
NOTKISTAVIEN LISÄAINEIDEN KÄYTTÖ BETONISSA

Maiju Sihvonen

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Maiju Sihvonen	
Työn nimi Notkistavien lisäaineiden käyttö betonissa	
Päiväys 17.12.2010	Sivumäärä/Liitteet 44/12
Ohjaaja(t) Lehtori, Matti Mikkonen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kehityspäällikkö, dipl.ins. Tuomo Kovanen/Lujabetoni Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Kilpailutilanteen kiristyessä betonteollisuus pyrkii jatkuvasti kehittämään säästömenetelmiä betonin valmistuskustannuksien vähentämiseksi. Yksi keino tähän on notkistavien lisäaineiden käyttö. Notkistavia lisäaineita käytetään esim. betonin työstettävyyden parantamiseen ja vedenvähennykseen. Notkistavia lisäaineita voidaan myös käyttää sementtimäärän vähentämiseen, hyödyntämällä notkistimilla saatavaa vedenvähennystä ja näin saavuttaa kustannussäästöjä betonin valmistuksessa. Tämän insinööriyön tavoitteena oli tutkia voidaanko notkistavia lisäaineita käyttämällä saada kustannussäästöjä ja näin myös sementti- ja vesisäästöjä betonin valmistuksessa. Tavoitteena oli myös saada tarkempaa tietoa notkistavien lisäaineiden käytöstä.</p> <p>Työssä esiteltiin perustiedot notkistavista lisäaineista ja niiden käytöstä. Pääpaino kohdistui kuitenkin tehtyihin tutkimuksiin ja niistä saataviin tuloksiin. Tutkimuskohteena oli lujuusluokan K30 ja K35 normaalibetonit. Näistä betoneista tehtiin kymmenen betonireseptiä, joista kaksi oli lujuusluokan K35 ja K30 referenssibetoneita ja loput näiden pohjalta kehitettyjä täysin uusia testibetoneita. Testibetonien valmistuksessa käytettiin valmis- ja elementtibetonointiin tarkoitettuja notkistavia lisäaineita ja niiden annoskoot vaihtelivat 0,6–1,3 %:n välillä. Tutkittaville betoneille tehtiin tuore ja kovettuneen betonin testauksia notkeuden ja puristuslujuuden selvittämiseksi. Tuoremassojen työstettävyyttä mitattiin painumakokeella ja kovettuneen betonin ominaisuuksia testattiin betonimassoista tehtyjen koekappaleiden puristuslujuuskokeella. Tutkimukset suoritettiin standardien mukaan. Betonit valmistettiin ja kokeet suoritettiin Lujabetoni Oy:n Kuopion ja Siilinjärven valmisbetoniasemilla.</p> <p>Tutkimustulosten perusteella havaittiin, että notkistavien lisäaineiden käytöllä on mahdollista saada kustannussäästöjä K35 lujuusluokan betonien osalta, kun taas K30 lujuusluokan betonien osalta kustannussäästöihin ei päästy. Ne sisälsivät vähemmän sementtiä, minkä vuoksi notkistimien käyttö ei ollut kannattavaa. Lisäksi tutkimuksissa selvisi, että suurilla notkistinannostuksilla ja ELE-notkistinta käytettäessä tarvitaan lisänotkistusta, mikäli niitä käytetään valmisbetonoinnissa. Tutkimusta tullaan käyttämään jatkotutkimuksissa ja yrityksen tuotekehityksessä.</p>	
Avainsanat Notkistavat lisäaineet, betonin lisäaineet, betoni	
Julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Construction Engineering			
Author(s) Maiju Sihvonen			
Title of Thesis Plasticizers in concrete			
Date	17 December 2010	Pages/Appendices	44/12
Supervisor(s) Mr Matti Mikkonen, Lecturer			
Project/Partners Mr Tuomo Kovanen, Development Manager/Lujabetoni Oy			
<p>Abstract</p> <p>Due to the increased competition the concrete industry has to constantly develop saving methods to reduce preparation costs of concrete. One way is to use plasticizers. Plasticizers are used to improve the consistency of concrete and for the water deduction. Plasticizers can also be used to reduce the amount of cement, by using the water deduction and that way to get cost savings in preparation of concrete. The aim of this thesis was to study if it is possible to get cost savings and that way cement and water savings in preparation of concrete by using plasticizers. The aim was also to get more information about the use of plasticizers.</p> <p>In this study concrete of strength grades K30 and K35 was used. Ten concrete variations were made of these concretes, two of which were reference concretes and the rest were totally new concrete types developed from reference concretes. The plasticizers used in ready-mixed and precast concreting were used in preparation of concrete types and plasticizer batches were between 0,6-1,3 %. These concrete types were tested with fresh and hardened concrete tests to determine the consistency and compressive strength. The consistency was tested with a slump test and the compressive strength of test pieces with a compression test. Concretes and standard tests were made in the mixing plants of Lujabetoni Oy in Kuopio and Siilinjärvi.</p> <p>The results showed that it is possible to get cost savings with concretes of K35 strength grade by using plasticizers but not with concretes of K30 strength grade. That was because they did not contain enough cement, so using plasticizers was not profitable. The results also showed that extra plasticizer is needed if bigger plasticizer batches and ELE plasticizer are used in ready-mixed concrete. The results will be used in further researches and product development of the company.</p>			
Keywords Plasticizers, concrete admixtures, concrete			
Public			

ALKUSANAT

Haluaisin kiittää Lujabetonia aikaisemmista työsuhteista, jotka ovat kehittäneet minua paljon tulevalle insinööriuralle, sekä mahdollisuudesta tehdä tämä insinööriyö. Erityiskiitokset haluaisin esittää yrityksen puolelta työtäni ohjanneelle kehityspäällikkö Tuomo Kovalle, työssäni auttaneelle ja tukeneelle Lujabetoni Oy Siilinjärven laborantti Pentti Tuomaiselle ja tehdasvastaava Pekka Rytöselle, sekä Kuopion valmisbetoniyksikön tehdas- ja laatuvaastaava Jukka Leskiselle ja sen työporukalle. Haluan myös kiittää Savonia-ammattikorkeakoulun puolesta työtäni ohjannutta lehtori Matti Mikkosta.

Kuopiossa 17. joulukuuta 2010

Maiju Sihvonen

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	7
1.1 Työn tausta ja tavoitteet.....	7
1.2 Yritys	8
2. NOTKISTAVAT LISÄAINEET.....	9
2.1 Yleistä lisäaineista	9
2.2 Notkistavat lisäaineet	10
2.3 Työturvallisuus, notkistimien käyttö ja varastointi.....	12
2.3.1 Työturvallisuus.....	12
2.3.2 Notkistimien käyttö ja annostelu.....	12
2.3.3 Varastointi	13
2.3.4 Ympäristö ja jätteiden käsittely.....	13
3. NOTKISTAVIEN LISÄAINEIDEN VERTAILU VIRALLISTEN KOKEIDEN PERUSTEELLA.....	14
3.1 CE-merkki ja käyttöseloste.....	14
3.2 Käyttöselostekokeiden tulokset.....	14
3.3 Tulosten analysointi	19
4. LABORATORIOTUTKIMUKSET	20
4.1 Tutkimuksen lähtökohdat.....	20
4.1.1 Betonit ja reseptit.....	20
4.1.2 Sementti	21
4.1.3 Lisäaineet ja lisäaineannostukset	21
4.1.4 Testien suorituspaikka.....	22
4.2 Kiviainesta koskevat kokeet.....	22
4.2.1 Kiviaineskosteudet	22
4.2.2 Seulonta.....	23
4.3 Tuoreen betonin testaus	24
4.3.1 Painuma.....	25
4.3.2 Tiheys	26

4.4	Koekappaleet ja valumuotit.....	26
4.5	Betonimassojen valmistus ja valaminen	27
4.6	Koekappaleiden säilytys.....	30
4.7	Kovettuneen betonin testaus	31
4.7.1	<i>Puristuslujuus</i>	<i>31</i>
4.7.2	<i>Tiheys</i>	<i>32</i>
5.	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	34
5.1	Painuma.....	34
5.2	Puristuslujuus.....	36
5.3	Kustannusvertailu	39
6.	YHTEENVETO.....	41
7.	TUTKIMUKSEN JATKOKEHITYS AJATUKSIA	43
	LÄHTEET	44

Liite 1. Seulonta tulokset

1. JOHDANTO

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Rakentamisessa käytetään yhä enemmän sementtiä, eikä Suomen sementin tuotanto pysty tuottamaan tarpeeksi sementtiä betoniteollisuuden tarpeisiin ja sementin hinta nousee. Tämän vuoksi betoniteollisuuden täytyy kehittää uusia keinoja sementin vähentämiseksi ja kustannusten säästämiseksi betonin valmistuksessa, jotta ne voisivat tarjota kilpailukykyisiä tuotteita betonimarkkinoille. Yksi keino tähän on notkistavien lisäaineiden käyttö.

