan vesimäärä ja massan sekoitusaika olivat reseptikohtaisia. Lisäksi koekappaleiden teon yhteydessä massasta määriteltiin muutamia ominaisuuksia, jotka on käyty läpi luvun 5.1 alaluvuissa. Seuraavat alaluvut käsittelevät tuote 1:tä. Tuote 2, tuote 3:n versio 1 ja tuote 3:n versio 2 on esitetty liitteissä 1–3.

### **5.1 Tuote 1**

#### **5.1.1 Tuote 1:n kuutiokoekappaleet**

Tuote 1:n kuutiokoekappaleet valmistettiin Saimaan ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön laboratoriossa. Aluksi tuote 1:n kuivamassasta otettiin standardin SFS-EN 1015-1 + A1 mukainen näyte raekokojakauman selvittämiseksi kuivaseulonnalla. Seulottava näyte laitettiin seulasarjan ylimmäiselle seulalle, jonka jälkeen seulasarjaa ravisteltiin niin kauan, ettei millekkään seulalle jääneen materiaalin massa enää muuttunut ravistelusta. Jokaiselle seulalle jäänyt massa punnittiin. (SFS-EN 1015-1 + A1) .

Tarvittavaan määrään kuivatuetta lisättiin kuivapainosta reseptin mukainen määrä vettä, jonka jälkeen märkämassaa sekoitettiin päältä täytettävässä tasosekoittajassa reseptin mukainen aika. Valmis massa siirrettiin tasosekoitimesta kottikärryihin, minkä jälkeen siitä määriteltiin ja tutkittiin halutut ominaisuudet, jotka on esitetty taulukossa 5.1. Ilmapitoisuus määritettiin SFS-EN 1015-7 -testimenetelmillä, ja tiheys määritettiin SFS-EN 1015-6 + A1 -testimenetelmillä. Massan leviämää SFS-EN 1015-3 + A1 + A2 ei tutkittu, koska tarvittavaa laitteistoa ei ollut saatavilla.

Massan ilmapitoisuuden määrittäminen tehtiin standardin SFS-EN 1015-7 mukaan. Ilmapitoisuus määritettiin painemittauslaitteella, jonka säiliö täytettiin massalla ja



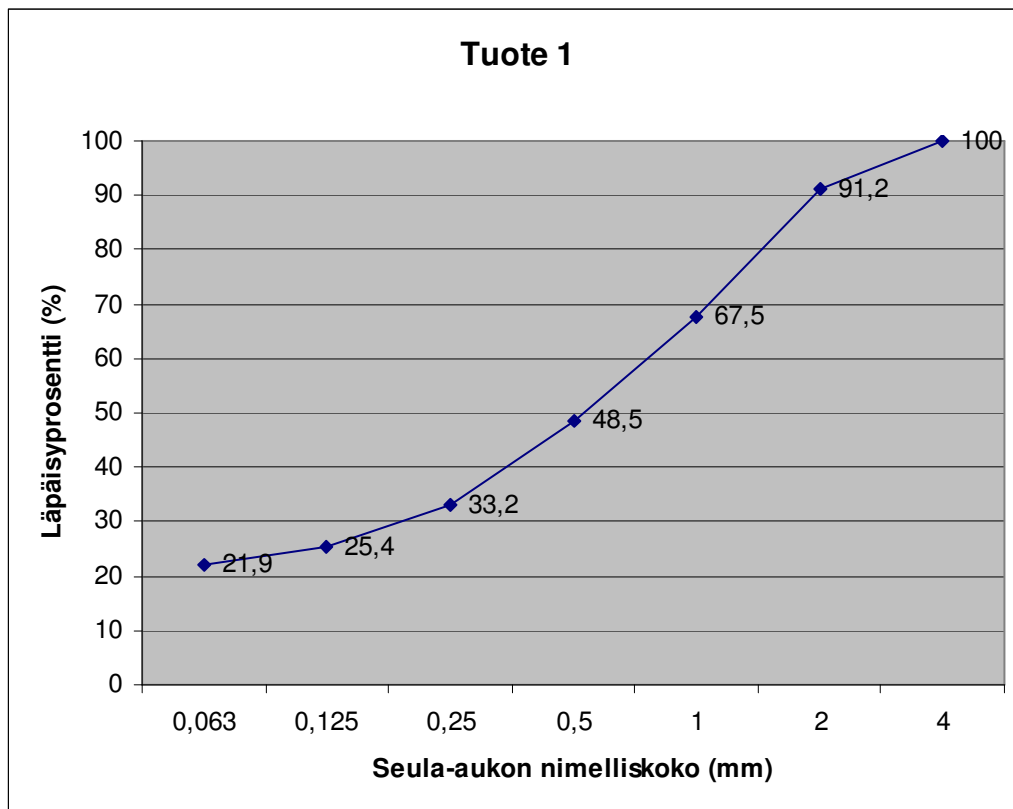
sullottiin standardin mukaan. Tähän jälkeen ilmatiivis säiliö paineistettiin ja mittarista voitiin lukea massan ilmamäärä. (SFS-EN 1015-7.)

Massan tiheys määriteltiin standardin SFS-EN 1015-6 + A1 mukaan. Massa tiivistettiin rakenteeltaan jäykkään, vesitiiviiseen, tilavuudeltaan ja painoltaan tunnettuun astiaan ja sitten punnittiin. (SFS-EN 1015-6 + A1.)

Taulukko 5.1 Tuote 1:n seulonta- ja märkäkokeiden tulokset.

<b>Tuote:</b> Tuote 1		
<b>Massa (g)</b> 200,9		
<b>Seula (mm)</b>	<b>Läpäisy (g)</b>	<b>Läpäisy (%)</b>
0,063	43,9	21,9
0,125	50,9	25,4
0,25	66,6	33,2
0,5	97,2	48,5
1	135,3	67,5
2	182,9	91,2
4	200,5	100
8		
16		
31,5		
63		
<b>Märkäkokeet</b>	<b>Heti mitattu</b>	
Vesi (%) 13	Ilmamäärä (%) 6,2	
Sekoitusaika (s) 180	Leviämä (mm) ei mitattu	
	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 2143	

Seulontatuloksista nähdään kunkin seulan läpäisseen aineksen määrä, jonka avulla voidaan laskea kyseisen seulan läpäisyprosentti, josta voidaan piirtää rakeisuuskäyrä kuten kuvasta 5.1 nähdään. Seulontatuloksista voidaan päätellä tuotteen raekoon jakautuminen. (by 201 2005, 33–36.)



Kuva 5.1 Tuote 1:n rakeisuuskäyrä.

Taulukossa 5.2 on esitetty tuote 1:n 3 vrk:n ikäisten kuutiokoekappaleiden ominaisuudet.

Taulukko 5.2 Tuote1:n 3 vrk:n ikäisten kuutiokoekappaleiden ominaisuudet.

<b>Tuote 1</b>	Massa (kg)	Korkeus (mm)	Leveys (mm)	Syvyys (mm)
Kuutio 1	7,219	150	150	150
Kuutio 2	7,201	150	150	150
Kuutio 3	7,233	150	150	150
	Murtovoima (kN)	Puristuslujuus (N/mm <sup>2</sup> )	Kuormitusnopeus (kN/s)	
Kuutio 1	550,0	24,45	10,00	
Kuutio 2	536,6	23,85	10,00	
Kuutio 3	531,9	23,64	10,00	

Jokainen koekappale punnittiin ja mitattiin, jonka jälkeen ne asetettiin yksi kerrallaan puristuslaitteeseen (luku 3.3.1) sekä kunkin koekappaleen mittatiedot

syötettiin laitteeseen. Laite kuormitti koekappaleita vakiokuormitusnopeudella (kN/s) niin kauan, kunnes tapahtui murto eli saavutettiin jokaiselle koekappaleelle maksimaalinen murtovoima (kN). Murtovoimasta puristuskone laski siihen syötettyjen koekappaleiden perusteella puristuslujuuden N/mm<sup>2</sup>.

Taulukossa 5.3 on esitetty tuote 1:n 28 vrk:n ikäisten kuutiokoekappaleiden ominaisuudet.

Taulukko 5.3 Tuote 1:n 28vrk:n ikäisten kuutiokoekappaleiden ominaisuudet.

<b>Tuote 1</b>				
	Massa (kg)	Korkeus (mm)	Leveys (mm)	Syvyys (mm)
Kuutio 1	7,280	150	150	150
Kuutio 2	7,299	150	150	150
Kuutio 3	7,268	150	150	150
	Murtovoima (kN)	Puristuslujuus (N/mm <sup>2</sup> )	Kuormitusnopeus (kN/s)	
Kuutio 1	825,3	36,68	10,00	
Kuutio 2	822,9	36,57	10,00	
Kuutio 3	797,0	35,42	10,00	

### 5.1.2 Tuote 1:n prismakoekappaleet

Tuote 1:n prismakoekappaleet valmistettiin samasta tuotantoerästä kuin kyseisen tuotteen kuutiokoekappaleet. Koekappaleiden valmistus tapahtui Kuivabetoni Jurvanen & Havo Oy:n laboratoriossa. Aluksi kuivamassasta otettiin standardin SFS-EN 1015-1 + A1 mukainen näyte raekokojakauman selvittämiseksi kuivaseulonnalla. Seulottava näyte laitettiin seulasarjan ylimmäiselle seulalle, jonka jälkeen seulasarjaa ravisteltiin niin kauan, ettei millekkään seulalle jääneen materiaalin massa enää muuttunut ravistelusta. Jokaiselle seulalle jäänyt massa punnittiin. (SFS-EN 1015-1 + A1.)

Tarvittavaan määrään kuivatuetta lisättiin kuivapainosta reseptin mukainen määrä vettä, jonka jälkeen märkämassaa sekoitettiin päältä täytettävässä

tasosekoittajassa reseptin mukainen aika. Valmis massa siirrettiin tasosekoitimesta kottikärryihin, minkä jälkeen siitä siitä määriteltiin ja tutkittiin halutut ominaisuudet, jotka on esitetty taulukossa 5.4.

Ilmapitoisuus määritettiin SFS-EN 1015-7 -testimenetelmillä, leviämä määritettiin SFS-EN 1015-3 + A1 + A2 ja tiheys määritettiin SFS-EN 1015-6 + A1 -testimenetelmillä. Massan leviämä määriteltiin siten, että massa asetettiin iskupöydälle tietynlaista muottia käyttäen, jonka jälkeen massaan kohdistettiin määrätty määrä pystysuuntaisia iskuja nostamalla iskupöytää ja antamalla sen pudota vapaasti annetulta korkeudelta. Tämän jälkeen mitattiin massan leviämän keskiarvo. (SFS-EN 1015-3 + A1 + A2.)

Ilmapitoisuus määritettiin painemittauslaitteella, jonka säiliö täytettiin massalla ja sullottiin standardin mukaan. Tähän jälkeen ilmatiivis säiliö paineistettiin ja mittarista voitiin lukea massan ilmamäärä. (SFS-EN 1015-7.)

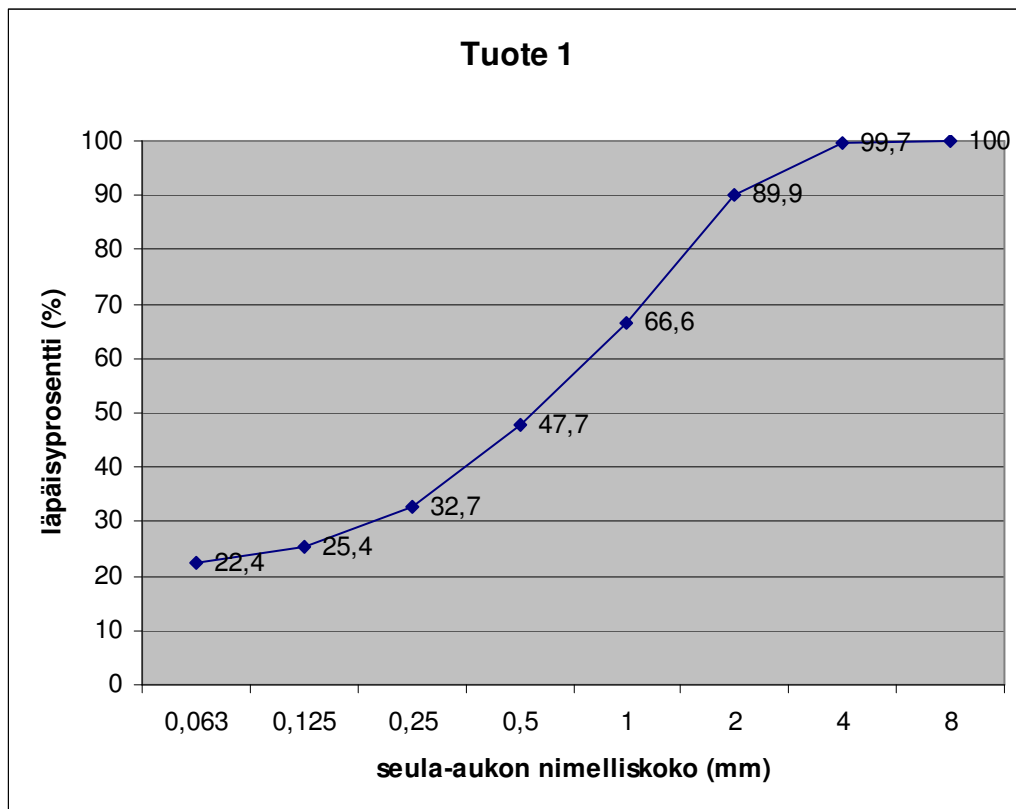
Massan tiheyden määrittämisessä massa tiivistettiin rakenteeltaan jäykkään, vesitiiviiseen, tilavuudeltaan ja painoltaan tunnettuun astiaan ja sitten punnittiin. (SFS-EN 1015-6 + A1.)

Taulukko 5.4 Tuote 1:n seulonta- ja märkäkokeiden tulokset.

<b>Tuote:</b> Tuote 1		
<b>Massa (g)</b> 201,9		
<b>Seula (mm)</b>	<b>Läpäisy (g)</b>	<b>Läpäisy (%)</b>
0,063	45,2	22,4
0,125	51,3	25,4
0,25	66,0	32,7
0,5	96,3	47,7
1	134,4	66,6
2	181,4	89,9
4	201,2	99,7
8	201,8	100
16		
31,5		
63		
<b>Märkäkokeet</b>	<b>Heti mitattu</b>	
Vesi (%) 13	Ilmamäärä (%) 6,5	
Sekoitus aika (s) 180	Leviämä (mm) 175	
	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 2140	

Seulontatuloksista nähdään kunkin seulan läpäisseen aineksen määrä, jonka avulla voidaan laskea kyseisen seulan läpäisyprosentti. Seulontatuloksista voidaan päätellä tuotteen raekoon jakautuminen. Raekoon jakautumista voidaan selvittää rakeisuuskäyrän avulla kuten kuvasta 5.2 nähdään.

(by 201 2005, 33–36.)



Kuva 5.2 Tuote 1:n rakeisuuskäyrä.

Taulukossa 5.5 on esitetty tuote 1:n 3 vrk:n ikäisten prismakoekappaleiden ominaisuudet.

Taulukko 5.5 Tuote 1:n 3 vrk:n ikäisten prismakoekappaleiden ominaisuudet.

<b>Tuote 1</b>				
	Massa (kg)	Korkeus (mm)	Leveys (mm)	Syvyys (mm)
Prisma 1	0,548	40	40	160
Prisma 2	0,546	40	40	160
Prisma 3	0,549	40	40	160
	Puristuslujuus (N/mm <sup>2</sup> )	Puristuslujuuden keskiarvo (N/mm <sup>2</sup> )		
Prisma 1	26,50 – 26,70	26,60		
Prisma 2	26,30 – 27,80	27,10		
Prisma 3	25,50 – 26,10	25,80		

Jokainen koekappale punnittiin ja mitattiin, jonka jälkeen ne asetettiin yksi kerrallaan puristuslaitteeseen (luku 3.3.2) sekä kunkin koekappaleen mittatiedot

syötettiin laitteeseen. Laite kuormitti koekappaleita vakiokuormitusnopeudella (kN/s) niin kauan, kunnes tapahtui murto eli saavutettiin jokaiselle koekappaleelle maksimaalinen murtovoima (kN). Murtovoimasta puristuskone laski siihen syötettyjen koekappaleiden tietojen perusteella puristuslujuuden N/mm<sup>2</sup>.