Insinööriyön tavoitteena on tutkia voidaanko notkistavia lisäaineita käyttämällä saada kustannussäästöjä ja tämän myötä sementti- ja vesisäästöjä betonin valmistuksessa. Tavoitteena on myös saada lisätietoa notkistavien lisäaineiden käytöstä.

Työn tarkoituksena on kehittää, notkistavia lisäaineita käyttämällä, Lujabetoni Oy:n K30 ja K35 lujuusluokan normaalibetoneita laboratoriotutkimusten ja tuotekehittelyn avulla. Tutkimuksessa olevat betonit jalostetaan Lujabetonin kehityslaborantti Pentti Tuomaisen johdolla käytössä olevista normaalibetonien resepteistä niin, että niiden suhteituksessa pyritään referenssibetonien lujuuteen. Tutkimuskohteena on kymmenen betonireseptiä, joista kaksi on K35 ja K30 lujuusluokan referenssibetoneita ja loput kahdeksan täysin uusia kehitysversioita. Tutkittavissa testibetoneissa osa sementin määrästä korvataan notkistavilla lisäaineilla. Testibetonit nimetään lujuusluokan, annostuksen ja notkistimen mukaan K30 0,6 % - K35 1,0 % ELE. Testibetonien valmistuksessa käytetään valmis- ja elementtibetonointiin tarkoitettuja notkistavia lisäaineita. Työ laaditaan Lujabetoni Oy:n Siilinjärven ja Kuopion valmisbetoniasemien tarpeisiin.

Referenssi- ja testibetoneille tehdään standardin mukaisia testauksia, jotta saadaan selville täyttääkö ne niille asetetut vaatimukset ja ominaisuudet. Tutkittaville massoille tehdään tuore ja kovettuneen betonin testauksia notkeuden ja puristuslujuuden selvittämiseksi. Tuoremassojen työstettävyyttä eli notkeutta mitataan painumakokeella ja kovettuneen betonin ominaisuuksia testataan betonimassoista tehtyjen koekappaleiden puristuslujuuskokeella. Tulosten perusteella selvitetään voidaanko testibetoneilla saavuttaa kustannussäästöjä referenssibetoneihin nähden. Betonit valmistetaan ja kokeet suoritetaan Lujabetoni Oy:n Kuopion ja Siilinjärven valmisbetoniasemilla.

Työssä vertaillaan myös notkistavien lisäaineiden käyttöselostekokeiden tuloksia. Käyttöselostekokeiden tulosten perusteella vertaillaan myös notkistavia lisäaineita ja niiden annostuksen vaikutusta betoniin.

1.2 Yritys

Insinööritö tehdään Lujabetoni Oy:lle. Lujabetoni Oy kuuluu Luja-yhtiöihin, joka on perheyrittäjä ja toiminut alalla jo 57 vuotta. Luja on yksi Suomen suurimmista rakennusalan konserneista ja sen liikevaihto on 357 miljoonaa euroa. Lujalla työskentelee lähes 2 000 työntekijää 24 paikkakunnalla. Luja-yhtiöihin kuuluvat myös Lujatalo Oy, Fescon Oy ja Lujapalvelut Oy. Lujabetonilla on myös tytäryhtiöt LujaBetong Ab Ruotsissa ja OOO Lujabeton Venäjällä. /1./

Lujabetoni Oy on Suomen johtava betoniteollisuusyritys. Se tekee toimitila-, asuinrakentamis- ja maatalouselementtejä, valmisbetonia, ratapölkkyjä, paaluja, infratuotteita, harkkoja, ympäristötuotteita ja Luja-kivitaloja. Tehtaita Lujabetonilla on kaikkiaan 25, joissa työskentelee yli 538 työntekijää 23 paikkakunnalla Suomessa, Ruotsissa ja Venäjällä. /1./

Lujabetonilla on oma tuotekehitys ja vuosien kokemus betonista. Betoniteknologia on yksi tuotekehitysalueista. Kehitystyön tuloksena yritys tuottaa rakentamiseen parempia tuotteita ja palveluita asiakkaiden tarpeisiin. /1./

2. NOTKISTAVAT LISÄAINEET

2.1 Yleistä lisäaineista

Betonin pääraaka-aineet ovat sementti, vesi ja kiviainekset. Näiden lisäksi betonissa käytetään usein myös lisä- ja seosaineita. Betonin osa-aineiden valinnalla ja niiden seossuhteiden määrittämisellä eli suhteituksella voidaan säädellä betonin ominaisuuksia. Myös lisäaineet mahdollistavat betonin ominaisuuksien säätämisen eri käyttötarkoituksiin soveltuvaksi sekä helpottavat betonin valmistajaa hallitsemaan ja muuttamaan betonin ominaisuuksia betonin tilaajan odotuksien ja vaatimusten mukaiseksi. Lisäaineilla voidaan esim. parantaa betonin työstettävyyttä, tiiviyyttä, lujuutta, säänkestävyyttä ja koossapysyvyyttä, sekä säätää sen sitoutumisajankohtaa ja tiheyttä. Lisäaineiden vaikutustapa on joko kemiallinen tai fysikaalinen ja niiden määrät betonissa ovat hyvin pieniä verrattuna muihin betonin osa-aineisiin. /2; 3./

Lisäaineita käyttämällä pyritään parantamaan betonin teknisiä ominaisuuksia ja betonin taloudellista kilpailukykyä. Esimerkiksi korkealujuuksisen ja pakkasenkestävän betonin valmistus ilman lisäaineita on erittäin vaikeaa. Lisäaineiden käyttö vaatii kuitenkin aina esikokeita ja huolellisuutta, sillä lisäaineella on usein päävaikutuksensa lisäksi sivuvaikutuksia. Esimerkiksi monien notkistimien ja huokostimien yhteistoiminta on epävarmaa. /2./

Käytettäessä lisäaineita niiden kokonaismäärä ei saa ylittää lisäaineen valmistajan suosittelemaa suurinta annostusta eikä ylittää määrää 50 g lisäainetta (toimitustilassa)/kg sementtiä, ellei sitten tunneta niiden suuremman määrän vaikutusta betoniin. Lisäaineen määrän ollessa pienempi kuin 2g/kg sementtiä, on se laimennettava pieneen määrään betonin valmistukseen käytettävää vettä. Kun nestemäisen lisäaineen määrä on suurempi kuin 3l/m³ betonia, sen vesimäärä otetaan huomioon vesi-sementtisuhdetta laskettaessa. /2./

Käytetyimpiä betonin lisäaineita ovat notkistimet, huokostimet ja hidastimet. Näiden lisäksi on myös kiihdyttimiä ja erilaisia tivistys-, injektointi ja tartunta-aineita, mutta niiden käyttö on melko vähäistä. /2./

2.2 Notkistavat lisäaineet

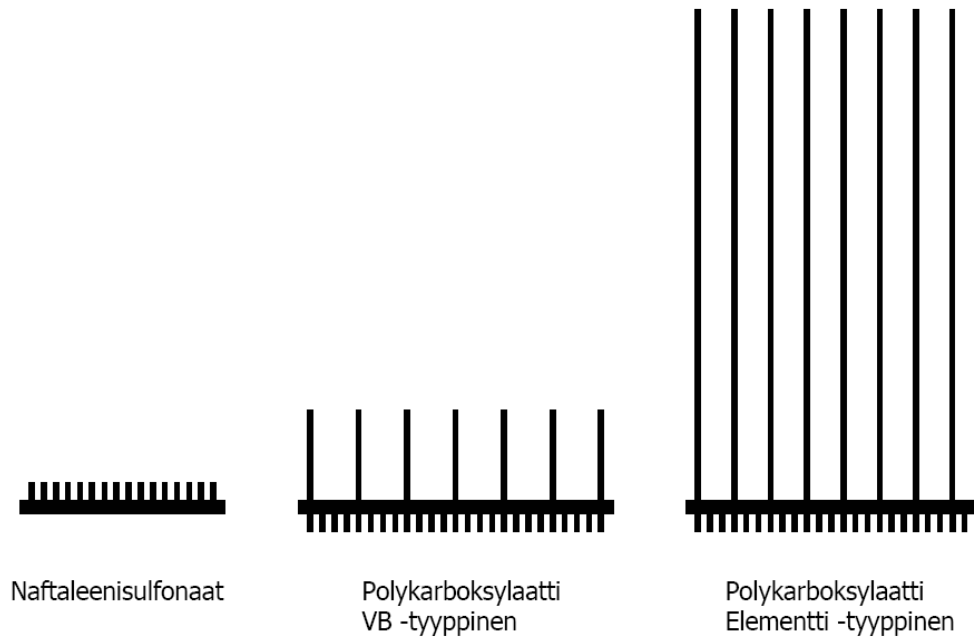
Notkistavat lisäaineet ovat pinta-aktiivisia aineita. Ne toimivat sementin ja veden rajapinnoilla ja muodostavat sementtihiukkasten ympärille ohuen kalvon, joka pitää sementtihiukkaset erillään toisistaan. Näin vesi pääsee paremmin tunkeutumaan sementtihiukkasten väliin, parantaen betonin työstettävyyttä, kun sementin ja veden kontaktipinta suurenee. /4./

Notkistavilla lisäaineilla pyritään parantamaan betonin teknisiä ja taloudellisia ominaisuuksia. Notkistavien lisäaineiden käyttö mahdollistaa betonin työstettävyyden esim. pumppattavuuden ja koossapysyvyyden parantamisen lisäksi korkealujuuksisten betonien valmistuksen pienentämällä vesimäärää tai pienemmän sementtimäärän käytön hyödyntämällä vedenvähennyksen tuomaa lujuuden kasvua. /2./

Notkistavat lisäaineet jaetaan notkistimiin, tehonotkistimiin ja nesteyttimiin niiden tehokkuuden perusteella. Notkistimilla saadaan aikaan noin 5...15 %:n ja tehonotkistimilla noin 12...30 %:n vedenvähennys betonin työstettävyyden säilyessä ennallaan. Nesteyttimillä parannetaan ainoastaan työstettävyyttä. Sama lisäaine voi siis toimia notkistimena, tehonotkistimena tai nesteyttimenä sen mukaan miten suuri osa lisäaineen tehosta käytetään muokkautuvuuden parantamiseen ja miten suuri osa vedenvähennykseen. Notkistavien lisäaineiden toiminta betonissa riippuu notkistinlaadun ja -määrän lisäksi mm. sementtilaadusta ja -määrästä, seosaineista, hienoainemäärästä, muista lisäaineista, runkoaineen rakeisuudesta, annostusjärjestyksestä sekä lämpötilasta ja betonisekoittimen tehosta. /2./

Notkistavista lisäaineista löytyy tuotteita moniin eri käyttökohteisiin. Jotkut notkistimista on kehitetty valmisbetoniin, toiset taas sopivat hyvin esimerkiksi betonielementteihin ja lattiabetoniin. Parhaaseen lopputulokseen päästäänkin valitsemalla oikea aine oikeaan kohteeseen. /4./

Notkistavia lisäaineita on naftaleeni-, melamiini tai lignosulfonaattipohjaisia. Notkistimien uusien kehitystasojen polykarboksylaattipohjaiset eli polymeeri tehonotkistimet, joiden tehokkuus on selvästi perinteisiä notkistimia parempi, kuten kuvasta 1 nähdään /2/. Tällä hetkellä tehonotkistimet kuuluvat eniten käytettyjen lisäaineiden joukkoon ja niiden käyttö kasvaa edelleen sitä mukaa kun betonille asetettavat vaatimukset nousevat /3/.



Kuva 1. Notkistimien erot johtuvat niiden ketjuista ja raaka-ainemonomereista, mistä ketjut on koottu /4/.

Joillakin notkistavilla lisäaineilla voi olla lievä hidastusvaikutus sementin sitomisreaktioihin ja näin ollen myös betonin lujudenkehitykseen ja sitoutumiseen. Tämän vuoksi ne eivät sovellu kohteisiin, joissa vaaditaan nopeaa muottikiertoa tai viileisiin olosuhteisiin, joissa reaktiot käynnistyvät muutenkin hitaasti. Tällaisia ovat erityisesti lignosulfonaattipohjaiset lisäaineet. Joidenkin notkistimien lisäksi hidastumiseen vaikuttaa annostus ja betonin lämpötila. Suuria annostuksia tulisikin välttää viileissä olosuhteissa. Lisäksi pitkävaikutteiset notkistimet ja nesteyttimet voivat lisätä erottumisriskiä ja halkeiluriskiä. Näitäkin riskejä voidaan pienentää kiviainesuhteituksella ja pienemmällä notkistusannostuksella. /4; 2./

2.3 Työturvallisuus, notkistimien käyttö ja varastointi

2.3.1 Työturvallisuus

Betonin lisäaineet saattavat aiheuttaa ihoärsytystä tai niiden säilyttämiseen tai hävittämiseen voi liittyä erikoisvaatimuksia. Käyttöselosteessakin annetaan ohjeita aineiden käsittelystä ja varastoinnista, mutta lisäksi lisäaineille on myyjän laadittava työsuojeluhallituksen ohjeita ja määräyksiä noudattava käyttöturvallisuustiedote. Kunkin tuotteen käyttöturvallisuustiedotteesta selviää tarkemmat ohjeet tuotteiden käsittelyyn ja siihen on hyvä tutustua ennen tuotteen käyttöönottoa. Työturvallisuusviranomaisten on valvottava, että kaikilla tuotteita käyttävillä tehtailla on voimassaolevat käyttöturvallisuustiedotteet. /4; 2./

Notkistavia lisäaineita ei ole luokiteltu terveydelle haitallisiksi kemikaaleiksi, mutta kuten kemikaalit yleensäkin ne voivat aiheuttaa ärsytystä pitkäaikaisessa altistuksessa silmissä tai iholla. Siksi näitä aineita käsiteltäessä suositellaan käytettäväksi suojalaseja, -käsineitä ja -vaatetusta. /4./

2.3.2 Notkistimien käyttö ja annostelu

Suosittelun notkistavien lisäaineiden annostus on noin 0,5–1,6 % sideaineen painosta, mutta suurempienkin annostusten käyttö on mahdollista notkistimesta ja tavoitteesta riippuen. Notkistavien lisäaineiden vaikutusaika voi vaihdella 15 minuutista useisiin tunteihin, joten lisäainetyyppi on valittava tarkoituksen ja esim. kuljetusmatkat ja muottikierto huomioon. Annostuksen tulee aina perustua ennakkokokeiden tuloksiin. /2; 5./

Notkistavat lisäaineet ovat yleensä käyttövalmiita laimennoksia. Laimennuksella parannetaan annostelutarkkuutta ja varmistetaan lisäaineen tasainen sekoittuminen betoniin, sekä lisäaineiden tehon saavuttaminen sekoitusajan puitteissa. Notkistavat lisäaineet voidaan lisätä betonisekoittimeen joko betoniveden mukana tai valmiiseen betonimassaan. Tehokkaimmin aine toimii, kun se lisätään betoniin, valmistajasta riippuen, noin 30–60 sekuntia veden annostelun jälkeen tai kun annosvedestä on annosteltu 50–80 %. On kuitenkin vältettävä annostelemasta lisäainetta kuivaan runko- tai sideaineeseen. Lisäyksen jälkeen vaadittavaan sekoitusaikaan vaikuttaa sekoittimen teho. /4; 2./

Suurin osa notkistavista lisäaineista sopii käytettäväksi yhdessä muiden valmistajan lisäaineiden kanssa erikseen annosteltuina. Ennakkokokeet ovat kuitenkin suositeltavia yhteensopivuuden varmistamiseksi ja jos käytetään eri valmistajien tuotteita keskenään. /6./