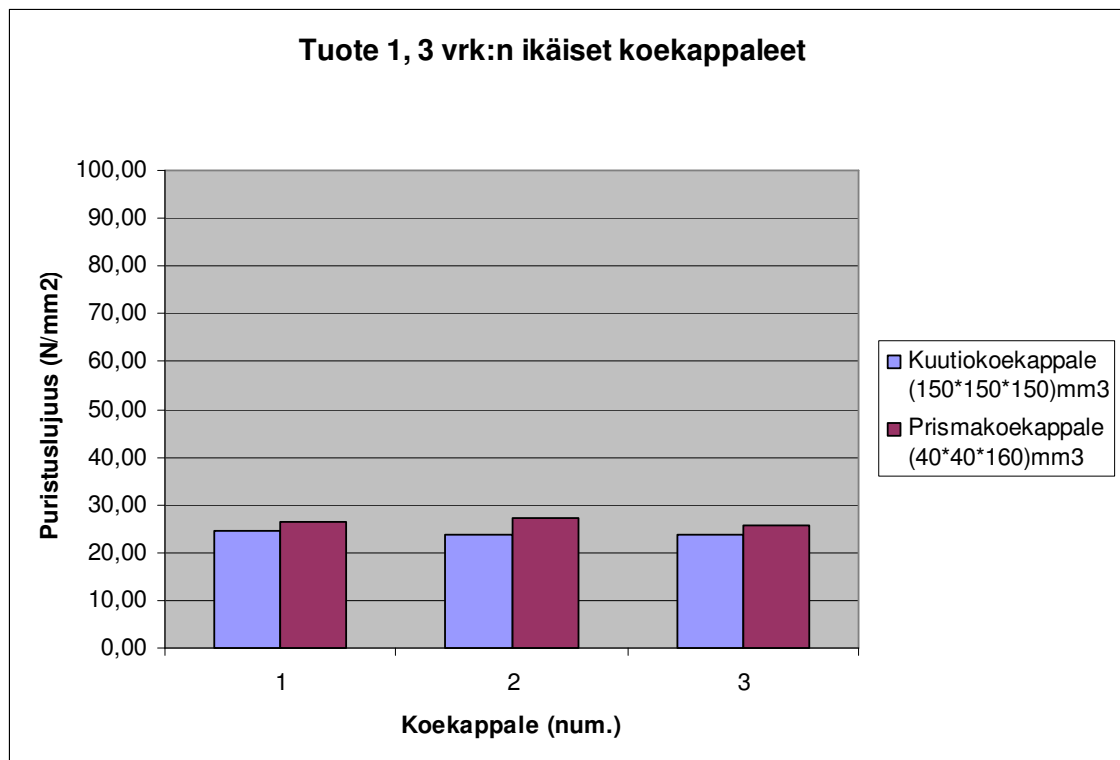
Taulukossa 5.6 on esitetty tuote 1:n 28 vrk:n ikäisten prismakoekappaleiden ominaisuudet.

Taulukko 5.6 Tuote 1:n 28 vrk:n ikäisten prismakoekappaleiden ominaisuudet.

<b>Tuote 1</b>				
	Massa (kg)	Korkeus (mm)	Leveys (mm)	Syvyys (mm)
Prisma 1	0,549	40	40	160
Prisma 2	0,543	40	40	160
Prisma 3	0,542	40	40	160
	Puristuslujuus (N/mm <sup>2</sup> )	Puristuslujuuden keskiarvo (N/mm <sup>2</sup> )		
Prisma 1	42,10 – 42,70	42,40		
Prisma 2	40,50 – 40,90	40,70		
Prisma 3	42,20 – 42,40	42,30		

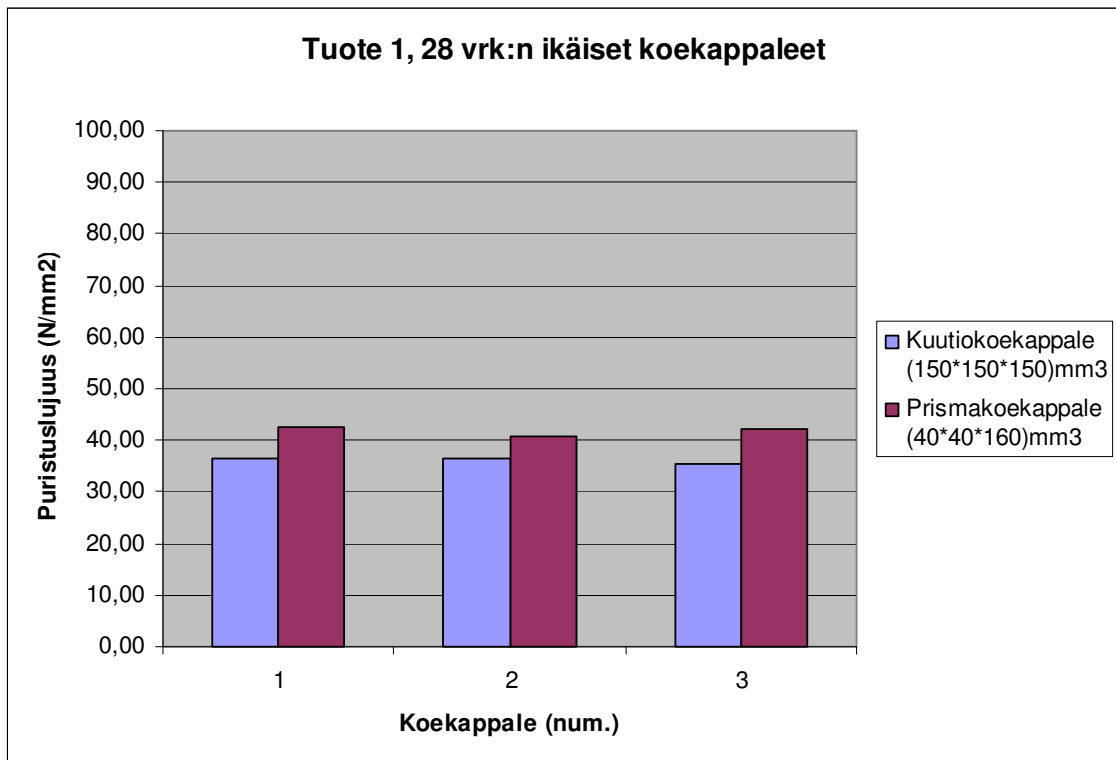
### 5.1.3 Tuote 1:n 3 ja 28 vrk:n ikäisten kuutiokoekappaleiden ja prismakoekappaleiden puristuslujuuksien vertailu sekä korrelaatiokertoimen laskeminen

Kuvassa 5.3 ja 5.4 on esitetty tuote 1:n koekappaleiden puristuslujuudet



Kuva 5.3 Tuote 1:n 3 vrk:n ikäisten koekappaleiden puristuslujuudet.





Kuva 5.4 Tuote 1:n 28 vrk:n ikäisten koekappaleiden puristuslujuudet.

Taulukko 5.7 Tuote 1:n korrelaatiokertoimen laskemista varten.

Tuote 1						
Koekappale	kuutiokoekappale	prismakoekappale				
	$x_i$	$y_i$	$x_i y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$	
1	24,45	26,60	650,37	597,80	707,56	
2	23,80	27,05	643,79	566,44	731,70	
3	23,64	25,80	609,91	558,85	665,64	
4	36,68	42,40	1555,23	1345,42	1797,76	
5	36,57	40,70	1488,40	1337,36	1656,49	
6	35,42	42,30	1498,27	1254,58	1789,29	
<b>Yht.</b>	180,56	204,85	6445,97	5660,46	7348,44	

Taulukossa kuutiokoekappaleen puristuslujuudet on merkitty  $x_i$  ja prismakoekappaleiden puristuslujuudet on puolestaan merkitty  $y_i$ .

Korrelaatiokerroin laskettiin seuraavalla kaavalla:

$$r = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2][n(\sum y_i^2) - (\sum y_i)^2]}} \quad (5.1)$$

sijoitettiin arvot kaavaan ja korrelaatiokertoimen eli r:n arvoksi saatiin

$$r = 0,992196$$

Korrelaatiokerrointa r voidaan tulkita siten, että kun r on likimain 1, lineaarinen riippuvuus on täydellistä siten, että molemmat tutkittavat asiat kasvavat yhtä aikaa. Kyseessä on positiivinen korrelaatio. Tässä tapauksessa saatu arvo kertoo vahvasta lineaarisesta riippuvuudesta kuutio- ja prismakoelempaleiden puristuslujuuksien välillä. (Katso luku 4.1)

## **6 KUIVATUOTTEIDEN KOOSTUMUKSEN OPTIMOINTI HALUTTUJEN OMINAISUUKSIEN AIKAANSAAMISEKSI**

Luku 6 pitää sisällään eräästä tuotteesta johdettuja erilaisia testimassoja, joita tehtiin yhteensä 7 kappaletta. Testimassojen 2-7 ominaisuudet on esitetty liiteosiossa (liitteet 4-9).

Tavoitteena oli selvittää lisäaineen annostuksen vaikutus märkämässan ilmapitoisuuteen (SFS-EN 1015-7) ja leviämään (SFS-EN 1015-3 + A1 + A2) Jokaisesta testimassasta määriteltiin edellä mainitut ominaisuudet heti märkämässan valmistuttua, 1 tunnin ja 2 tunnin kuluttua, eli yhteensä 3 eri testikertaa testimassaa kohden. Tarkoituksena oli selvittää massojen ominaisuuksien muuttuminen ajan kasvaessa märkämässan valmistuksesta. Testimassoja säilytettiin testikertojen välillä muovikämpärissä, joka oli peitetty muovikelmulla, tällä tavalla estettiin kosteuden haihtuminen massoista.

### **6.1 Testimassojen valmistus**

Kaikki testimassat valmistettiin Kuivabetoni Jurvanen & Havo Oy:n laboratoriossa. Aluksi jokaiseen testimassaan punnittiin kyseisen koe-erän reseptin mukaiset ainesosat, poislukien vesi. Ainesosat sekoitettiin keskenään paljussa porakonesekoittimella ja välillä sekoitettava kuivatestimassa kaadettiin toiseen tyhjään paljuun, jossa sekoittamista jatkettiin. Nämä toimenpiteet toistettiin kahteen otteeseen, jolloin voitiin olla varmoja, että ainesosat olivat sekoittuneet tasaisesti keskenään. Jokaista kuivakoemassaa tehtiin 25 kg annos.

Sekoittuneesta kuivatestimassasta otettiin näyte, josta määriteltiin raekokojakauma seulomalla se seulasarjalla (SFS-EN 1015-1 +A1) Seuraavassa vaiheessa sekoitettu kuivamassa kaadettiin päältä täytettävään tasosekoittajaan, jonka jälkeen siihen lisättiin reseptin mukainen määrä vettä.

Veden lisäyksen jälkeen jokaista koemassaa sekoitettiin tasosekoittajassa reseptin mukainen aika. Tämän jälkeen valmis märkätestimassa siirrettiin betonisekoittajasta kottikärryihin, josta sitä voitiin käyttää märkäkokeisiin.

Jokaisesta koemassasta tehtiin samat märkäkokeet, joita olivat ilmapitoisuuden määrittäminen (SFS-EN 1015-7), tiheyden määrittäminen (SFS-EN 1015-6 + A1) ja leviämisen määrittäminen (SFS-EN 1015-3 + A1 + A2).

## **6.2 Testimassa 1**

Testimassa 1 tehtiin luvussa 6.1 olevan selostuksen mukaan. Yhteensä kuivatestimassaa valmistettiin 25 kg, josta otettiin standardin SFS-EN 1015-1 +A1 mukainen näyte raekokojakauman selvittämiseksi, jonka tulokset on esitetty taulukossa 6.1. Jäljelle jääneeseen kuivatestimassaan lisättiin reseptin mukainen määrä vettä kuivapainosta, jonka jälkeen märkätestimassaa sekoitettiin reseptin mukainen aika betonisekoittajassa.

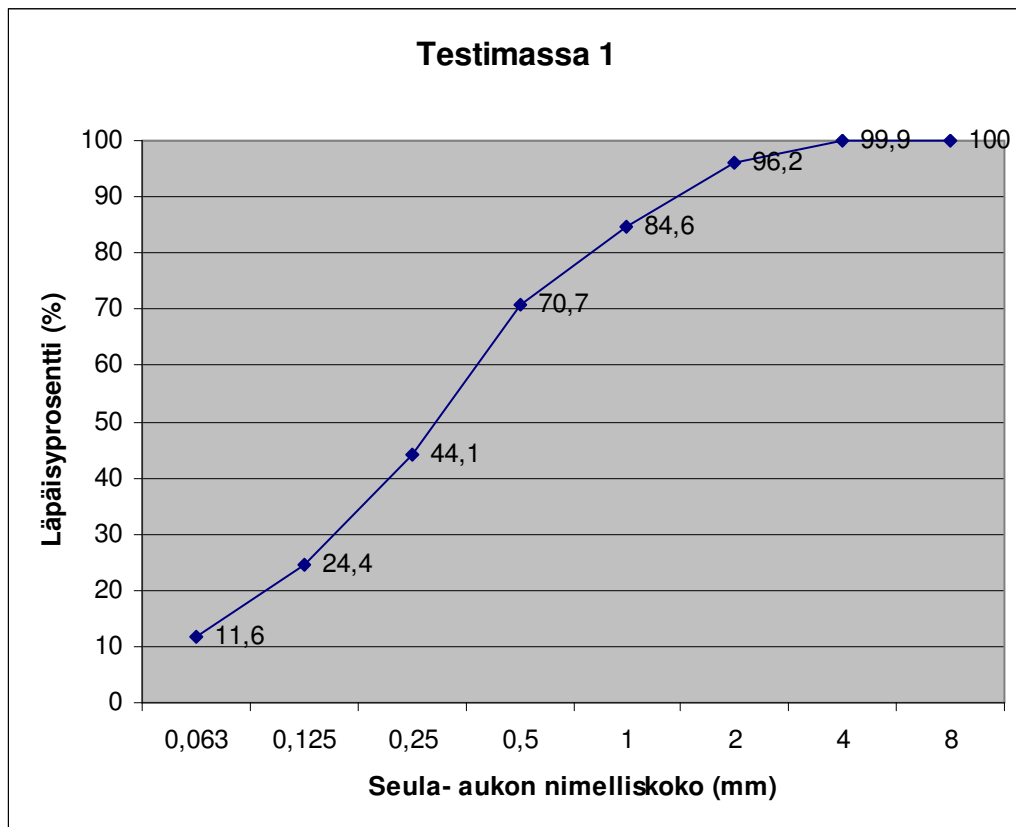
Valmiista märkäkoemassasta tehtiin luvussa 6.1 mainitut standardien mukaiset märkäkokeet, joiden tulokset on esitetty taulukossa 6.1.

Taulukko 6.1 Testimassa 1:n testitulokset.

<b>Tuote:</b> Testimassa 1		
<b>Massa (g)</b> 200,7		
<b>Seula (mm)</b>	<b>Läpäisy (g)</b>	<b>Läpäisy (%)</b>
0,063	23,2	11,6
0,125	48,8	24,4
0,25	88,3	44,1
0,5	141,5	70,7
1	169,4	84,6
2	192,6	96,2
4	200,0	99,9
8	200,2	100
16		
31,5		
63		
<b>Märkäkokeet</b>		<b>2. Mittaus: 1h päästä mitattu</b>
Vesi (%) 13		Ilmamäärä (%) 11
Sekoitus aika (s) 300		Leviämä (mm) 132
		Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 1896
<b>1. Mittaus: heti mitattu</b>		<b>3. Mittaus: 2h päästä mitattu</b>
Ilmamäärä (%) 13		Ilmamäärä (%) 10
Leviämä (mm) 144		Leviämä (mm) 127
Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 1867		Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 1907

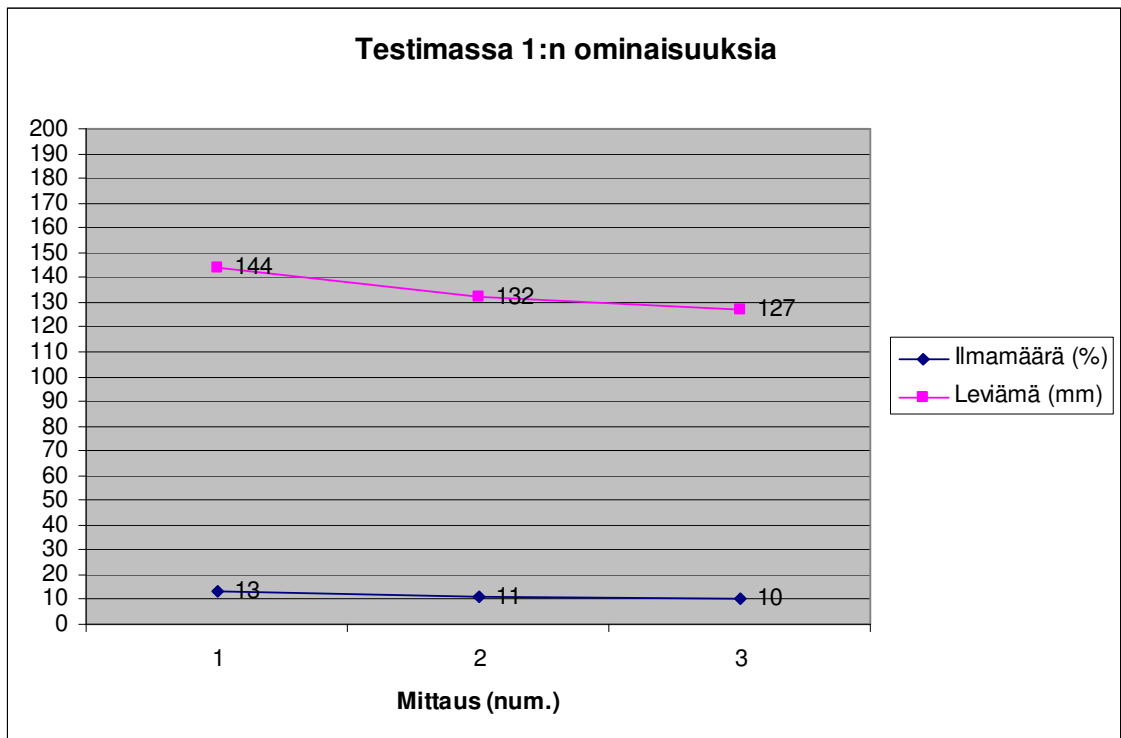
Seulontatuloksista nähdään kunkin seulan läpäisseen aineksen määrä, jonka avulla voidaan laskea kyseisen seulan läpäisyprosentti. Seulontatuloksista voidaan päätellä tuotteen raekoon jakautuminen. Raekoon jakautumista voidaan selventää rakeisuuskäyrän avulla kuten kuvasta 6.1 nähdään.