2.3.3 Varastointi

Notkistavat lisäaineet tulee varastoida +5 °C ... +25 °C:n lämpötilassa. Notkistavat lisäaineet on säilytettävä tiiviisti suljetussa alkuperäispakkauksessa tai muussa suljetussa lasi-, muovi-, tai ruostumattomassa teräsastiassa viileässä paikassa, jossa on hyvä ilmanvaihto. Ne on suojattava kuumuudelta, suoralta auringonsäteilyltä, ilmankosteudelta, vedeltä ja jäätymiseltä. Tuotetta tulisi sekoittaa ennen käyttöä tai säännöllisesti. Jäätymään päässyttä betonin lisäainetta ei suositella käytettäväksi. /5; 6./

2.3.4 Ympäristö ja jätteiden käsittely

Notkistavia lisäaineita ei ole arvioitu ympäristölle vaarallisiksi, mutta niitä ei saa kuitenkaan päästää viemäriin, vesistöön tai maaperään. Pilaantunut tai vanhentunut lisäaine ei ole ongelmajäte ja se hävitetään paikallisten jätemääräysten mukaisesti. Täysin tyhjätkin pakkaukset voidaan laittaa kierrätykseen. /5; 4./

3. NOTKISTAVIEN LISÄAINEIDEN VERTAILU VIRALLISTEN KOKEIDEN PERUSTEELLA

3.1 CE-merkki ja käyttöseloste

Lisäaineiden tulee olla CE-merkittyjä tai niillä on ennen käyttöönottoa oltava hyväksytyssä koestuslaitoksessa tehtyihin kokeisiin perustuva ja Suomen Betoniyhdistys ry:n varmentama selvitys eli käyttöseloste lisäaineen yleisistä ominaisuuksista, vaikutuksesta sekä käyttökelpoisuudesta betonissa /2/.

Käyttöseloste sisältää valmistajan tai myyjän antamina tietoina lisäainetta koskevat kaupalliset ja tekniset tiedot, käyttöä ja annostusta koskevat yleisluonteiset tiedot sekä viittaukset aineilla tehtyihin hyväksymiskokeisiin. Käyttöselosteen tulee sijaita tuotteen käyttöpaikalla. /2./

Lisäaineiden käyttöselostekokeet tehdään käyttäen Suomessa käytettyjä sementtejä ja myös valmistajan tekemät käyttöohjeet tarkistetaan. Käyttöselostemenettelyn tarkoitus on varmistaa, että lisäaineella voidaan saavuttaa ne betonin ominaisuudet, jotka siltä ryhmittelyn mukaisen päävaikutustapansa perusteella vaaditaan, ja selvittää sivuvaikutukset. Lisäksi pyritään varmistamaan, että lisäaine ei vaikuta haitallisesti betoniin. /2./

3.2 Käyttöselostekokeiden tulokset

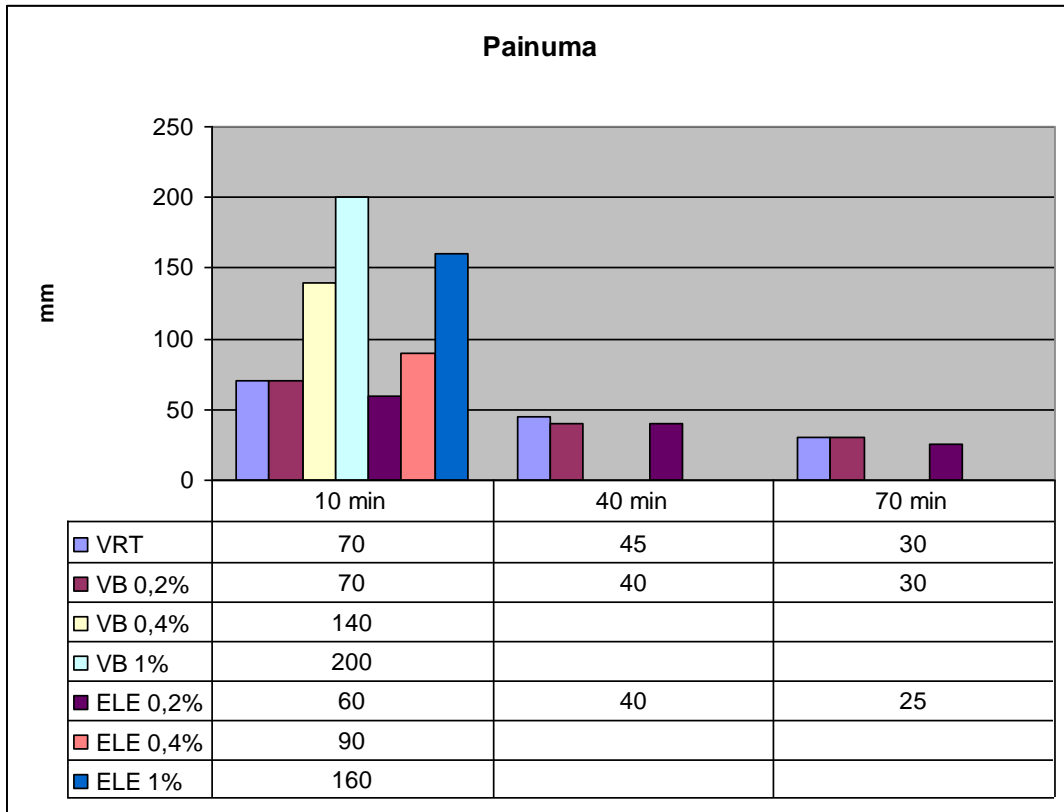
Työtä varten lisäainevalmistajalta saatiin polymeeri notkistimien VB:n ja ELE:n käyttöselostekokeiden testiraportit (tutkimusselostukset, Contesta Oy 24.2.2009), joiden koetuloksia on tässä osiossa vertailtu keskenään. Lisäaineen hyväksymiskokeessa käytettiin 16 mm:n maksimiraekoolla olevaa betonia, Finnsementin sementtejä ja 0,2-1 %:n notkistinannostuksia. Käyttöselostekokeessa on eri notkistusannostuksilla ja notkistimilla tehtyjä betoneja vertailtu referenssibetoniin. Taulukosta 1 nähdään notkistavien lisäaineiden käyttöselostekokeiden tulokset.

Taulukko 1. Notkistavien lisäaineiden käyttöselostekokeiden tulokset

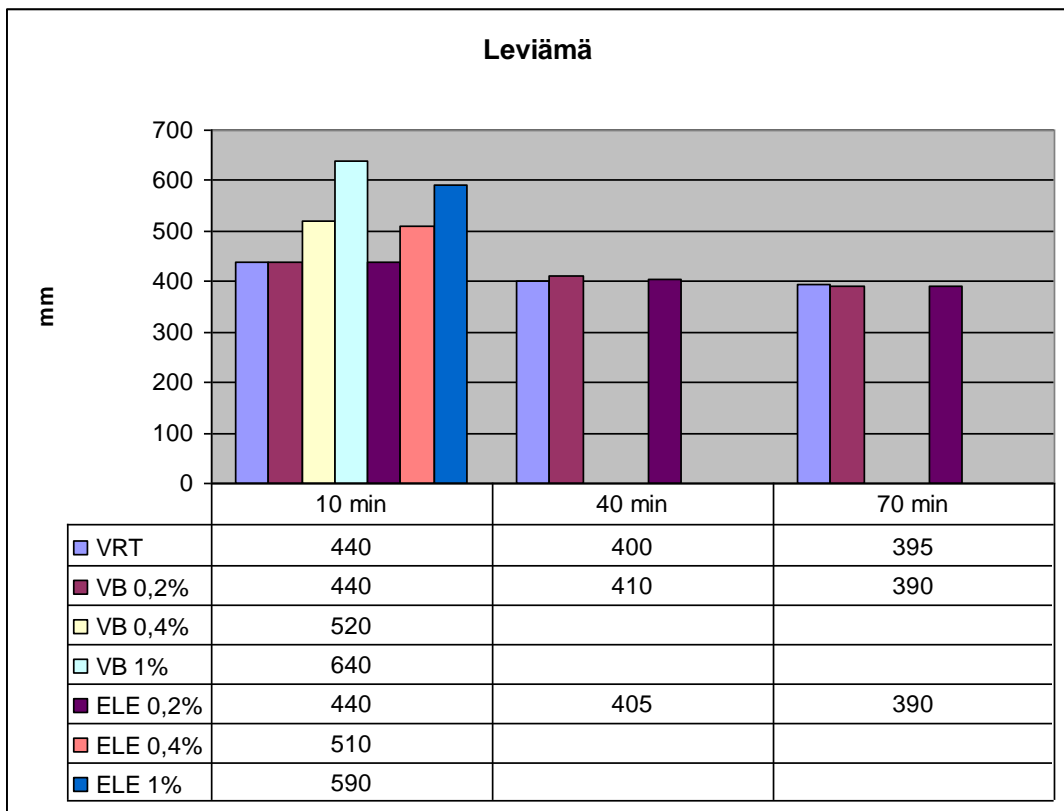
Lisäaineet	REF.	VB			ELE		
Lisäaine annostus %	-	0,2	0,4	1	0,2	0,4	1
Lisäaine kg/m ³	-	0,594	1,204	3,02	0,594	1,2	3,02
Sementti kg/m ³	294	297	301	302	297	300	302
Vesi (teh.) kg/m ³	170	163	156	166	163	156	166
v/s	0,578	0,549	0,518	0,550	0,549	0,520	0,550
s/v	1,729	1,822	1,929	1,819	1,822	1,923	1,819
10min kuluttua							
Painuma mm	70	70	140	200	60	90	160
Leviämä mm	440	440	520	640	440	510	590
40min kuluttua							
Painuma mm	45	40	-	-	40	-	-
Leviämä mm	400	410	-	-	405	-	-
70min kuluttua							
Painuma mm	30	30	-	-	25	-	-
Leviämä mm	395	390	-	-	390	-	-
Puristuslujuus MN/m²							
2 d	23,5	28,5	33,5	-	27,5	34	-
7 d	35,5	41	45,5	-	41	46	-
28 d	40,5	47,5	51,5	51	46,5	53	44
Tärytysraja h:min							
Paraisten CEM II/A-LL 42,5 R	5:00	5:50	6:10	11:50	5:10	5:10	5:00
Paraisten CEM II/A-M (S-LL) 42,5 N	5:50	7:10	8:00	-	7:10	6:30	-

Betonien käyttöselostekokeiden koetuloksista on tehty kuvaajat, joista selviävät betonien painuma, leviämä, puristuslujuus ja tärytysrajaerot (kuva 2-5). Tärytysraja kertoo aikarajan, jonka jälkeen kyseistä betonia ei enää tulisi työstää tai täryttää, kun käytetään taulukossa 1 esitettyjä sementtejä.

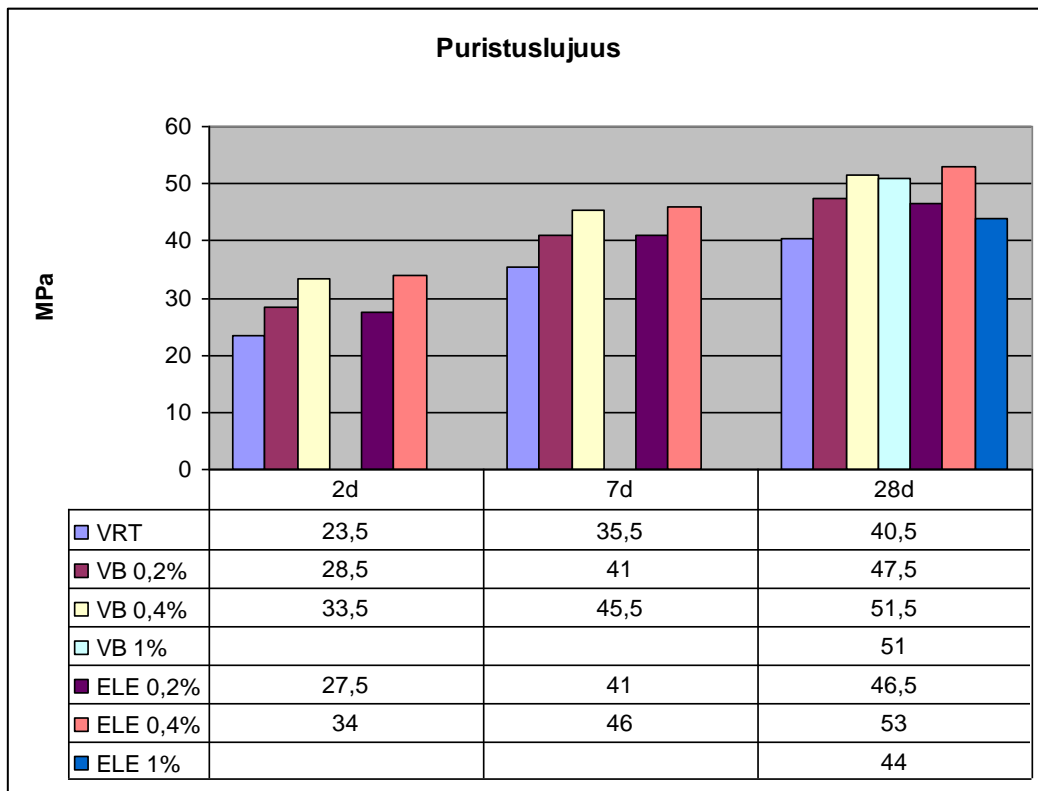
Käyttöselostekokeiden tulosten perusteella selvitettiin myös eri notkistavilla lisäaineilla ja annostuksilla saatavat sementin ja veden vähennykset referenssimassaan nähden (kuva 6).



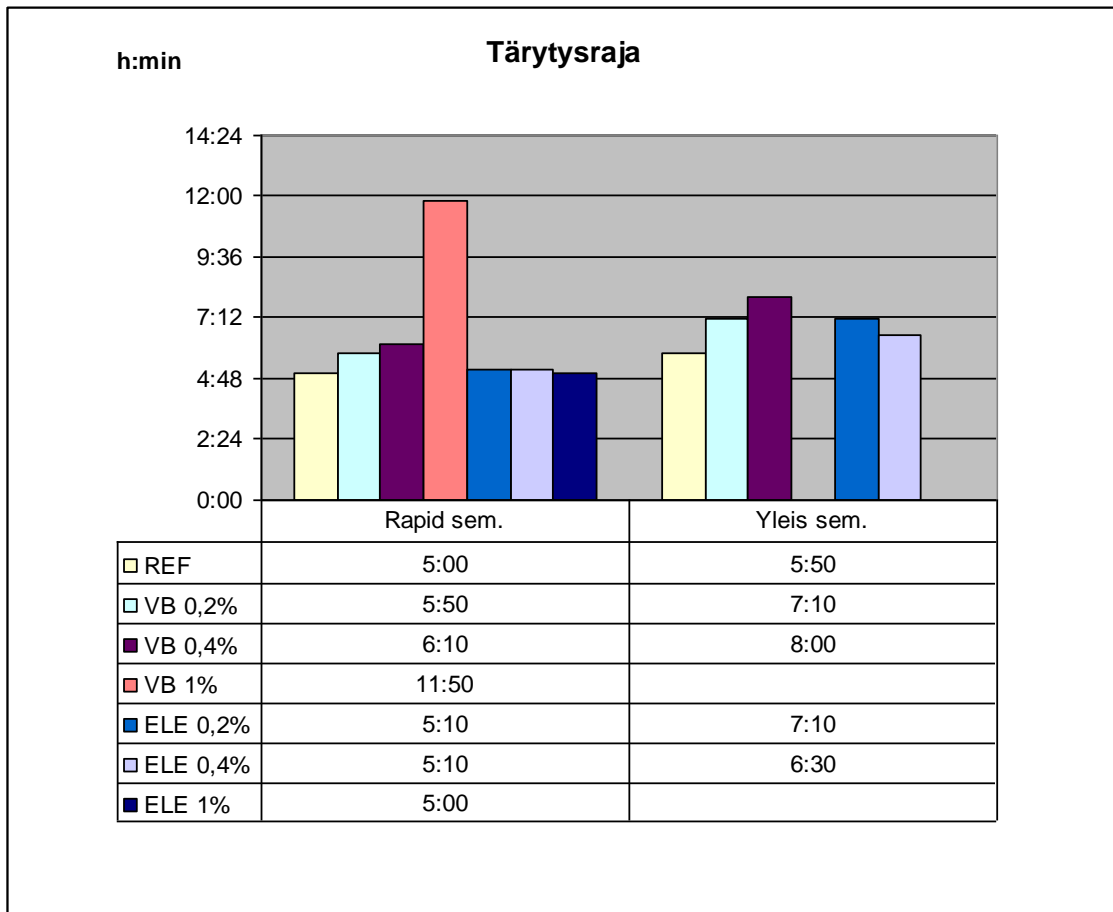
Kuva 2. Käyttöselostuskokeiden painumatulokset