(by 201 2005, 33–36.)



Kuva 6.1 Testimassa 1:n rakeisuuskäyrä.

Lisäksi tehtiin seuraavat märkäkokeet: ilmapitoisuuden määrittäminen SFS-EN 1015-7, leviämän SFS-EN 1015-3 + A1 + A2 ja tiheyden määrittäminen SFS-EN 1015-6 + A1 testimenetelmillä. Ilmamäärän ja leviämän vaikutus toisiinsa on esitetty kuvassa 6.2.



Kuva 6.2 Testimassan 1:n ominaisuuksia.

Mittaukset numeroitiin siten, että heti mitatut ilmamäärä ja leviämä on numeroitu kuvassa numerolla 1. Yhden tunnin kuluttua mitatut merkittiin numerolla 2 ja kahden tunnin kuluttua mitatut merkittiin numerolla 3. Pystyakselin asteikko on ilmamäärälle sekä leviämälle sama. Kuvasta nähdään, että massan ilmamäärän (%) vähentyessä myös sen leviämä (mm) pienenee, jolloin myös massan työstettävyysominaisuudet hieman heikkenevät.

## 7 POHDINTA

Käytännön tutkimustyö perustui edellisissä kappaleissa esitettyihin tutkimusmenetelmiin ja niistä saatuihin tietoihin. Kuivatuotteiden ominaisuuksien tutkiminen onnistui kokonaisuutena hyvin.

Erinäiset testit tehtiin SFS-EN-standardien mukaisia testimenetelmiä noudattaen, paikoitellen niitä sovellettiin hieman, jolloin testit olivat helpommin toistettavissa.

Kuutio- ja prismakoe-kappaleiden puristuslujuuksien arvojen perusteella määriteltiin kunkin tuotteen korrelaatio. Korrelaatiokerrointa  $r$  voidaan tulkita siten, että kun  $r$  on likimain 1, lineaarinen riippuvuus on täydellistä siten, että molemmat tutkittavat asiat kasvavat yhtä aikaa. Kyseessä on positiivinen korrelaatio.

Tulokset osoittavat sen, että koe-kappaleiden puristuslujuuksien perusteella tutkittavien tuotteiden kuutio- ja prismakoe-kappaleiden puristuslujuuksien välillä on tuotekohtaisesti vahva korrelaatio. Toisin sanoen kuutio- ja prismakoe-kappaleiden lujuusominaisuudet ovat lähes yhtenevät. Korrelaation määrittäminen onnistui tuotekohtaisesti hyvin.

Testimassojen tuloksista voidaan havaita se, että tuotteen pienilläkin reseptimuutoksilla on vaikutusta märkämassojen ominaisuuksiin. Kaikille testimassoille oli yhtenäistä se, että massan ilmamäärän (%) vähentyessä myös leviämä (mm) pieneni, tämä voidaan todeta muun muassa kuvasta 6.2. Edellä mainittujen ominaisuuksien pienentyessä myös massan työstettävyysominaisuudet hieman heikkenivät. Tämä johtuu siitä, että massan ilmamäärä ja leviämä vaikuttivat suoraan massan työstettävyyteen. Tuloksista nähdään myös se, että reseptimuutokset eivät vaikuttaneet ilmamäärän ja leviämän muutoksiin aina tasaisesti, toisin sanoen tutkitut ominaisuudet eivät muuttuneet aina samassa suhteessa.



Massan ilmamäärään ja leviämään vaikuttaa oleellisesti resepti, jonka mukaan massa on tehty, sekä märkämässan valmistuksesta kulunut aika. Ilmamäärä ja leviämä vaikuttivat taas puolestaan muun muassa massan työstettävyyteen, notkeuteen ja koossa pysymiseen.

Testimassojen ominaisuuksien tutkiminen onnistui hyvin. Tuloksista saatiin hyvää tietoa ja selvyyttä siihen, kuinka reseptimuutokset vaikuttavat massojen ilmamääriin ja leviämiin.

Työn tekeminen oli haastavaa sekä mielenkiintoista. Aikaisempi työkokemus Kuivabetoni Jurvanen & Havo Oy:llä oli eduksi ja helpotti työn tekemistä. Kiitokset kuuluvat erityisesti opinnäytetyön ohjaajille, joista oli suuri apu työn tekemisessä.

## KUVAT

Kuva 1.1 Työn eteneminen, s. 6

Kuva 3.1 Kuutiokoekappale, s. 15

Kuva 3.2 Kuutiokoekappaleen muovinen valumuotti, s.15

Kuva 3.3 Prismakoekappale, s. 16

Kuva 3.4 Prismakoekappaleen teräksinen valumuotti, s 16

Kuva 4.1 Positiivinen korrelaatio, s. 22

Kuva 4.2 Negatiivinen korrelaatio, s. 22

Kuva 4.3 Korrelaatiota ei ole, s. 23

Kuva 5.1 Tuote 1:n rakeisuuskäyrä, s. 26

Kuva 5.2 Tuote 1:n rakeisuuskäyrä, s. 30

Kuva 5.3 Tuote 1:n 3 vrk:n ikäisten koekappaleiden puristuslujuudet, s. 32

Kuva 5.4 Tuote 1:n 28 vrk:n ikäisten koekappaleiden puristuslujuudet, s. 33

Kuva 6.1 Testimassa 1:n rakeisuuskäyrä, s. 38

Kuva 6.2 Testimassan 1:n ominaisuuksia, s. 39

## TAULUKOT

Taulukko 3.1 Koekappaleiden lukumäärät, s. 17

Taulukko 5.1 Tuote 1:n seulonta- ja märkäkokeiden tulokset, s. 25

Taulukko 5.2 Tuote 1:n 3 vrk:n ikäisten kuutiokoekappaleiden ominaisuudet, s. 26

Taulukko 5.3 Tuote 1:n 28vrk:n ikäisten kuutiokoekappaleiden ominaisuudet, s. 27

Taulukko 5.4 Tuote 1:n seulonta- ja märkäkokeiden tulokset, s. 29

Taulukko 5.5 Tuote 1:n 3 vrk:n ikäisten prismakoekappaleiden ominaisuudet, s. 30

Taulukko 5.6 Tuote 1:n 28 vrk:n ikäisten prismakoekappaleiden ominaisuudet, s. 31

Taulukko 5.7 Tuote 1:n korrelaatiokertoimen laskemista varten, s. 33

Taulukko 6.1 Testimassa 1:n testitulokset, s. 37

# LÄHTEET

## Kirjalliset lähteet

Holopainen M. & Pulkkinen P. 1994 Tilastolliset menetelmät, perusteet. Porvoo: WSOY

Hautajärvi, T., Ottelin, J. & Wallin-Jaakkola, L. 2003 Variaabeli kertauskirja, lukion lyhyt matematiikka. Keuruu: Otava

SFS-EN 1015-11 + A1 Muurauslaastien testimenetelmiä. Osa 11: Kovettuneen laastin taivutus- ja puristuslujuuden määrittäminen 2007. Suomen standardisoimisliitto SFS

SFS-EN 1015-7 Muurauslaastien testimenetelmiä. Osa 7: Tuoreen laastin ilmapitoisuuden määrittäminen 2007. Suomen standardisoimisliitto SFS

SFS-EN 1015-6 + A1 Muurauslaastien testimenetelmiä. Osa 6: Tuoreen laastin tiheyden määrittäminen 2007. Suomen standardisoimisliitto SFS

SFS-EN 1015-3 + A1 + A2 Muurauslaastien testimenetelmiä. Osa 3: Tuoreen laastin notkeuden määrittäminen iskupöydällä 2007. Suomen standardisoimisliitto SFS

SFS-EN 12390-3 Kovettuneen betonin testaus. Osa 3: Koekappaleiden puristuslujuus 2002. Suomen standardisoimisliitto SFS

SFS-EN 1015-1 + A1 Muurauslaastien testimenetelmiä. Osa 1: Raekokojakauman määrittäminen (seulomalla) 2007. Suomen standardisoimisliitto SFS

by 201 Betonitekniikan oppikirja 2005. Jyväskylä: Suomen Betoniyhdistys r.y

by 22 Betoninormien edellyttämien käyttöselosteita koskevat ohjeet 1985. Suomen Betoniyhdistys r.y.

by 23 Seosaineiden sovellusohje 1987. Suomen Betoniyhdistys r.y.

by 43 Betonin kiviainekset 2009. Lahti: Suomen Betoniyhdistys r.y.

Siikanen, U. 2001. Rakennusaineoppi. Hämeenlinna: Rakennustieto Oy

Ylä-Mattila, R. 1984 Muurauslaastien ominaisuudet, Osa 1. Kirjallisuustutkimus.

## Sähköiset lähteet

Juho-laastit Oy

<http://www.juho-laastit.com/controller.php?x=Etusivu> (Viitattu 15.2.2010)

Edu

[http://www.edu.fi/oppimateriaalit/tilastomatikka/sanasto.html#Lineaarinen\\_riippuvuus](http://www.edu.fi/oppimateriaalit/tilastomatikka/sanasto.html#Lineaarinen_riippuvuus) (Viitattu 15.2.2010)

Betoni

<http://www.betoni.com/fi/Tietoa+betonista/Perustietopaketti/Mit%C3%A4+betonin+valmistuksessa+tehd%C3%A4nC3%A4n/> (Viitattu 26.2.2010)

Internetix

[http://opinnot.internetix.fi/fi/materiaalit/maa/maa06/maa6\\_05\\_korrelaatio.pdf?C:D=1465652&m:selres=1465652](http://opinnot.internetix.fi/fi/materiaalit/maa/maa06/maa6_05_korrelaatio.pdf?C:D=1465652&m:selres=1465652) (Viitattu 26.2.2010)

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

[http://www.sfs.fi/sfs\\_lyhyesti/tehtavat/](http://www.sfs.fi/sfs_lyhyesti/tehtavat/) (Viitattu 25.2.2010)

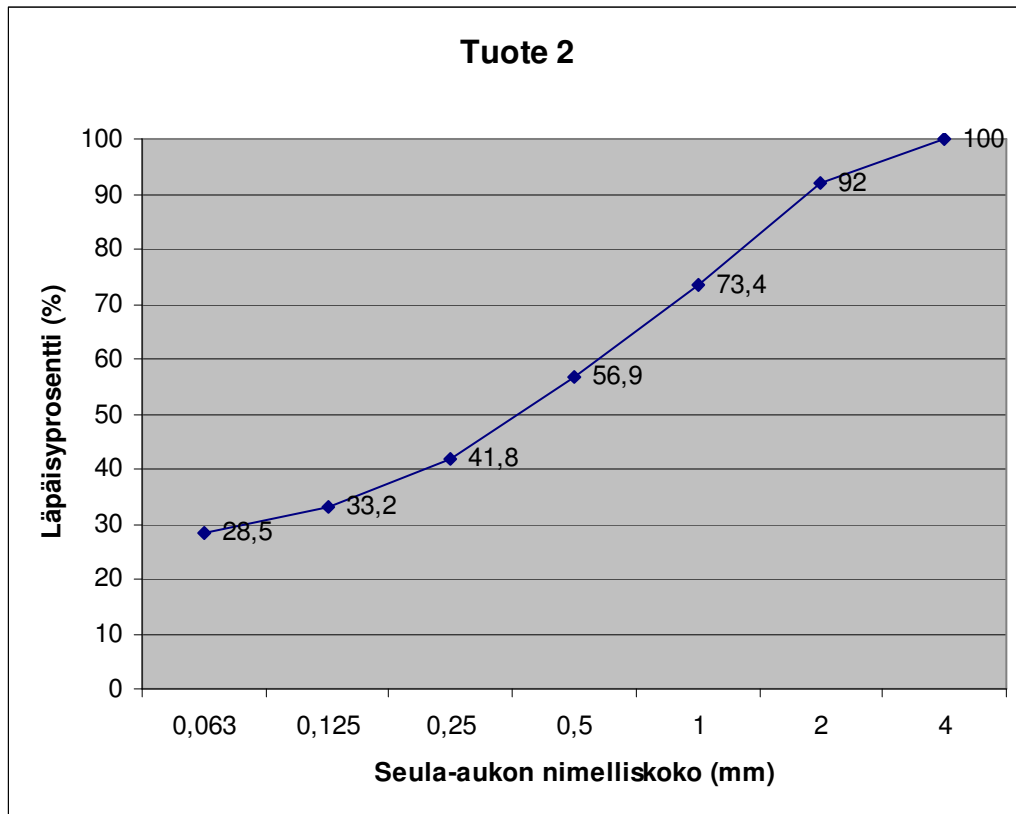
**LIITE 1**  
**TUOTE 2**

## TUOTE 2

### Tuote 2:n kuutiokoekappaleet

Taulukko 1 Tuote 2:n seulonta- ja märkäkokeiden tulokset.

<b>Tuote:</b> Tuote 2		
<b>Massa (g)</b> 201,2		
<b>Seula (mm)</b>	<b>Läpäisy (g)</b>	<b>Läpäisy (%)</b>
0,063	57,3	28,5
0,125	66,7	33,2
0,25	84,0	41,8
0,5	114,3	56,9
1	147,5	73,4
2	184,8	92
4	200,9	100
8		
16		
31,5		
63		
<b>Märkäkokeet</b>	<b>Heti mitattu</b>	
Vesi (%) 13	Ilmamäärä (%) 10,0	
Sekoitus aika (s) 240	Leviämä (mm) ei mitattu	
	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 2028	



Kuva 1 Tuote 2:n rakeisuuskäyrä.

Taulukko 2 Tuote 2:n 3 vrk:n ikäisten kuutiokoeoskappaleiden ominaisuudet.

<b>Tuote 2</b>				
	Massa (kg)	Korkeus (mm)	Leveys (mm)	Syvyys (mm)
Kuutio 1	6,801	150	150	150
Kuutio 2	6,811	150	150	150
Kuutio 3	6,840	150	150	150
	Murtovoima (kN)	Puristuslujuus (N/mm <sup>2</sup> )	Kuormitusnopeus (kN/s)	
Kuutio 1	613,5	27,27	10,00	
Kuutio 2	598,4	26,59	10,00	
Kuutio 3	600,3	26,68	10,00	

Taulukko 3 Tuote 2:n 28 vrk:n ikäisten kuutiokoeappaleiden ominaisuudet.