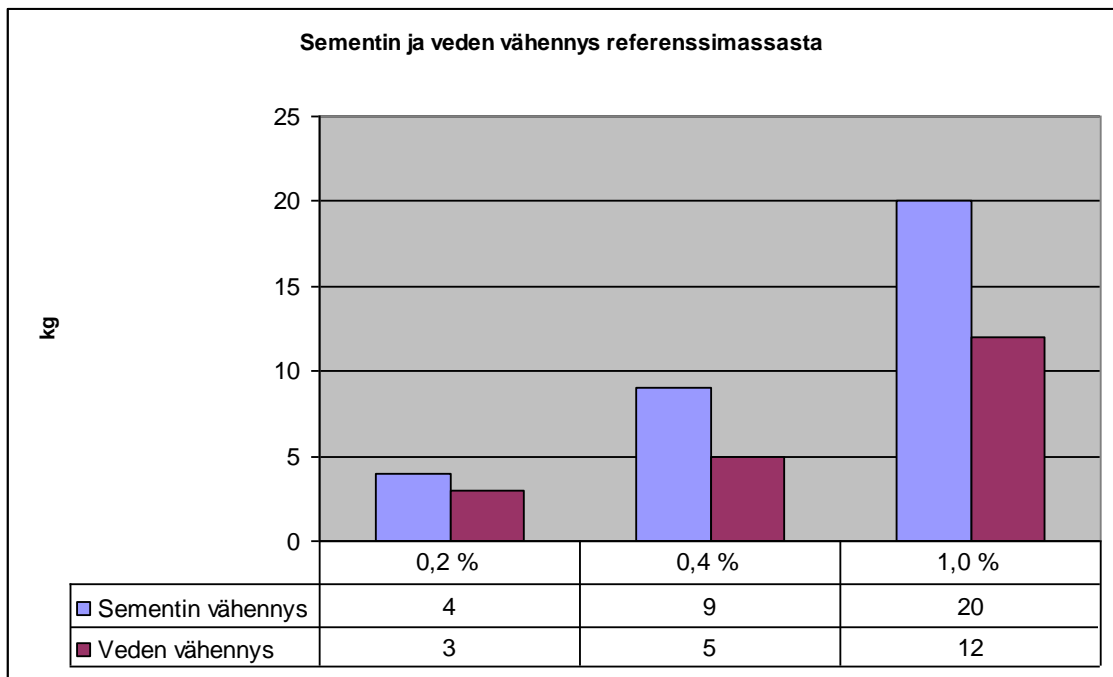
Kuva 3. Käyttöselostuskokeiden leviämätulokset



Kuva 4. Käyttöselostuskokeiden puristuslujuustulokset



Kuva 5. Käyttöselostuskokeiden tärytysrajoitukset



Kuva 6. Käyttöselostuskokeiden notkistimilla saatavat sementin ja veden vähennykset (kg/m^3) referenssimassasta

3.3 Tulosten analysointi

Käyttöselostekokeiden tuloksista voidaan nähdä, että pienellä notkistimen annoskoolla ei juuri ole vaikutusta betonin ominaisuuksiin, vaan arvot muistuttavat referenssibetonin arvoja. Suurempi notkistinannos vaikuttaa jo betonin painumaan ja leviämään näitä arvoja nostamalla. Tämä kertoo löysemmästä massasta ja työstettävyyden parantumisesta. VB- ja ELE-notkistimien välillä huomataan se, että ELE-notkistimella painumat ja leviämät ovat pienempiä, mikä johtuu ELE-notkistimen lyhyemmästä vaikutusajasta ja nopeasta alkulujuuden kehityksestä.

Puristuslujuus tulosten perusteella nähdään, että notkistimilla on mahdollista saada lujempaa betonia, mikä johtuu osittain tiiviyn parantumisesta ja vesisementtisuhteen laskusta. Jos vesisementtisuhte pysyisi samana referenssibetonin kanssa, lujuuden kasvua ei juuri näkyisi. Notkistimella ja sen annoskoolla voidaan vaikuttaa myös tärytysrajaan. Notkistimen annoskoon kasvaessa myös tärytysraja kasvaa, mikä kertoo betonimassan työstöajan pitenemisestä. ELE-notkistimen toiminta poikkeaa tästä, sillä sen annoskoon kasvaessa työstöaika lyhenee.

Käyttöselostekokeiden tuloksista huomataan myös, että notkistetuilla betoneilla on mahdollista saada sementin ja veden vähennystä referenssimassaan nähden. Tämä vähennys kasvaa notkistinannostuksen kasvaessa. Kuvasta 6 nähtävät vähennykset selvitettiin Luja-betonin suhteutus ohjelman avulla.

Tätä käyttöselostekokeiden tulosten vertailua, voitiin pitää hyvänä lähtökohtana tutkimuksessa tehtäville testeille ja saada jo ennakkokuvaa käytettävistä lisäaineannostuksista ja mahdollisista työn tuloksista tai niiden suunnasta.

4. LABORATORIOTUTKIMUKSET

4.1 Tutkimuksen lähtökohdat

Tutkimuksen tarkoituksena oli kehittää K30 ja K35 lujuusluokan normaalibetoneita ja löytää niille halvempi vastaava betoniresepti lisäaineita käyttämällä, sekä sementtiä ja vettä vähentämällä. Tutkimuksessa olevat betonit jalostettiin Lujabetonin kehityslaborantti Pentti Tuomaisen johdolla käytössä olevista normaalibetonien resepteistä. Tutkimuskohteina oli kymmenen betonireseptiä, joista kaksi oli K35 ja K30 lujuusluokan referenssibetoneita. Loput kahdeksan oli täysin uusia kehitysversioita, jotka nimettiin lujuusluokan, annostuksen ja notkistimen mukaan K30 0,6 % - K35 1,0 % ELE. Testaukset tehtiin standardien mukaisesti. Betonit valmistettiin ja kokeet suoritettiin Lujabetoni Oy:n Kuopion ja Siilinjärven valmisbetoniasemilla.

4.1.1 *Betonit ja reseptit*

Testaukseen valittiin lujuusluokaltaan K30 ja K35 normaalibetonit, koska ne ovat betonirakentamisessa tavallisimmin käytettyjä betoniluokkia. Näiden kummankin referenssibetonin pohjalta kehiteltiin neljä erilaista testibetonia, joista kolmella oli eri notkistusannos ja yhdellä eri notkistin. Valmistettiin siis kaksi eri referenssibetonia ja kahdeksan testibetonia. Testibetonit nimettiin lujuusluokan, annostuksen ja notkistimen mukaan K30 0,6 % - K35 1,0 % ELE. Betonimassojen notkeusluokka oli S2 ja vesisideainesuhde (v/s, vesisementtisuhde) vaihteli välillä 0,71–0,8. Maksimiraekoko kaikissa betoneissa oli 18 mm. Reseptien lähtötiedot on koottu taulukkoon 2.

Taulukko 2. Betonireseptien tiedot taulukoituna

Koekappale	Massat	Maksimi raekoko	Testin suoritus paikka	Vesisideaine suhde	Lisäaine	Lisäaine annostus
1.	K30 Referenssibetoni	18	Kuopio	0,74	-	-
2.	K30 0,6 %	18	Kuopio	0,71	VB-notkistin	0,6 %
3.	K30 1,0 %	18	Kuopio	0,72	VB-notkistin	1,0 %
4.	K30 1,3 %	18	Kuopio	0,79	VB-notkistin	1,3 %
5.	K30 1,0 % ELE	18	Kuopio	0,78	ELE-notkistin	1,0 %
6.	K35 Referenssibetoni	18	Siilinjärvi	0,75	-	-
7.	K35 0,6 %	18	Siilinjärvi	0,74	VB-notkistin	0,6 %
8.	K35 1,0 %	18	Siilinjärvi	0,8	VB-notkistin	1,0 %
9.	K35 1,3 %	18	Siilinjärvi	0,73	VB-notkistin	1,3 %
10.	K35 1,0 % ELE	18	Siilinjärvi	0,76	ELE-notkistin	1,0 %

4.1.2 Sementti

Testibetonien valmistuksessa käytettiin seuraavia rakennussementtejä: K30 betoneilla Paraisten yleissementtiä (CEM II/A-M(S-LL) 42,5 N), joka on normaalisti kovettava sementti ja sopii kaikkeen rakentamiseen. K35 betoneilla Holcim Rapidsementtiä (CEM I 42,5 R), joka on nopeasti kovettava sementti ja jota käytetään niin elementti- kuin valmisbetoneissa. Sementtimäärät betoneissa vaihteli välillä 249–333 kg/m³. Rakennussementin tulee olla CE-merkittyä ja täyttää standardin SFS-EN 197-1 vaatimukset.

4.1.3 Lisäaineet ja lisäaineannostukset

Testibetonien valmistuksessa käytetyt notkistavat lisäaineet olivat valmis- ja elementtibetonointiin tarkoitettuja lisäaineita. Notkistimet nimettiin VB- ja ELE-notkistimiksi. Notkistavien lisäaineiden annostukseksi valittiin 0,6 %, 1,0 % ja 1,3 % sideaineen painosta. Nämä lisäaineannostukset valittiin, koska 0,6 % pienemmillä annostuksilla ei juuri ole vaikutusta betonin koostumukseen ja ominaisuuksiin, sekä 1,0 % ja 1,3 % annostukset valittiin, koska ne ovat seuraavat tasaisin välein valitut annoskoot.

4.1.4 Testien suorituspaikka

Testit suoritettiin Lujabetonin Kuopion ja Siilinjärven valmisbetoniasemien laboratorioissa. Ensin kaikki testit oli tarkoitus suorittaa Kuopion valmisbetoniasemalla, mutta tehtaan vähäisen betonitilaukskannan vuoksi jouduimme siirtämään loppu testien suorituksen Siilinjärven tehtaalle. Jotta massoja voitaisiin vertailla keskenään, sekä niillä olisi samat raaka-aineet ja valmistusolosuhteet, päädyttiin K30 lujuusluokan massat tekemään Kuopiossa ja K35 lujuusluokan massat Siilinjärvellä. Betonien koekappaleet puristettiin Lujabetonin Siilinjärven laboratoriossa ja selvitettiin niiden puristuslujuudet.

4.2 Kiviainesta koskevat kokeet

Kiviaineksen tilavuusosuus betonin osa-aineista on 65...80 %. On siis selvää, että kiviainesten ominaisuuksilla on merkittävä vaikutus betonin ominaisuuksiin. Kiviaineksen tulee olla kyseiseen käyttötarkoitukseen sopivaa, eikä se saa sisältää haitallisia määriä aineita, jotka vaikuttavat tuoreen tai kovettuneen betonin ominaisuuksiin heikentävästi. Betonin laatuun vaikuttavat tärkeimmät kiviaineksen ominaisuudet ovat rakeisuus, puhtaus ja kosteus. Betoninormien mukaan betonin valmistamiseen tulee käyttää standardin SFS-EN 12620 mukaista kiviainesta ja kiviaineksen tulee olla CE-merkittyä ja tarkastettua. Tarkempia määräyksiä ja ohjeita betoniin käytettävälle kiviainekselle löytyy Betoninormeista by50 ja Betonin kiviainekset by43 ohjekirjasta. /2./

4.2.1 Kiviaineskosteudet

Kiviaineksen kosteudenhallinta on tärkeää, jotta betonin valmistuksessa saavutettaisiin tavoiteltu vesi-sementtisuhde sekä haluttu notkeustaso. Vuoden 2005 alussa voimaan astuneiden normien mukaan betonin koostumusta määritettäessä ainoastaan kiviaineksen mukana tuleva vapaa vesi eli kosteuspitoisuus lasketaan betoniin lisätyksi vedeksi. Tällöin puhutaan betonin tehollisesta vesimäärästä ja tehollisesta vesi-sementtisuhdesta. /2./

Betoniin käytettävät kiviainekset otetaan luonnosta ja niitä käsitellään, kuljetetaan ja varastoidaan usein taivasalla. Kiviaineksen kosteus voikin vaihdella jopa annoksittain riippuen varasto-olosuhteista ja säistä. Jotta betonin todellinen vesimäärä tiedettäisiin, tulee betoniaseman selvittää kiviaineen todellinen kosteuspitoisuus. /2./

Kiviainesten kosteuspitoisuudet määritettiin kuivaamalla kiviainesnäytteet uunissa + 105 °C:ssa riittävän ajan, kunnes niistä oli kaikki kosteus haihtunut. Kiviainesnäytteet punnittiin ennen (märkäpaino) ja jälkeen (kuivapaino) kuivatuksen. Erotuksena saatiin haihtunut vesimäärä grammoina, josta laskettiin jokaisen kiviaineksen kosteuspitoisuus (w) kaavan 1 avulla. Kosteuspitoisuus (w) on veden massa testinäytteessä ilmoitettuna prosentteina kuivan testinäytteen massasta (SFS-EN 1097-5). Kosteuspitoisuudet kirjattiin betoniaseman ohjausautomaatiikan annostelutietoihin.

$$w = \frac{\text{märkäpaino} - \text{kuivapaino}}{\text{kuivapaino}} \times 100\% \quad (1)$$

Nykyään kiviaineksen kosteuspitoisuutta voidaan mitata esimerkiksi erilaisilla kosteusmittausantureilla, jotka asetetaan vaikkapa siilon pohjalle lähelle kiviaineksen sektoriluukkuu. Kiviaineksen kosteus tulisi mitata päivittäin ja varmistaa ettei kostea runkoaine pääse jäämään tai ettei sitä ainakaan käytetä jäisenä. /2./

4.2.2 Seulonta

Rakeisuudella tarkoitetaan runkoaineen sisältämien erisuuruisten rakeiden määrien painosuhteita. Rakeisuus kuvaa kiviaineksen rakeiden kokoja ja jakaumaa ja se määritetään tavallisesti kuivaseulonnan avulla. Kuivaseulonnalla selvitetään raekooltaan yli 0,125 mm runkoaineen erikokoisten rakeiden keskinäinen jakautuminen sen mukaan, kuinka suuri osa runkoaineesta läpäisee kunkin normaaliseulasarjaan kuuluvan verkkoseulan. Seulasarjan silmäkoot ovat 0,125, 0,25, 0,5, 1, 2, 4, 8, 16, 31,5 ja 63 mm (kuva 7). Betoninkoostumuslomakkeeseen tai ohjelmaan piirretään seulonnan läpäisyarvojen avulla rakeisuuskäyrä, jonka muoto ja sijainti kuvaavat varsin hyvin kiviaineksen raejakaumaa. Tarkemmat ohjeet seulontaan on esitetty standardissa SFS-EN 933-1. /2./



Kuva 7. Seulasarja ja tärytin

Testasimme työssä kiviaineksen rakeisuuden seulonnan avulla, vertaillaksemme kiviainestoimittajan antamia kiviainesten rakeisuuskäyriä meidän seuluntojen antamiin rakeisuuskäyriin. Seulonta tehtiin ylimääräisenä työnä tutkimuksen ohessa. Runkoainetutkimuksen yksittäiset seulontatulokset löytyvät liitteestä 1.

4.3 Tuoreen betonin testaus

Betonimassalla tulee betoninormien mukaan olla sellaiset ominaisuudet, että se tarkoitukseen soveltuvia menetelmiä käyttäen tiivistettynä ja käsiteltynä, kovettuttuaan täyttää asetetut vaatimukset /2/.