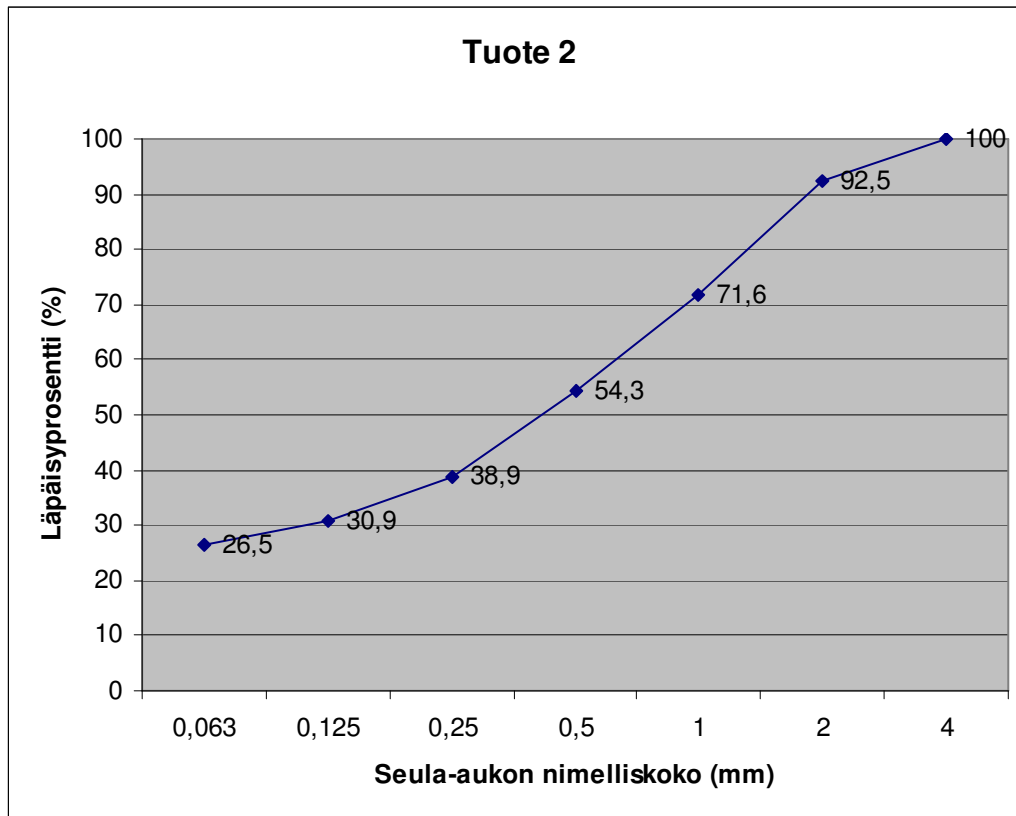
<b>Tuote 2</b>				
	Massa (kg)	Korkeus (mm)	Leveys (mm)	Syvyys (mm)
Kuutio 1	6,890	150	150	150
Kuutio 2	6,876	150	150	150
Kuutio 3	6,852	150	150	150
	Murtovoima (kN)	Puristuslujuus (N/mm <sup>2</sup> )	Kuormitusnopeus (kN/s)	
Kuutio 1	902,6	40,12	10,00	
Kuutio 2	884,4	39,31	10,00	
Kuutio 3	877,3	38,99	10,00	

### Tuote 2:n prismakoeappaleet

Taulukko 4 Tuote 2:n seulonta- ja märkäkokeiden tulokset.

<b>Tuote: Tuote 2</b>		
<b>Massa (g) 204,7</b>		
<b>Seula (mm)</b>	<b>Läpäisy (g)</b>	<b>Läpäisy (%)</b>
0,063	54,2	26,5
0,125	63,2	30,9
0,25	79,6	38,9
0,5	111,0	54,3
1	146,4	71,6
2	189,2	92,5
4	204,5	100
8		
16		
31,5		
63		
<b>Märkäkokeet</b>		<b>Heti mitattu</b>
Vesi (%) 13		Ilmamäärä (%) 10,0
Sekoitusaika (s) 240		Leviämä (mm) 160
		Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 2010





Kuva 2 Tuote 2:n rakeisuuskäyrä

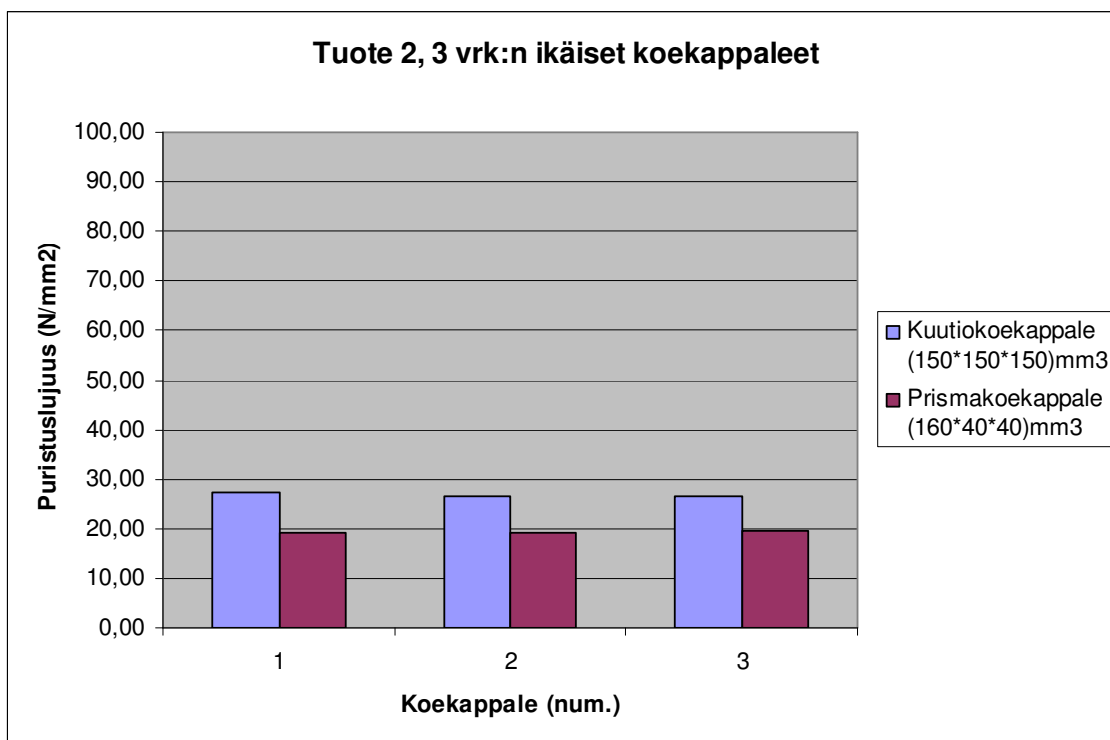
Taulukko 5 Tuote 2:n 3 vrk:n ikäisten prismakoekappaleiden ominaisuudet.

<b>Tuote 2</b>				
	Massa (kg)	Korkeus (mm)	Leveys (mm)	Syvyys (mm)
Prisma 1	0,517	40	40	160
Prisma 2	0,513	40	40	160
Prisma 3	0,520	40	40	160
	Puristuslujuus (N/mm <sup>2</sup> )	Puristuslujuuden keskiarvo (N/mm <sup>2</sup> )		
Prisma 1	19,00 – 19,10	19,10		
Prisma 2	19,60 – 18,80	19,20		
Prisma 3	19,40 – 19,80	19,60		

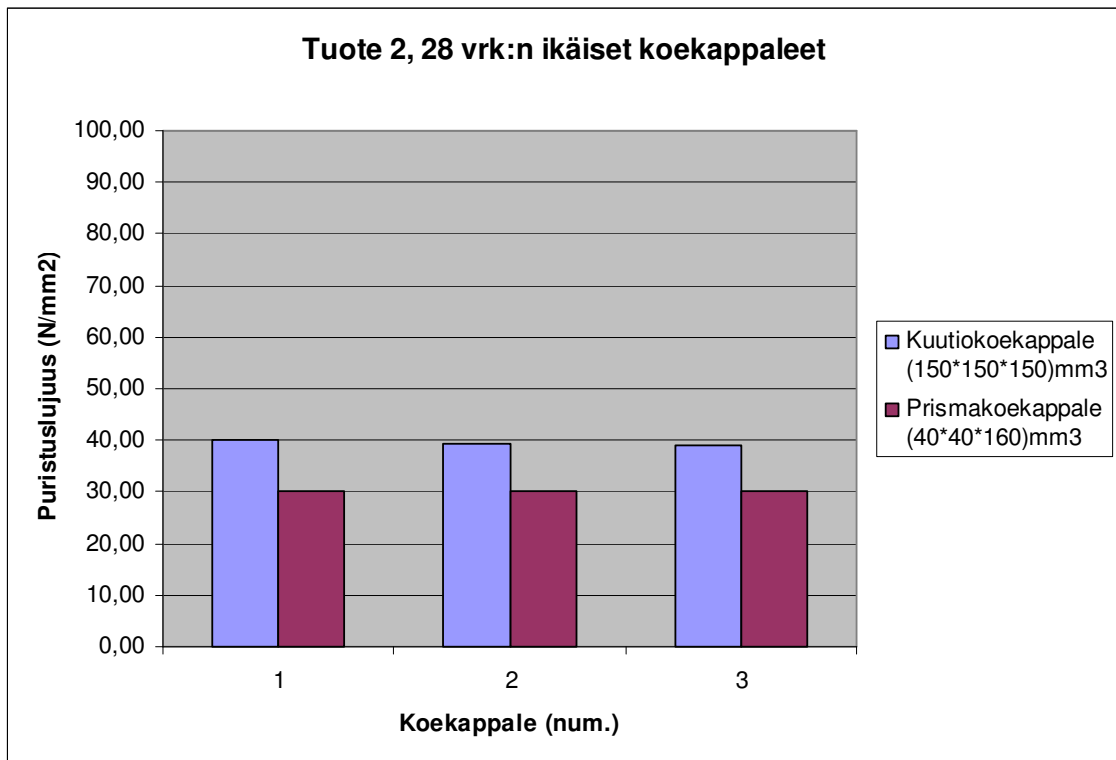
Taulukko 6 Tuote 2:n 28 vrk:n ikäisten prismakoe-kappaleiden ominaisuudet.

<b>Tuote 2</b>				
	Massa (kg)	Korkeus (mm)	Leveys (mm)	Syvyys (mm)
Prisma 1	0,518	40	40	160
Prisma 2	0,513	40	40	160
Prisma 3	0,510	40	40	160
	Puristuslujuus (N/mm <sup>2</sup> )	Puristuslujuuden keskiarvo (N/mm <sup>2</sup> )		
Prisma 1	29,70 – 30,40	30,10		
Prisma 2	29,70 – 30,90	30,30		
Prisma 3	30,30 – 30,30	30,30		

**Tuote 2:n 3 ja 28 vrk:n ikäisten kuutiokoe-kappaleiden ja prismakoe-kappaleiden puristuslujuuksien vertailu sekä korrelaatiokertoimen laskeminen**



Kuva 3 Tuote 2:n 3 vrk:n ikäisten koe-kappaleiden puristuslujuudet.



Kuva 4 Tuote 2:n 28 vrk:n ikäisten koekappaleiden puristuslujuudet.

Taulukko 7 Tuote 2:n korrelaatiokerroimen laskemista varten.

<b>Tuote 2</b>					
<b>Koekappale</b>	<b>kuutiokoekappale</b>	<b>prismakoekappale</b>			
	$x_i$	$y_i$	$x_i y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	27,27	19,10	520,86	743,65	364,81
2	26,59	19,20	510,53	707,03	368,64
3	26,68	19,60	522,93	711,82	384,16
4	40,12	30,10	1207,61	1609,61	906,01
5	39,31	30,30	1191,09	1545,28	918,09
6	38,99	30,30	1181,40	1520,22	918,09
<b>Yht.</b>	<b>198,96</b>	<b>148,60</b>	<b>5134,42</b>	<b>6837,61</b>	<b>3859,80</b>

Korrelaatiokerroin laskettiin seuraavalla kaavalla:

$$r = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2][n(\sum y_i^2) - (\sum y_i)^2]}} \quad (5.2)$$

sijoitettiin arvot kaavaan ja korrelaatiokerroimen eli  $r$ :n arvoksi saatiin

$$r = 0,996438$$

Korrelaatiokerrointa  $r$  voidaan tulkita siten, että kun  $r$  on likimain 1, lineaarinen riippuvuus on täydellistä siten, että molemmat tutkittavat asiat kasvavat yhtä aikaa. Kyseessä on positiivinen korrelaatio. Tässä tapauksessa saatu arvo kertoo vahvasta lineaarisesta riippuvuudesta kuutio- ja prismakoelempaleiden puristuslujuuksien välillä. ( Katso luku 4.1)

**LIITE 2**

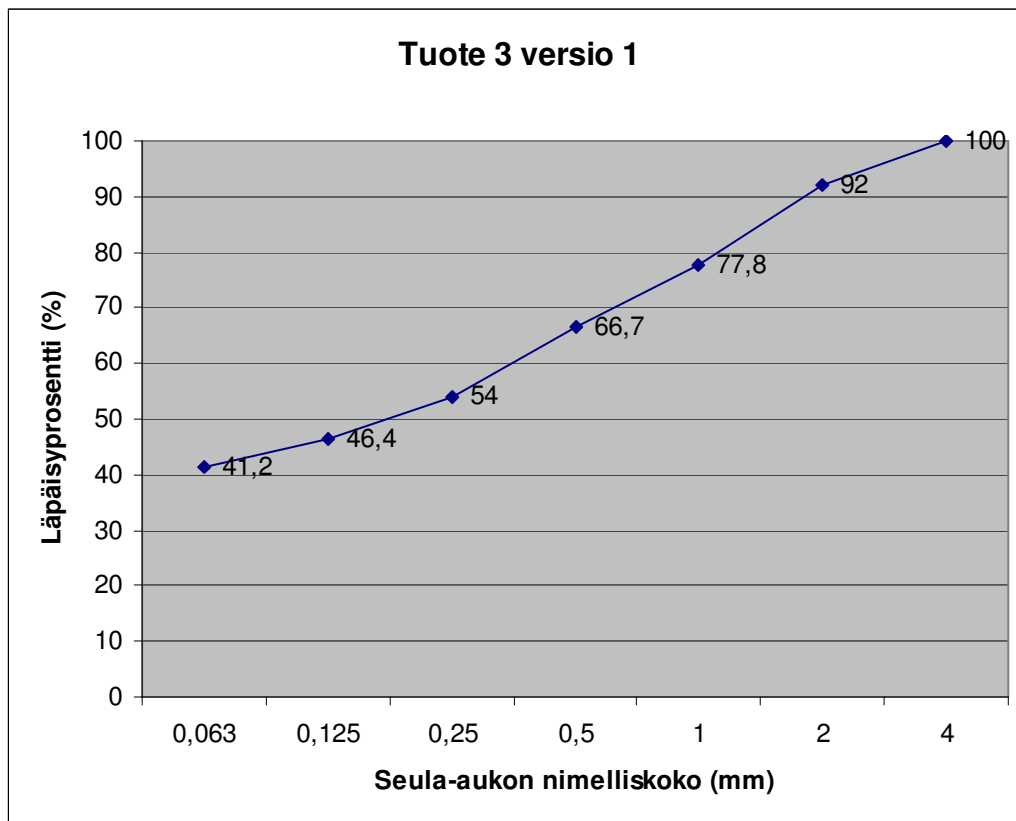
**TUOTE 3 VERSIO 1**

# TUOTE 3 VERSIO 1

## Tuote 3 versio 1:n kuutiokoekappaleet

Taulukko 1 Tuote 3 versio 1:n seulonta- ja märkäkokeiden tulokset.

<b>Tuote:</b> Tuote 3 vers. 1		
<b>Massa (g)</b> 207,5		
<b>Seula (mm)</b>	<b>Läpäisy (g)</b>	<b>Läpäisy (%)</b>
0,063	85,3	41,2
0,125	96,1	46,4
0,25	111,8	54,0
0,5	138,1	66,7
1	161,1	77,8
2	190,5	92,0
4	207,1	100
8		
16		
31,5		
63		
<b>Märkäkokeet</b>		<b>Heti mitattu</b>
Vesi (%) 13		Ilmamäärä (%) 3,6
Sekoitusaika (s) 240		Leviämä (mm) ei mitattu
		Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 2206



Kuva 1 Tuote 3 versio 1:n rakeisuuskäyrä.

Taulukko 2 Tuote 3 versio 1:n 3 vrk:n ikäisten kuutiokoekappaleiden ominaisuudet.

<b>Tuote 3 vers. 1</b>				
	Massa (kg)	Korkeus (mm)	Leveys (mm)	Syvyys (mm)
Kuutio 1	7,537	150	150	150
Kuutio 2	7,490	150	150	150
Kuutio 3	7,478	150	150	151
	Murtovoima (kN)	Puristuslujuus (N/mm <sup>2</sup> )	Kuormitusnopeus (kN/s)	
Kuutio 1	1339	59,53	10,00	
Kuutio 2	1367	60,74	10,00	
Kuutio 3	1317	58,17	10,00	

Taulukko 3 Tuote 3 versio 1:n 28 vrk:n ikäisten kuutiokoekappaleiden ominaisuudet.

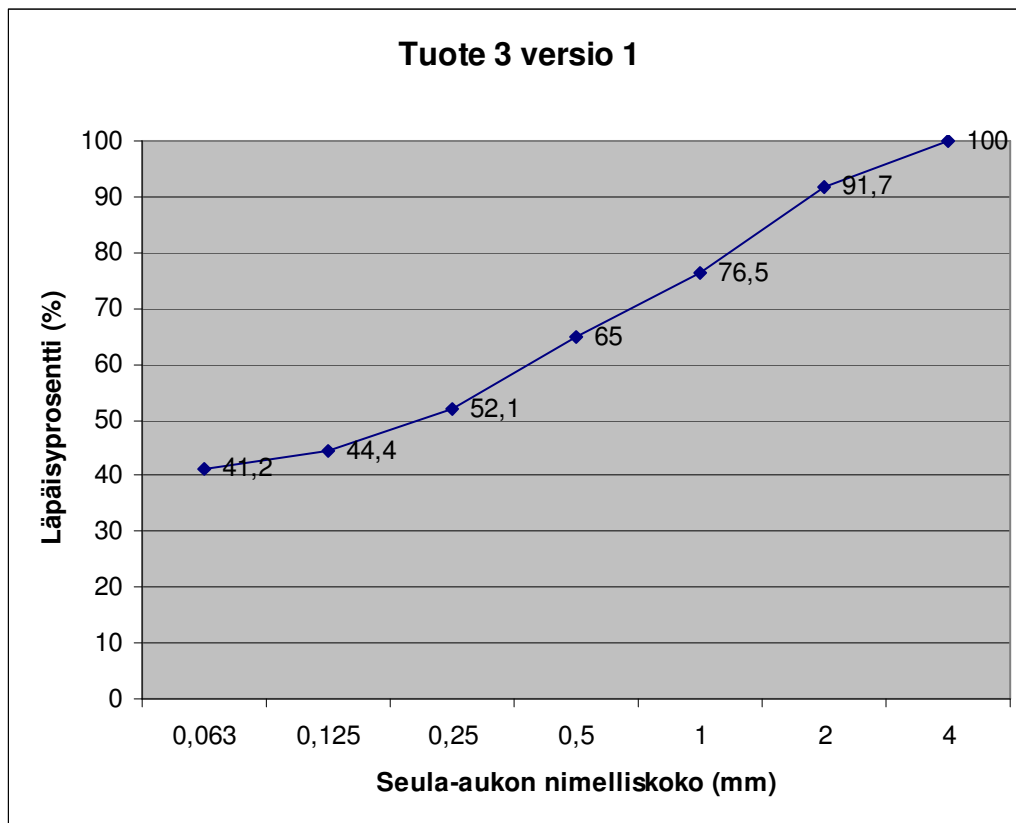
<b>Tuote 3 vers. 1</b>				
	Massa (kg)	Korkeus (mm)	Leveys (mm)	Syvyys (mm)
Kuutio 1	7,562	150	150	151
Kuutio 2	7,494	150	150	150
Kuutio 3	7,573	150	150	150
	Murtovoima (kN)	Puristuslujuus (N/mm <sup>2</sup> )	Kuormitusnopeus (kN/s)	
Kuutio 1	1621	71,57	10,00	
Kuutio 2	1650	73,33	10,00	
Kuutio 3	1572	69,85	10,00	

### Tuote 3 versio 1:n prismakoekappaleet

Taulukko 4 Tuote 3:n versio 1:n seulonta- ja märkäkokeiden tulokset.

<b>Tuote:</b> Tuote 3 vers. 1		
<b>Massa (g)</b> 203,7		
<b>Seula (mm)</b>	<b>Läpäisy (g)</b>	<b>Läpäisy (%)</b>
0,063	83,8	41,2
0,125	90,4	44,4
0,25	106,0	52,1
0,5	132,3	65,0
1	155,7	76,5
2	186,6	91,7
4	203,5	100
8		
16		
31,5		
63		
<b>Märkäkokeet</b>		<b>Heti mitattu</b>
Vesi (%) 13		Ilmamäärä (%) 4,0
Sekoitusaika (s) 240		Leviämä (mm) 190
		Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 2242





Kuva 2 Tuote 3 versio 1:n rakeisuuskäyrä.

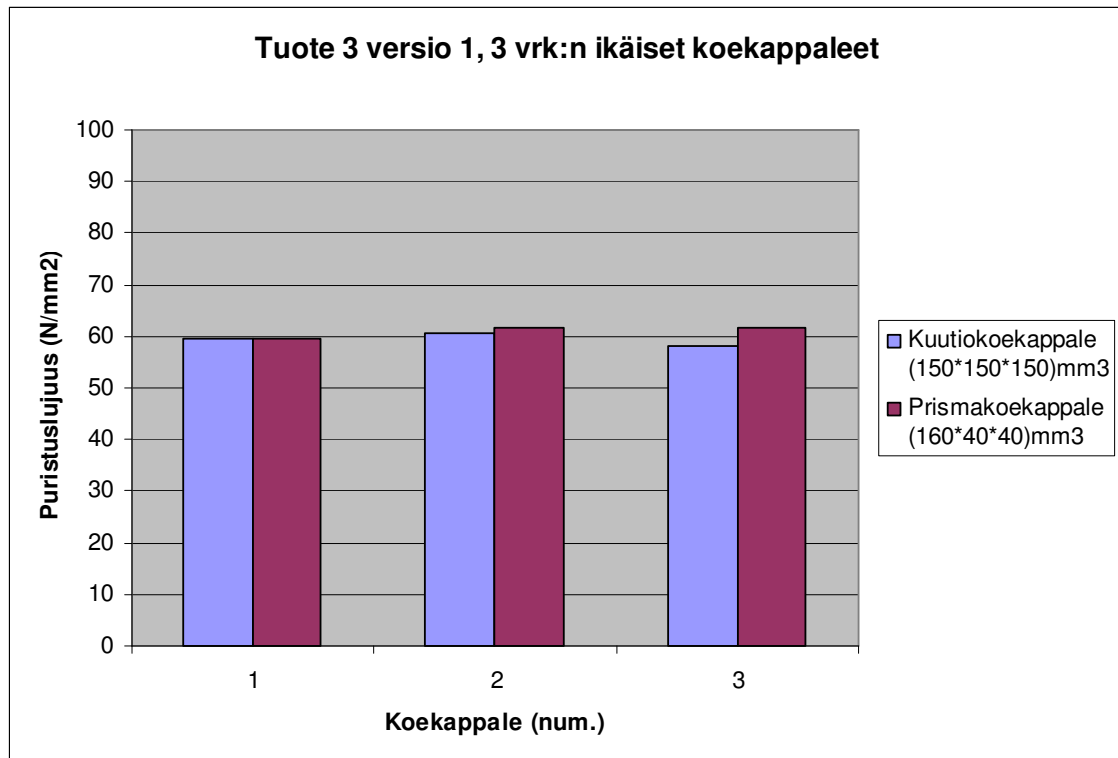
Taulukko 5 Tuote 3 versio 1:n 3 vrk:n ikäisten prismakoe­kappaleiden ominaisuudet.

<b>Tuote 3 vers. 1</b>				
	Massa (kg)	Korkeus (mm)	Leveys (mm)	Syvyys (mm)
Prisma 1	0,581	40	40	160
Prisma 2	0,584	40	40	160
Prisma 3	0,582	40	40	160
	Puristuslujuus (N/mm <sup>2</sup> )	Puristuslujuuden keskiarvo (N/mm <sup>2</sup> )		
Prisma 1	59,50 – 59,90	59,70		
Prisma 2	61,00 – 62,20	61,60		
Prisma 3	60,60 – 62,80	61,70		

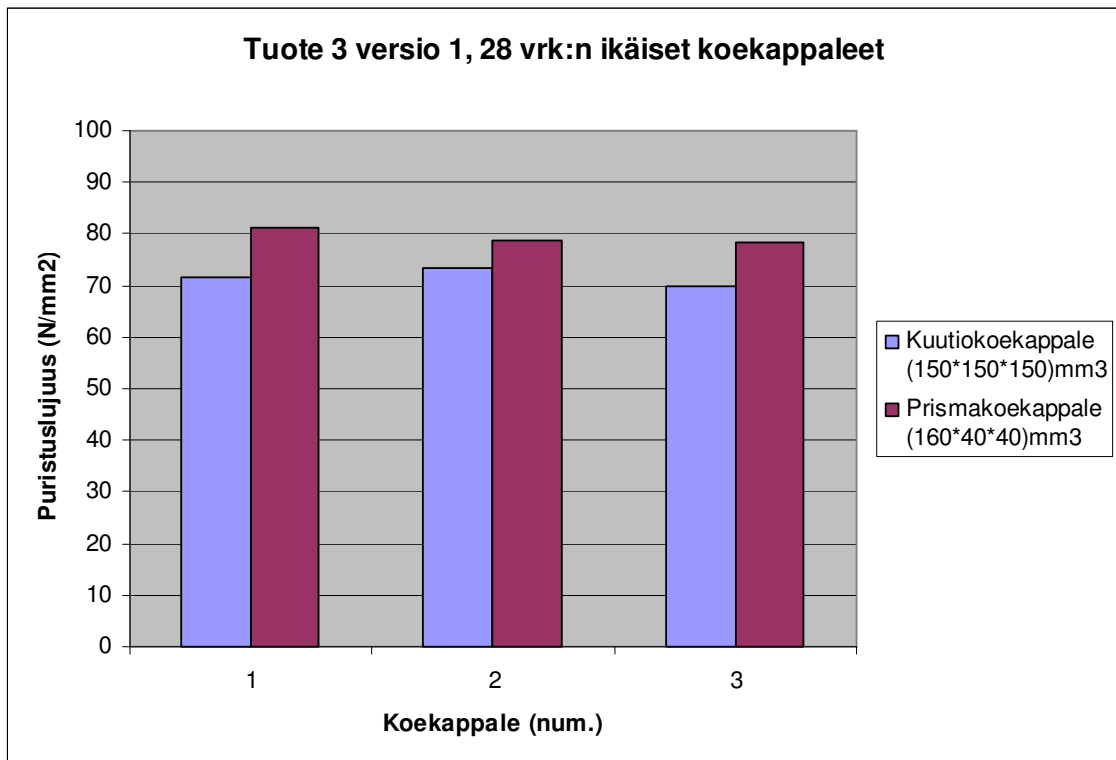
Taulukko 6 Tuote 3 versio 1:n 28 vrk:n ikäisten prismakoe­kappaleiden ominaisuudet.

<b>Tuote 3 vers. 1</b>				
	Massa (kg)	Korkeus (mm)	Leveys (mm)	Syvyys (mm)
Prisma 1	0,587	40	40	160
Prisma 2	0,585	40	40	160
Prisma 3	0,590	40	40	160
	Puristuslujuus (N/mm <sup>2</sup> )	Puristuslujuuden keskiarvo (N/mm <sup>2</sup> )		
Prisma 1	84,20 – 77,90	81,10		
Prisma 2	76,60 – 81,10	78,90		
Prisma 3	76,70 – 80,00	78,40		

**Tuote 3:n versio 1:n 3 ja 28 vrk:n ikäisten kuutiokoe­kappaleiden ja prismakoe­kappaleiden puristuslujuuksien vertailu sekä korrelaatiokertoimen laskeminen**



Kuva 3 Tuote 3:n versio 1:n, 3 vrk:n ikäisten koe­kappaleiden puristuslujuudet.



Kuva 4 Tuote 3:n versio 1:n, 28 vrk:n ikäisten koekappaleiden puristuslujuudet.

Taulukko 7 Tuote 3:n versio 1:n korrelaatiokertoimen laskemista varten.

Tuote 3 vers.1					
Koekappale	kuutiokoekappale	prismakoekappale			
	$x_i$	$y_i$	$x_i y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	59,53	59,7	3553,94	3543,82	3564,09
2	60,74	61,6	3741,58	3689,35	3794,56
3	58,17	61,7	3589,09	3383,75	3806,89
4	71,57	81,1	5804,33	5122,26	6577,21
5	73,33	78,9	5785,74	5377,29	6225,21
6	69,85	78,4	5476,24	4879,02	6146,56
<b>Yht.</b>	393,19	421,40	27950,92	25995,49	30114,52

Korrelaatiokerroin laskettiin seuraavalla kaavalla:

$$r = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2][n(\sum y_i^2) - (\sum y_i)^2]}} \quad (5.3)$$

sijoitettiin arvot kaavaan ja korrelaatiokerroimen eli  $r$ :n arvoksi saatiin

$$r = 0,974823$$

Korrelaatiokerrointa  $r$  voidaan tulkita siten, että kun  $r$  on likimain 1, lineaarinen riippuvuus on täydellistä siten, että molemmat tutkittavat asiat kasvavat yhtä aikaa. Kyseessä on positiivinen korrelaatio. Tässä tapauksessa saatu arvo kertoo vahvasta lineaarisesta riippuvuudesta kuutio- ja prismakoe-kappaleiden puristuslujuuksien välillä. ( Katso luku 4.1)

**LIITE 3**

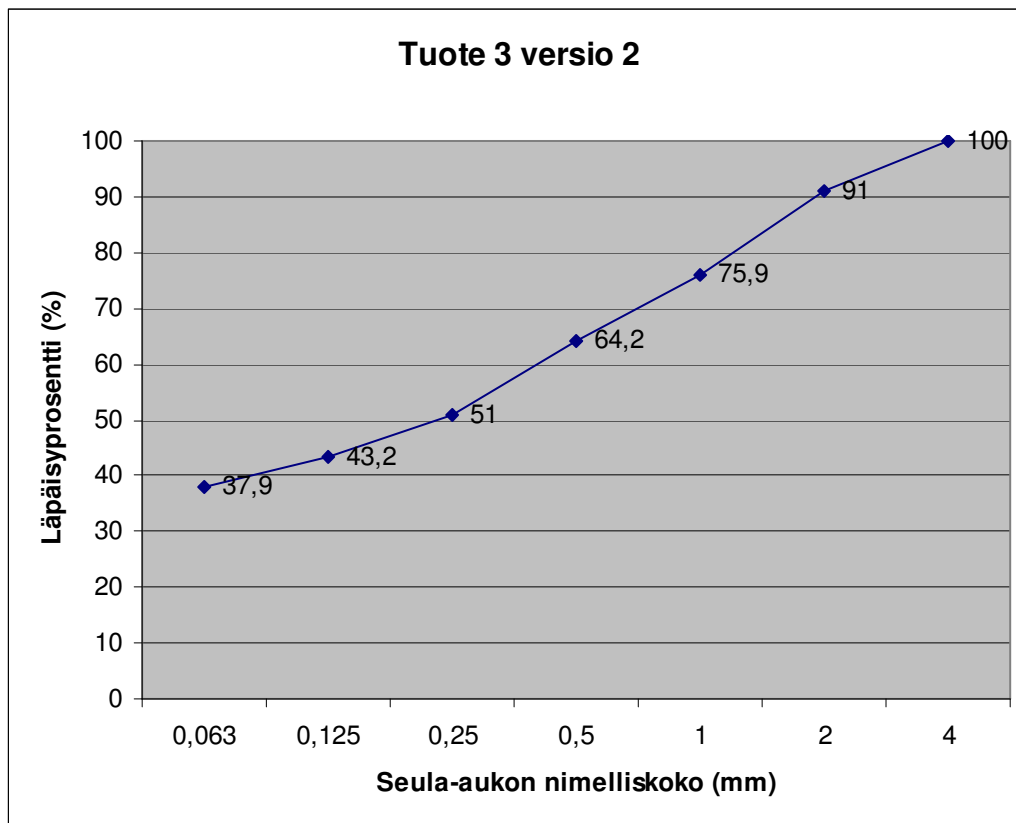
**TUOTE 3 VERSIO 2**

## TUOTE 3 VERSIO 2

### Tuote 3:n versio 2:n kuutiokoekappaleet

Taulukko 1 Tuote 3:n versio 2:n seulonta- ja märkäkokeiden tulokset.

<b>Tuote:</b> Tuote 3 vers.2		
<b>Massa (g)</b> 201,9		
<b>Seula (mm)</b>	<b>Läpäisy (g)</b>	<b>Läpäisy (%)</b>
0,063	76,4	37,9
0,125	87,1	43,2
0,25	102,9	51,0
0,5	129,5	64,2
1	153,1	75,9
2	183,5	91,0
4	201,7	100
8		
16		
31,5		
63		
<b>Märkäkokeet</b>	<b>Heti mitattu</b>	
Vesi (%) 12	Ilmamäärä (%) 7,9	
Sekoitusaika (s) 240	Leviämä (mm) ei mitattu	
	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 2172	



Kuva 1 Tuote 3 versio 2:n rakeisuuskäyrä.

Taulukko 2 Tuote 3:n versio 2:n 3 vrk:n ikäisten kuutiokoekappaleiden ominaisuudet.

<b>Tuote 3 vers.2</b>				
	Massa (kg)	Korkeus (mm)	Leveys (mm)	Syvyys (mm)
Kuutio 1	7,344	150	150	150
Kuutio 2	7,273	150	150	150
Kuutio 3	7,360	150	150	150
	Murtovoima (kN)	Puristuslujuus (N/mm <sup>2</sup> )	Kuormitusnopeus (kN/s)	
Kuutio 1	1345	59,79	10,00	
Kuutio 2	1353	60,15	10,00	
Kuutio 3	1409	62,64	10,00	

Taulukko 3 Tuote 3:n versio 2:n 28 vrk:n ikäisten kuutiokoekappaleiden ominaisuudet.

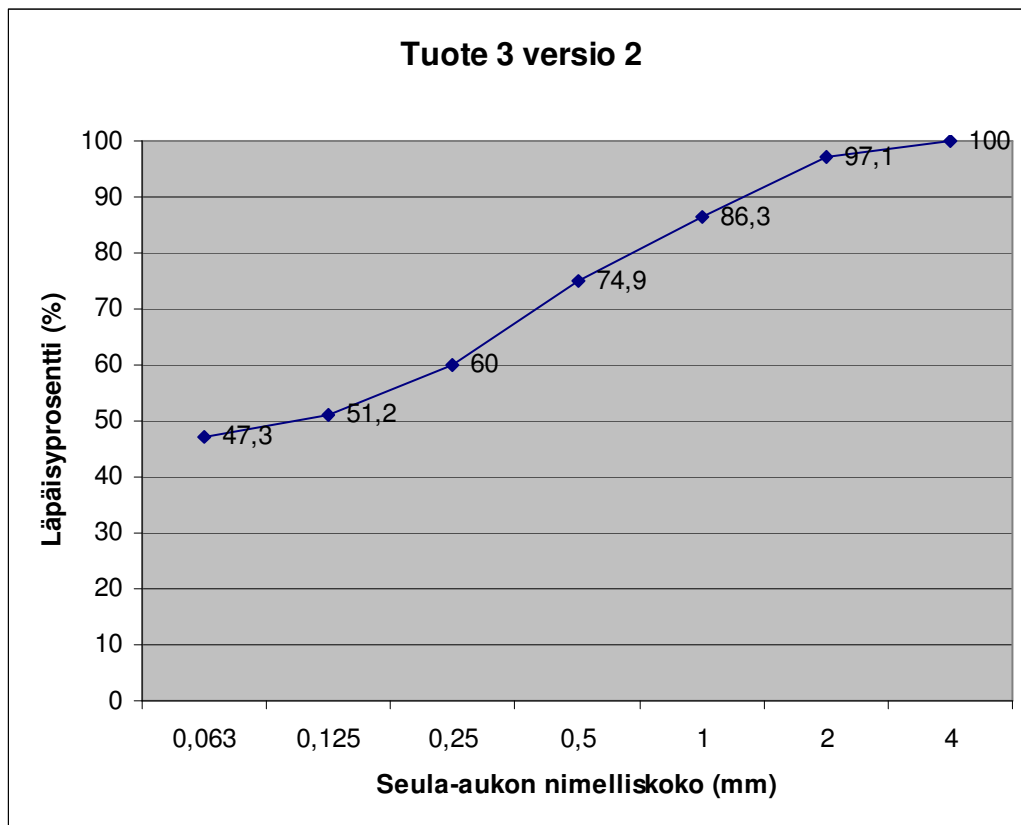
<b>Tuote 3 vers.2</b>				
	Massa (kg)	Korkeus (mm)	Leveys (mm)	Syvyys (mm)
Kuutio 1	7,401	150	150	150
Kuutio 2	7,309	150	150	150
Kuutio 3	7,336	150	150	150
	Murtovoima (kN)	Puristuslujuus (N/mm <sup>2</sup> )	Kuormitusnopeus (kN/s)	
Kuutio 1	1687	74,97	10,00	
Kuutio 2	1617	71,86	10,00	
Kuutio 3	1633	72,56	10,00	

### Tuote 3:n versio 2:n prismakoekappaleet

Taulukko 4 Tuote 3:n versio 2:n seulonta- ja märkäkokeiden tulokset.

<b>Tuote:</b> Tuote 3 vers.2		
<b>Massa (g)</b> 206,7		
<b>Seula (mm)</b>	<b>Läpäisy (g)</b>	<b>Läpäisy (%)</b>
0,063	97,6	47,3
0,125	105,6	51,2
0,25	123,8	60,0
0,5	154,5	74,9
1	178,0	86,3
2	200,3	97,1
4	206,3	100
8		
16		
31,5		
63		
<b>Märkäkokeet</b>		<b>Heti mitattu</b>
Vesi (%) 12		Ilmamäärä (%) 3,6
Sekoitusaika (s) 240		Leviämä (mm) 185
		Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 2240





Kuva 2 Tuote 3 versio 2:n rakeisuuskäyrä

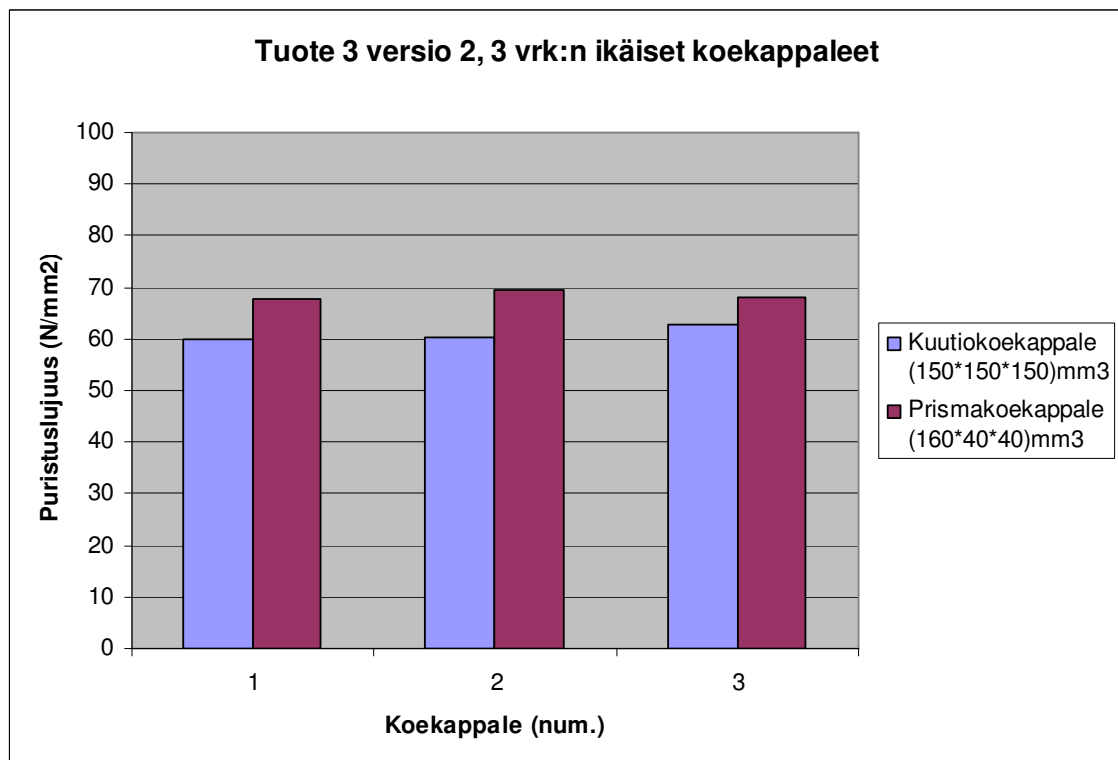
Taulukko 5 Tuote 3:n versio 2:n 3 vrk:n ikäisten prismakoe­kappaleiden ominaisuudet.

<b>Tuote 3 vers.2</b>				
	Massa (kg)	Korkeus (mm)	Leveys (mm)	Syvyys (mm)
Prisma 1	0,585	40	40	160
Prisma 2	0,577	40	40	160
Prisma 3	0,587	40	40	160
	Puristuslujuus (N/mm <sup>2</sup> )	Puristuslujuuden keskiarvo (N/mm <sup>2</sup> )		
Prisma 1	66,80 – 68,90	67,90		
Prisma 2	69,50 – 69,20	69,40		
Prisma 3	69,20 – 66,70	68,00		

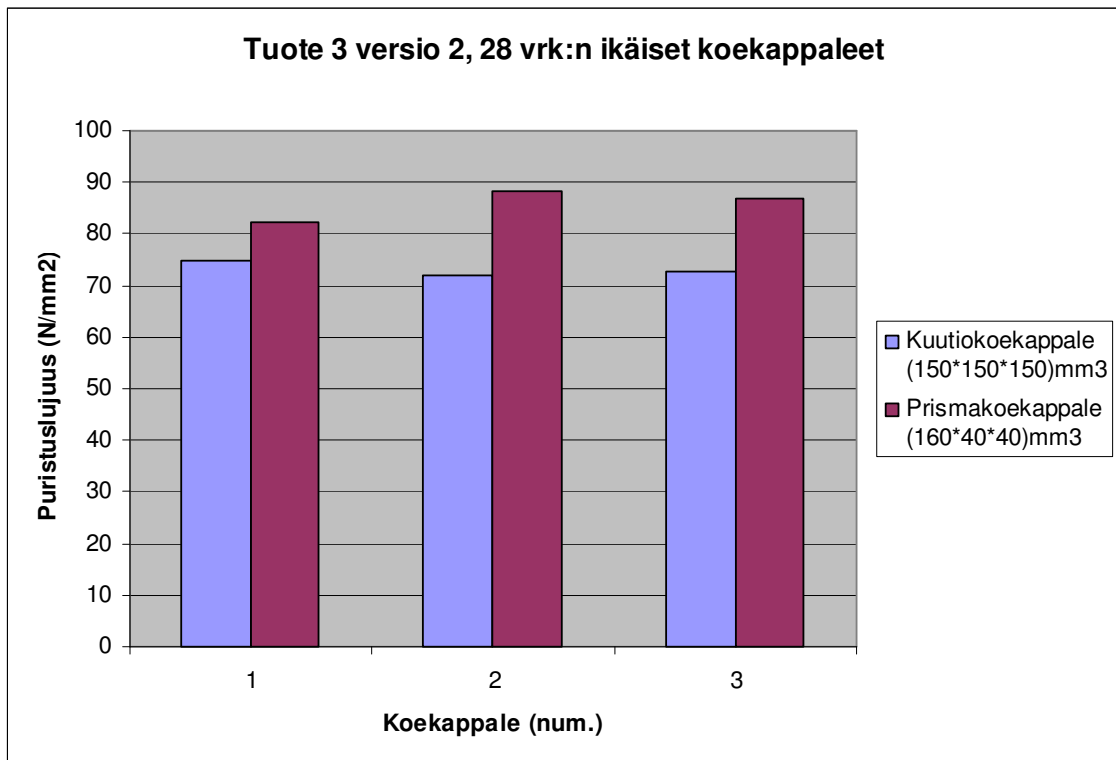
Taulukko 6 Tuote 3:n versio 2:n 28 vrk:n ikäisten prismakoe­kappaleiden ominaisuudet.

<b>Tuote 3 vers.2</b>				
	Massa (kg)	Korkeus (mm)	Leveys (mm)	Syvyys (mm)
Prisma 1	0,605	40	40	160
Prisma 2	0,595	40	40	160
Prisma 3	0,599	40	40	160
	Puristuslujuus (N/mm <sup>2</sup> )	Puristuslujuuden keskiarvo (N/mm <sup>2</sup> )		
Prisma 1	79,80 – 84,60	82,20		
Prisma 2	91,10 – 85,70	88,40		
Prisma 3	85,50 – 88,20	86,90		

**Tuote 3:n versio 2:n 3 ja 28 vrk:n ikäisten kuutiokoe­kappaleiden ja prismakoe­kappaleiden puristuslujuuksien vertailu sekä korrelaatiokertoimen laskeminen**



Kuva 3 Tuote 3:n versio 2:n, 3 vrk:n ikäisten koekappaleiden puristuslujuudet.



Kuva 4 Tuote 3:n versio 2:n, 28 vrk:n ikäisten koekappaleiden puristuslujuudet.

Taulukko 7 Tuote 3:n versio 2:n korrelaatiokertoimen laskemista varten.

<b>Tuote 3 vers.2</b>					
Koekappale	kuutiokoekappale	prismakoekappale			
	$x_i$	$y_i$	$x_i y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$
1	59,79	67,9	4059,74	3574,84	4610,41
2	60,15	69,4	4174,41	3618,02	4816,36
3	62,64	68	4259,52	3923,77	4624,00
4	74,97	82,2	6162,53	5620,50	6756,84
5	71,86	88,4	6352,42	5163,86	7814,56
6	72,56	86,9	6305,46	5264,95	7551,61
<b>Yht.</b>	401,97	462,80	31314,09	27165,95	36173,78

Korrelaatiokerroin laskettiin seuraavalla kaavalla:

$$r = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2][n(\sum y_i^2) - (\sum y_i)^2]}} \quad (5.4)$$

sijoitettiin arvot kaavaan ja korrelaatiokerroimen eli  $r$ :n arvoksi saatiin

$$r = 0,920949$$

Korrelaatiokerrointa  $r$  voidaan tulkita siten, että kun  $r$  on likimain 1, lineaarinen riippuvuus on täydellistä siten, että molemmat tutkittavat asiat kasvavat yhtä aikaa. Kyseessä on positiivinen korrelaatio. Tässä tapauksessa saatu arvo kertoo vahvasta lineaarisesta riippuvuudesta kuutio- ja prismakoe-kappaleiden puristuslujuuksien välillä. ( Katso luku 4.1)

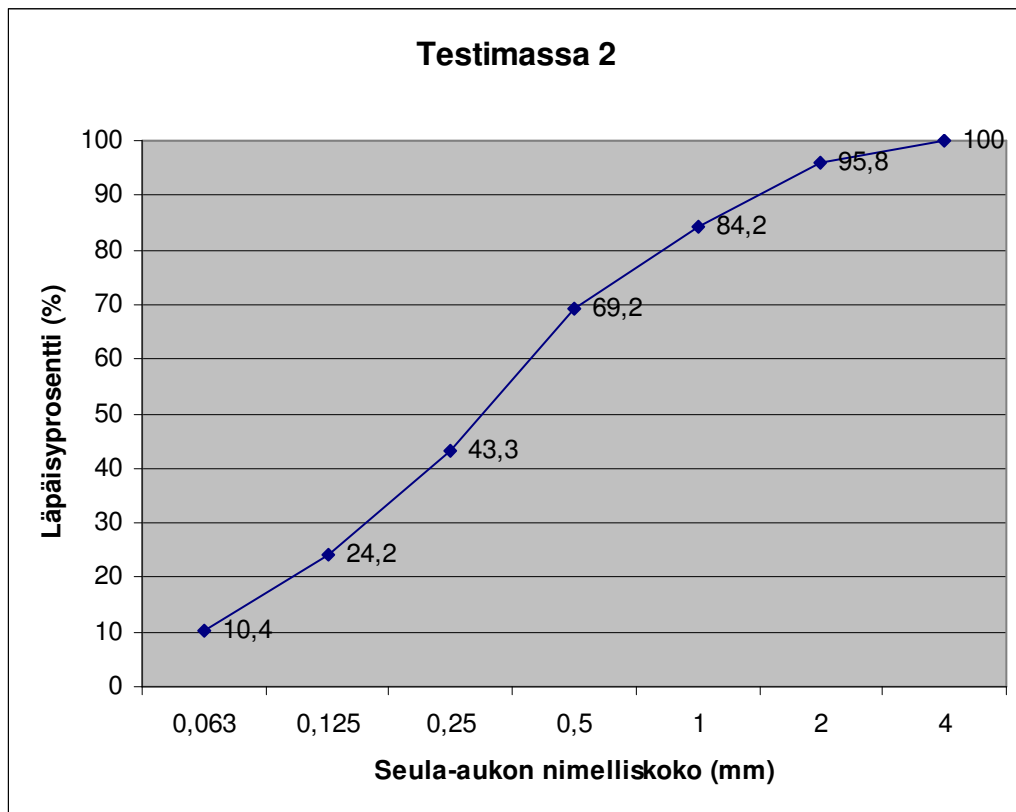
**LIITE 4**

**TESTIMASSA 2**

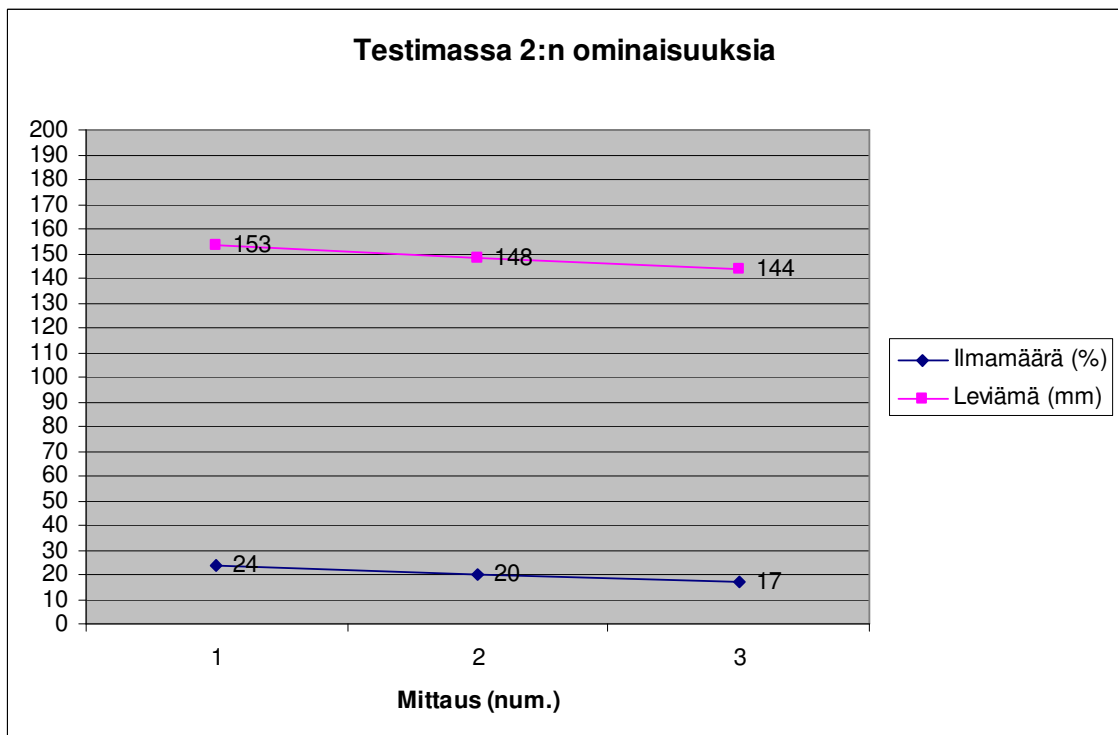
## TESTIMASSA 2

Taulukko 1 Testimassa 2:n testitulokset.

<b>Tuote:</b> Testimassa 2		
<b>Massa (g)</b> 201,3		
<b>Seula (mm)</b>	<b>Läpäisy (g)</b>	<b>Läpäisy (%)</b>
0,063	20,9	10,4
0,125	48,6	24,2
0,25	87,0	43,3
0,5	139,1	69,2
1	169,2	84,2
2	192,6	95,8
4	201,0	100
8		
16		
31,5		
63		
<b>Märkäkokeet</b>		<b>1h päästä mitattu</b>
Vesi (%) 13		Ilmamäärä (%) 20
Sekoitus aika (s) 300		Leviämä (mm) 148
		Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 1725
<b>Heti mitattu</b>		<b>2h päästä mitattu</b>
Ilmamäärä (%) 24		Ilmamäärä (%) 17
Leviämä (mm) 153		Leviämä (mm) 144
Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 1619		Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 1772



Kuva 1 Testimassa 2:n rakeisuuskäyrä.



Kuva 2 Testimassa 2:n ominaisuuksia.

**LIITE 5**

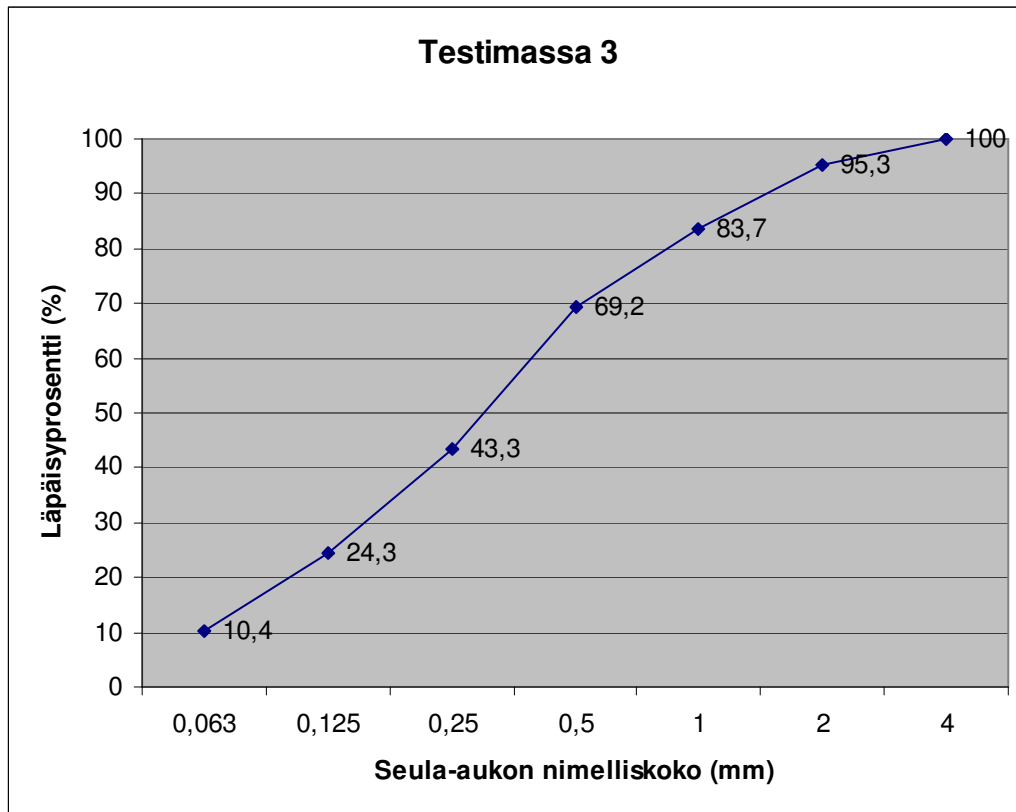
**TESTIMASSA 3**



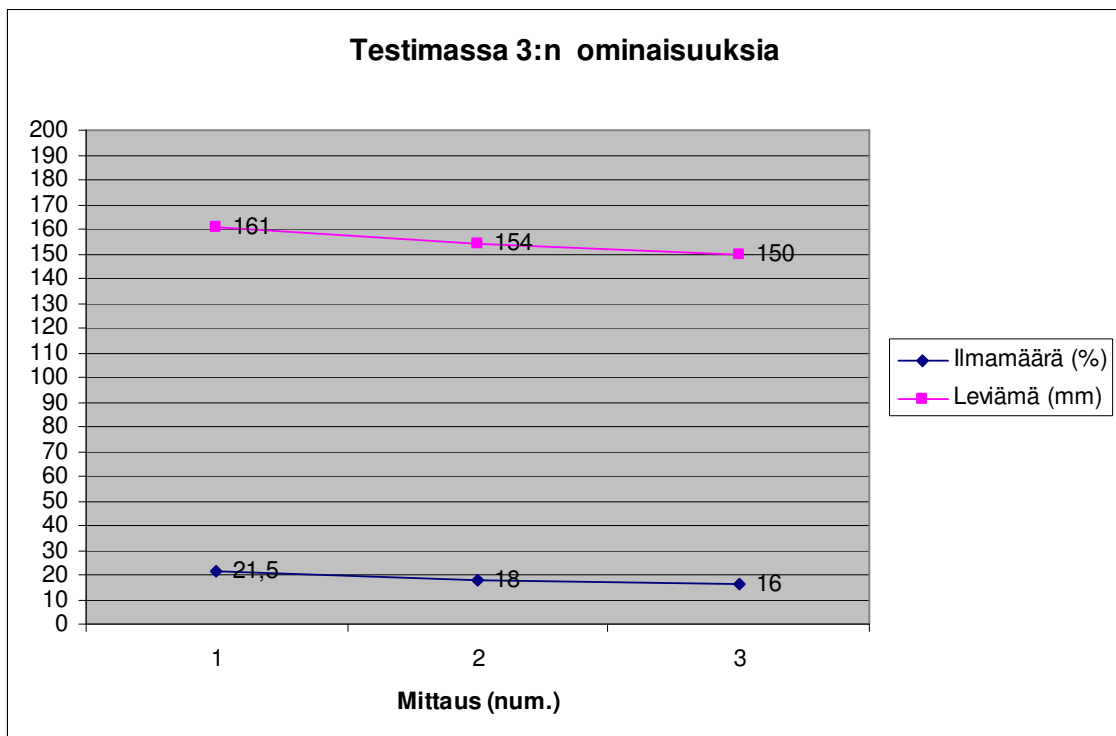
# TESTIMASSA 3

Taulukko 1 Testimassa 3:n testitulokset.

<b>Tuote:</b> Testimassa 3		
<b>Massa (g):</b> 202,5		
<b>Seula (mm)</b>	<b>Läpäisy (g)</b>	<b>Läpäisy (%)</b>
0,063	21,0	10,4
0,125	49,2	24,3
0,25	87,6	43,3
0,5	140,0	69,2
1	169,3	83,7
2	192,8	95,3
4	202,3	100
8		
16		
31,5		
63		
<b>Märkäkokeet</b>		<b>1h päästä mitattu</b>
Vesi (%) 13		Ilmamäärä (%) 18
Sekoitusaika (s) 300		Leviämä (mm) 154
		Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 1750
<b>Heti mitattu</b>		<b>2h päästä mitattu</b>
Ilmamäärä (%) 21,5		Ilmamäärä (%) 16
Leviämä (mm) 161		Leviämä (mm) 150
Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 1685		Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 1788



Kuva 1 Testimassa 3:n rakeisuuskäyrä



Kuva 2 Testimassa 3:n ominaisuuksia.

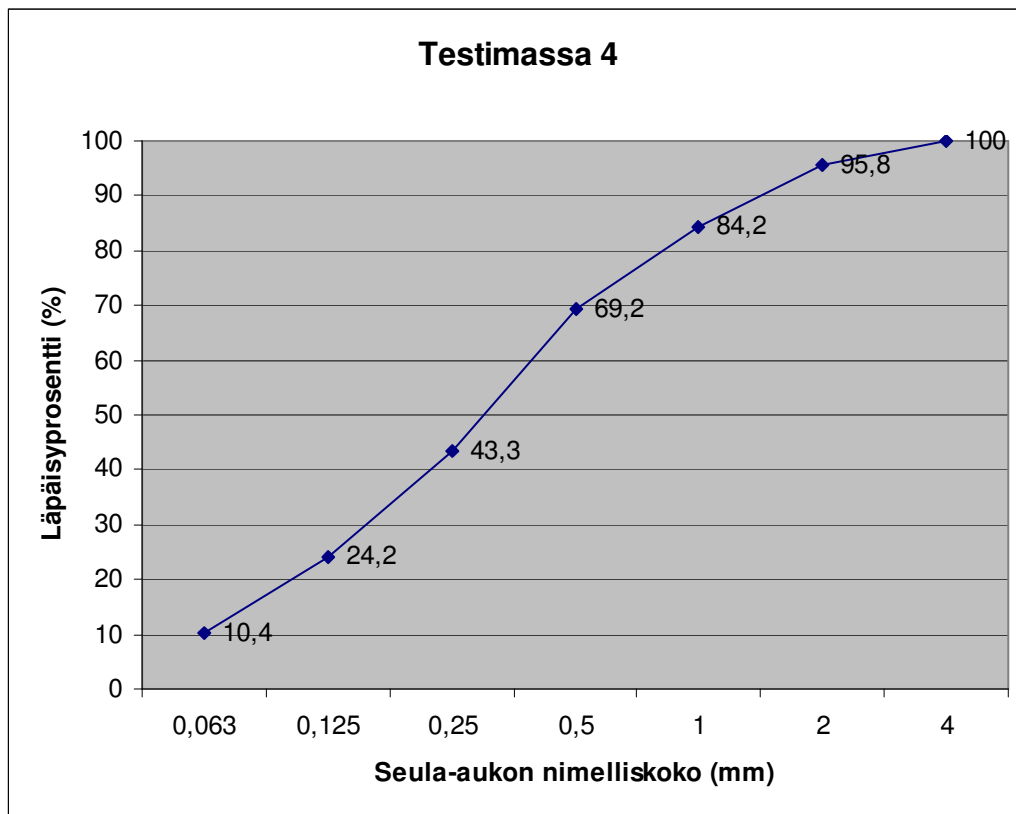
**LIITE 6**

**TESTIMASSA 4**

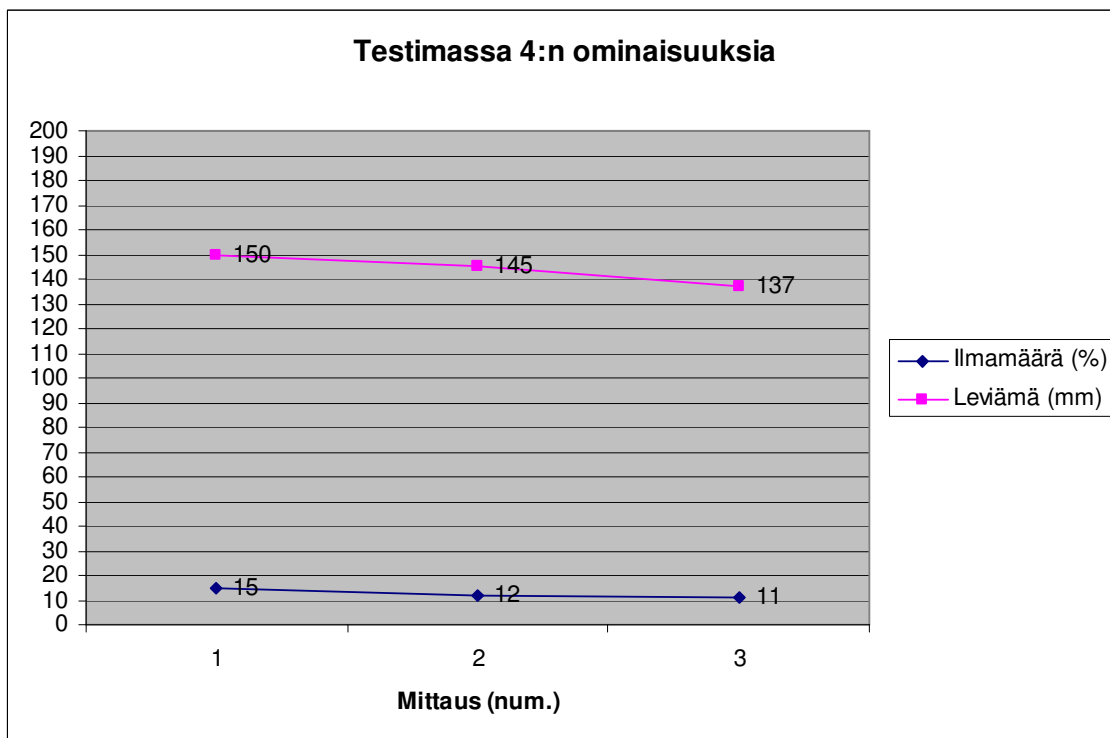
## TESTIMASSA 4

Taulukko 1 Testimassa 4:n testitulokset.

<b>Tuote:</b> Testimassa 4		
<b>Massa (g)</b> 202,8		
<b>Seula (mm)</b>	<b>Läpäisy (g)</b>	<b>Läpäisy (%)</b>
0,063	19,2	9,5
0,125	41,7	20,6
0,25	87,2	43,1
0,5	140,5	69,4
1	171,8	84,9
2	195,7	96,7
4	202,4	100
8		
16		
31,5		
63		
<b>Märkäkokeet</b>		<b>1h päästä mitattu</b>
Vesi (%) 13		Ilmamäärä (%) 12
Sekoitusaika (s) 300		Leviämä (mm) 145
		Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 1882
<b>Heti mitattu</b>		<b>2h päästä mitattu</b>
Ilmamäärä (%) 15		Ilmamäärä (%) 11
Leviämä (mm) 150		Leviämä (mm) 137
Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 1839		Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 1893



Kuva 1 Testimassa 4:n rakeisuuskäyrä.



Kuva 2 Testimassa 4:n ominaisuuksia.

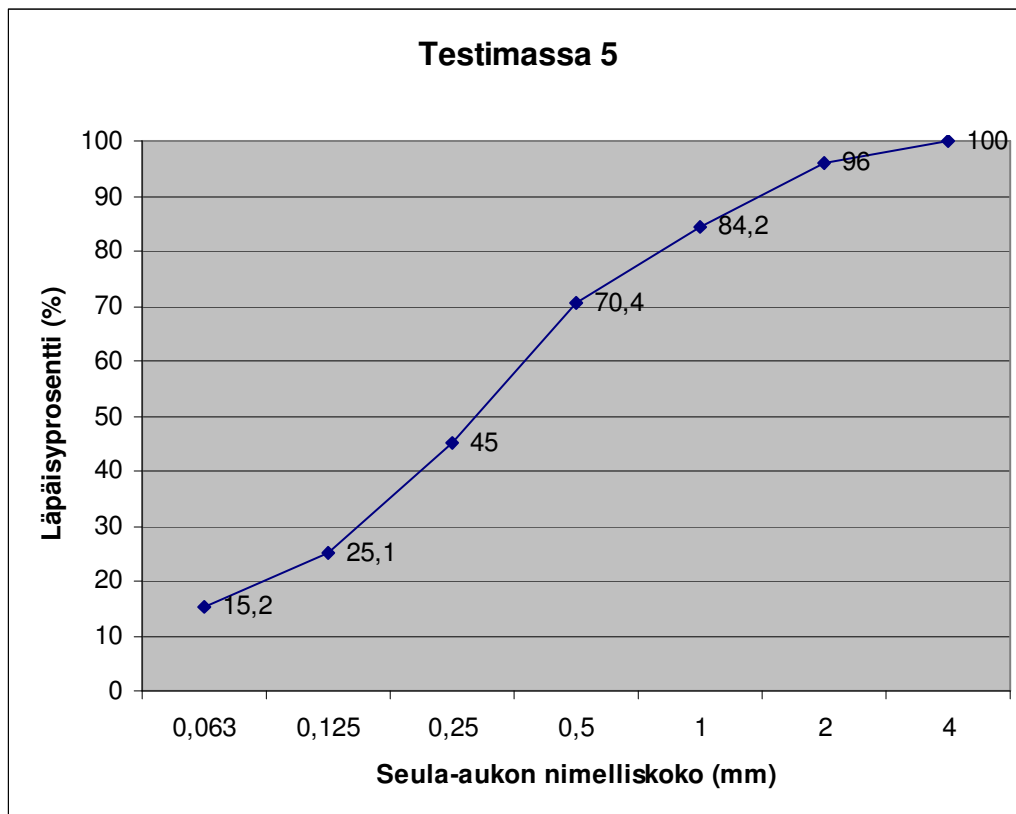
**LIITE 7**

**TESTIMASSA 5**

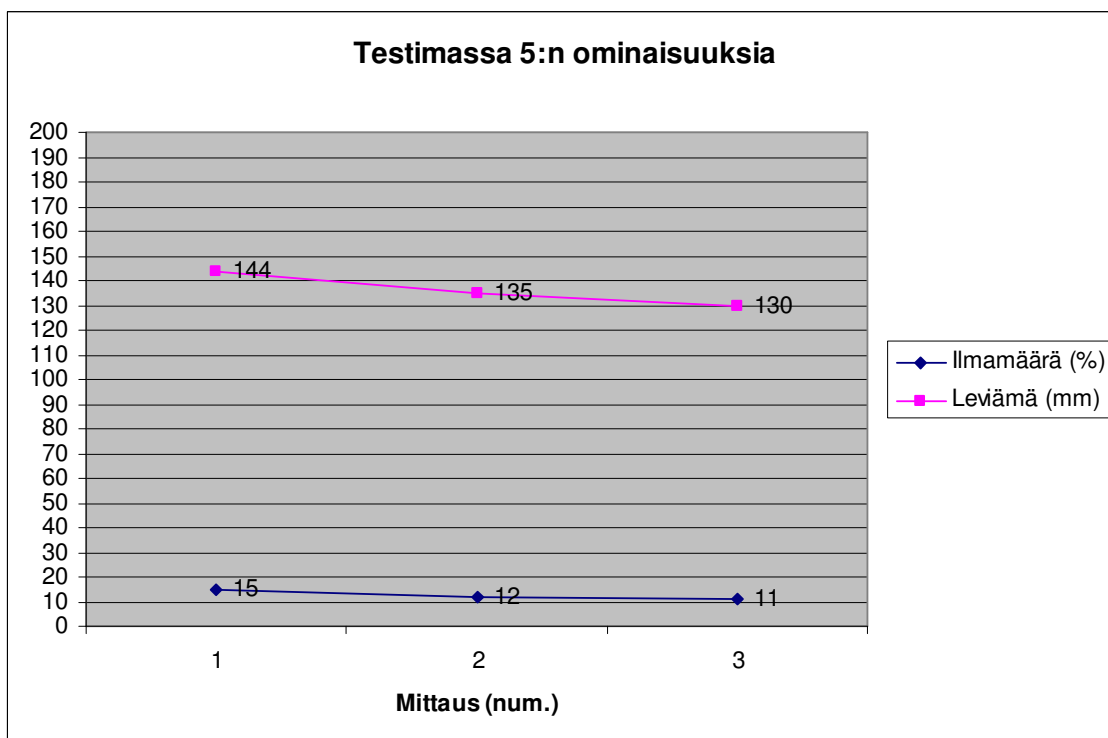
# TESTIMASSA 5

Taulukko 1 Testimassa 5:n testitulokset.

<b>Tuote:</b> Testimassa 5		
<b>Massa (g)</b> 203,4		
<b>Seula (mm)</b>	<b>Läpäisy (g)</b>	<b>Läpäisy (%)</b>
0,063	30,9	15,2
0,125	51,0	25,1
0,25	91,4	45
0,5	143,1	70,4
1	171,1	84,2
2	195,1	96
4	203,2	100
8		
16		
31,5		
63		
<b>Märkäkokeet</b>		<b>1h päästä mitattu</b>
Vesi (%) 13		Ilmamäärä (%) 12
Sekoitusaika (s) 300		Leviämä (mm) 135
		Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 1884
<b>Heti mitattu</b>		<b>2h päästä mitattu</b>
Ilmamäärä (%) 15		Ilmamäärä (%) 11
Leviämä (mm) 144		Leviämä (mm) 130
Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 1819		Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 1912



Kuva 1 Testimassa 5:n rakeisuuskäyrä.



Kuva 2 Testimassa 5:n ominaisuuksia.



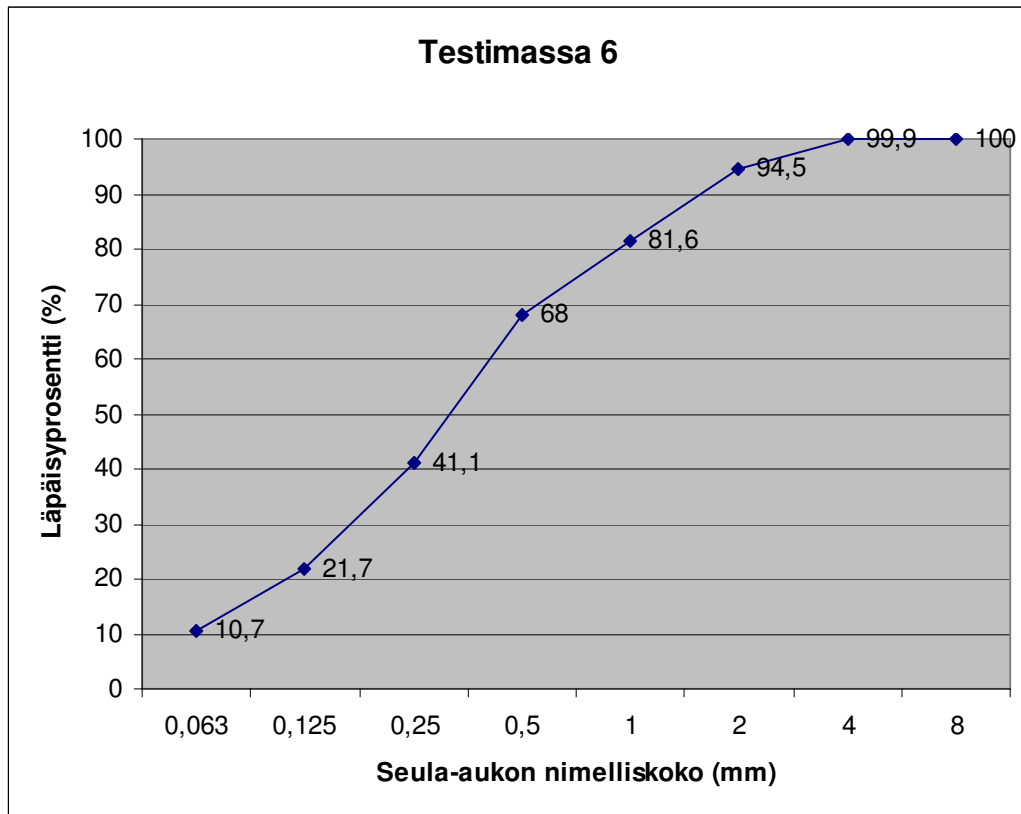
**LIITE 8**

**TESTIMASSA 6**

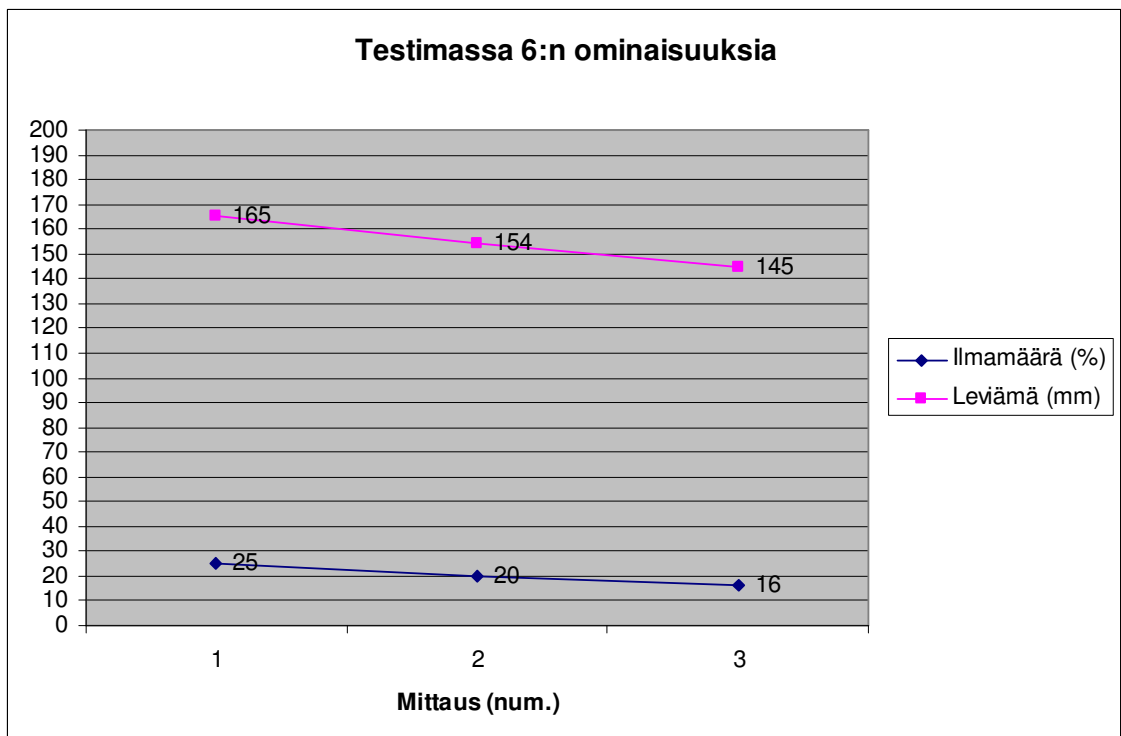
# TESTIMASSA 6

Taulukko 1 Testimassa 6:n testitulokset.

<b>Tuote:</b> Testimassa 6		
<b>Massa (g)</b> 211,5		
<b>Seula (mm)</b>	<b>Läpäisy (g)</b>	<b>Läpäisy (%)</b>
0,063	22,7	10,7
0,125	45,8	21,7
0,25	86,7	41,1
0,5	143,6	68
1	172,4	81,6
2	199,6	94,5
4	210,9	99,9
8	211,2	100
16		
31,5		
63		
<b>Märkäkokeet</b>		<b>1. Mittaus: heti mitattu</b>
Vesi (%) 14		Ilmamäärä (%) 25
Sekoitusaika (s) 300		Leviämä (mm) 165
		Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 1621
<b>2. Mittaus: 1h päästä mitattu</b>		<b>3. Mittaus: 2h päästä mitattu</b>
Ilmamäärä (%) 20		Ilmamäärä (%) 16
Leviämä (mm) 154		Leviämä (mm) 145
Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 1723		Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 1780



Kuva 1 Testimassa 6:n rakeisuuskäyrä.



Kuva 2 Testimassa 6:n ominaisuuksia.

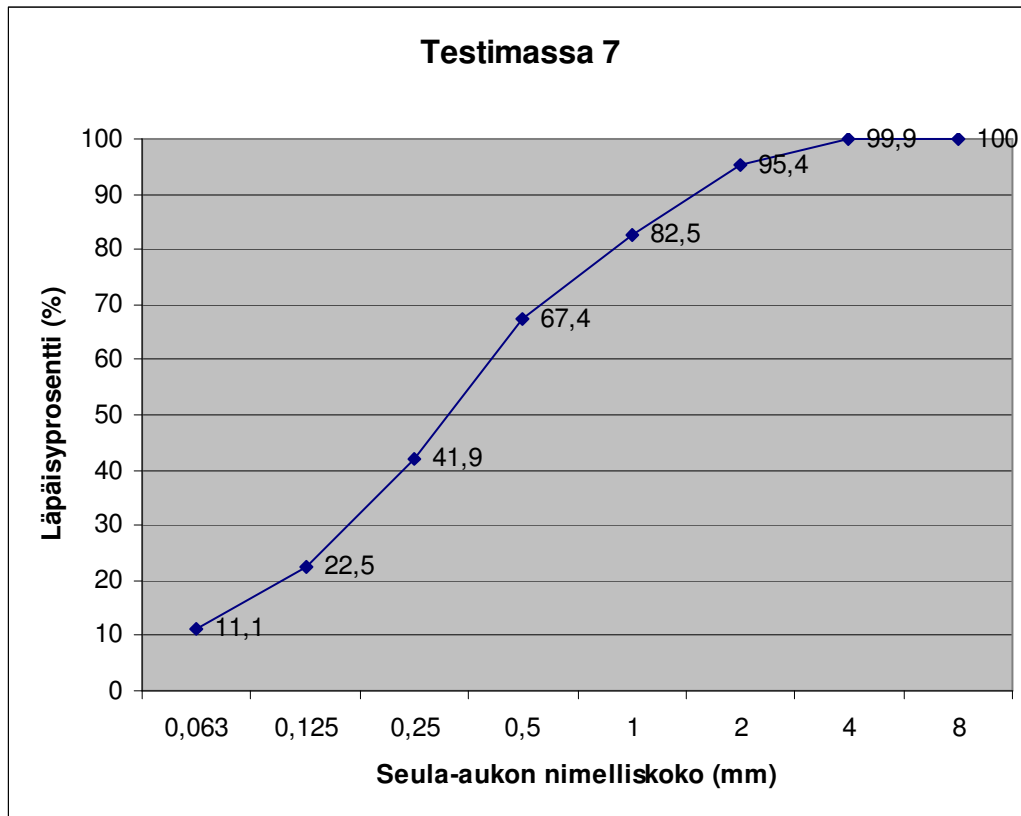
**LIITE 9**

**TESTIMASSA 7**

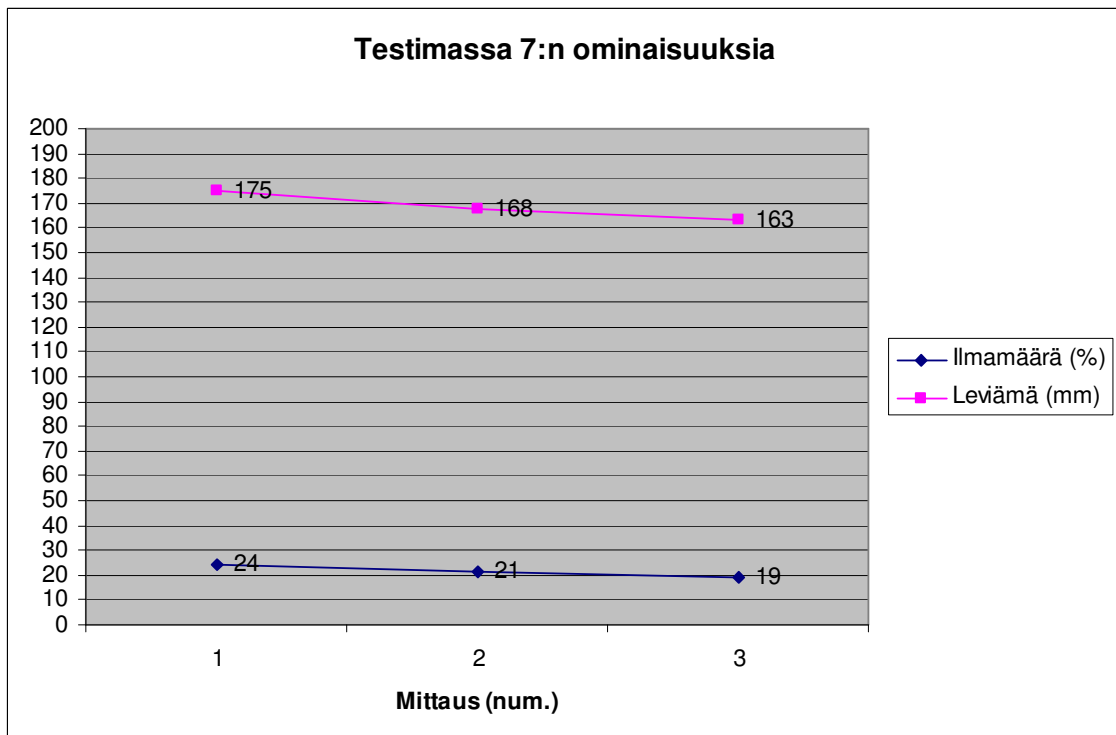
# TESTIMASSA 7

Taulukko 1 Testimassa 7:n testitulokset.

<b>Tuote:</b> Testimassa 7		
<b>Massa (g)</b> 209,1		
<b>Seula (mm)</b>	<b>Läpäisy (g)</b>	<b>Läpäisy (%)</b>
0,063	23,2	11,1
0,125	47	22,5
0,25	87,4	41,9
0,5	140,6	67,4
1	172,1	82,5
2	199,1	95,4
4	208,5	99,9
8	208,6	100
16		
31,5		
63		
<b>Märkäkokeet</b>		<b>1. Mittaus: heti mitattu</b>
Vesi (%) 14,5		Ilmamäärä (%) 24
Sekoitusaika (s) 300		Leviämä (mm) 175
		Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 1632
<b>2. Mittaus: 1h päästä mitattu</b>		<b>3. Mittaus: 2h päästä mitattu</b>
Ilmamäärä (%) 21		Ilmamäärä (%) 19
Leviämä (mm) 168		Leviämä (mm) 163
Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 1675		Tiheys (kg/m <sup>3</sup> ) 1696



Kuva 1 Testimassa 7:n rakeisuuskäyrä



Kuva 2 Testimassa 7:n ominaisuuksia.