4.3.1 Painuma

Betonimassan tärkein ominaisuus on työstettävyys, jota yleensä arvostellaan massan notkeudella. Notkeus mitataan yleensä painumakokeella tai leviämänä. Kokeella mitataan jossain määrin myös massan erottumistaipumusta. /2./

Tässä työssä mitattiin tuoreen betonimassan notkeus painumakokeella (kuva 8). Kokeessa mitattiin kartiomuotissa olevan betonimassan painuma millimetreissä muotin noston jälkeen. Lisäksi tarkasteltiin silmämääräisesti notkeutta ja mitattiin massan lämpötila. Painuma mittaukset tehtiin heti, 30 ja 60 minuutin kuluttua massan valmistuksesta. Notkeuden painumakoe on esitetty tarkemmin standardissa SFS-EN 12350-2.



Kuva 8. Painuman mittaus

4.3.2 Tiheys

Tuoreen betonimassan tiheys selvitettiin vain Siilinjärven betoniasemalla tehdyistä massoista. Tiheyden mittaamiseen käytetyn astian tilavuus ja massa selvitettiin, jonka jälkeen se täytettiin betonilla ja tiivistettiin täryttämällä. Pinta tasoitettiin ja astian reuna, sekä ulkopinta pyyhittiin puhtaaksi. Lopuksi astia sisältöineen punnittiin ja saadusta massasta vähennettiin tyhjän astian massa. Erotus jaettiin vielä astian tilavuudella, josta tulokseksi saatiin tuoremassan tiheys. Tuoremassan tiheys vaihteli välillä 2 340–2 390 kg/m³. Tuoreen betonimassan tiheys määritettiin standardin SFS-EN 12350-6 mukaan.

4.4 Koekappaleet ja valumuotit

Notkistavien lisäaineiden vaikutusta tutkittaessa valmistettiin tutkittavista betonimassoista koekappaleita. Tutkimuksessa oli mukana kymmenen eri betonireseptiä, joista kaksi oli referenssibetoneja ja loput kahdeksan näiden pohjalta kehiteltyjä testibetoneja. Kustakin massalaadusta valmistettiin kolme koekappaleita. Yhteensä koekappaleita oli 30 (kuva 9). Koekappaleiden tiedot näkyvät taulukosta 3.

Taulukko 3. Koekappaleiden tiedot

Koekappale	Massat	Valupäivä	Valmistus paikka	Koekappale määrä	Koekappale koko
1.	K30 Referenssibetoni	17.2.2009	Kuopio	3	150 x 300
2.	K30 0,6 %	17.2.2009	Kuopio	3	150 x 300
3.	K30 1,0 %	12.3.2009	Kuopio	3	150 x 300
4.	K30 1,3 %	12.3.2009	Kuopio	3	150 x 300
5.	K30 1,0 % ELE	13.3.2009	Kuopio	3	150 x 300
6.	K35 Referenssibetoni	9.3.2009	Siilinjärvi	3	150 x 300
7.	K35 0,6 %	10.3.2009	Siilinjärvi	3	150 x 300
8.	K35 1,0 %	10.3.2009	Siilinjärvi	3	150 x 300
9.	K35 1,3 %	11.3.2009	Siilinjärvi	3	150 x 300
10.	K35 1,0 % ELE	11.3.2009	Siilinjärvi	3	150 x 300

Tutkittavista massoista tehtiin standardin SFS-EN 12390-1 mukaiset 150 mm x 300 mm:n lieriökoekappaleet, joista määritettiin puristuslujuus. Puristuslujuus mitattiin 2(3), 7 ja 28 vuorokauden ikäisistä lieriökoekappaleista Lujabetonin laboratoriossa Siilinjärvellä.

Puristuskoekappaleina toimivat lieriökoekappaleet valettiin käyttäen standardin EN 12390-1 vaatimusten mukaisia ja kalibroituja 150 mm x 300 mm:n valurautamuotteja. Standardit määrittelevät koekappaleiden ja muottien muodon, mitat ja vaatimukset.



Kuva 9. Siilinjärven koekappaleita

4.5 Betonimassojen valmistus ja valaminen

Tutkittavat betonimassat valmistettiin Lujabetonin Kuopion ja Siilinjärven betoniasemien myllyssä. Vertailubetonien valmistamiseen käytettiin valmistajan käytössä olevia K30 ja K35 normaalimassa reseptejä ja testibetonien valmistamiseen vertailubetonien pohjalta kehitettyjä ja suhteitettuja reseptejä. Valmistuksessa käytettiin betoniasemien normaaleja betonin raaka-aineita ja notkistavia lisäaineita.

Betoni annosteltiin myllyyn 0,5 m³-2 m³:n annoksina, josta kuljetusauton kyytiin tyhjentäessä otettiin näytteet sankkoja käyttäen. Myllystä sankkojen avulla otetut näyte-erät siirrettiin laboratorioon ja valettiin koekappalemuotteihin. Ennen valun suorittamista massoista mitattiin lämpötila ja painuma kohdan 5.3.1 mukaan. Betoni tiivistettiin tarvittaessa muotteihin sauvatäryttimellä. Valun ja tiivistyksen jälkeen koekappaleiden pinnat tasoitettiin ja betonin hieman kovettuttua muottien päälle hierrettiin kannet (kuva 10 ja 11). Massat valettiin 17.2.–13.3.2009. Koekappaleiden valmistus ja jälkihoito tehtiin standardin SFS-EN 12390-2 mukaisesti.



Kuva 10. Siilinjärven valetut koekappaleet. Taustalla lämpötilan seuranta lämpömittarilla



Kuva 11. Kuopion koekappaleet valun jälkeen

Koekappaleiden lämpötilaa seurattiin lämpömittarin avulla, jotta nähtäisiin vaikuttavatko notkistimet massojen lämpötilaan ja näin alkulujuuden kehitykseen. Lämpötilat pysyivät kuitenkin lähes samoissa lukemissa, joten notkistimilla ei juuri ollut niihin vaikutusta.

4.6 Koekappaleiden säilytys

Koekappaleiden annettiin vuorokauden kovettua valumuoteissaan Lujabetoni Oy:n laboratorioden varastotiloissa ennen muotin purkamista. Purkamisen jälkeen koekappaleet merkittiin valupäivän, reseptin, sekä puristusian mukaan vedenkestävällä tussilla, kuten kuvasta 12 käy ilmi. Tämän jälkeen 7 ja 28 vuorokauden koekappaleet siirrettiin vesisäilytykseen ja 2 vuorokauden kappale odottamaan puristamista. Varastotilat olivat lämmitettyjä ja vesialtaiden lämpötila oli säädetty +20 °C:seen, joten suuria lämpötilan vaihteluja ei varastoinnin aikana päässyt esiintymään.



Kuva 12. Koekappaleet merkinnöillä

4.7 Kovettuneen betonin testaus

Kovettuneen betonin tärkeimmät rakenteita suunniteltaessa määritettävät ominaisuudet ovat betonin lujuus ja sen säilyvyys erilaisia rasituksia vastaan /2/.

4.7.1 Puristuslujuus

Kovettuneen betonin ominaisuutta arvostellaan tavallisesti sen puristuslujuuden perusteella. Puristuslujuus on betonin tärkein ominaisuus ja siitä hyvä betonin ominaisuuksien tuloksija, että se on yksinkertainen testata ja useat betonin ominaisuudet ovat verrannollisia siihen. Betoninormeissa puristuslujuus perustuu kuutiolujuuteen, joka testataan sivumitaltaan 150 mm:n koekuutioita käyttäen. 150 mm kuutioiden lisäksi voidaan käyttää myös 100 mm:n kuutioita, 150 x 300 mm:n lieriöitä tai 200 mm:n kuutioita. Nämä koekappaleet eivät kuitenkaan anna samoja tuloksia kuin 150 mm:n kuutiot. Tulokset onkin ennen vertailulujuuslaskelman suorittamista muutettava 150 mm kuution tuloksiksi käyttäen tähän tarkoitukseen soveltuvaa taulukkoa tai laskentaohjelmaa. /2./

Jotta betonin puristuslujuuskokeita varten tehdyt koekappaleet täyttävät normien asettamat rakenteen kelpoisuusvaatimukset, tulee niiden tuloksista lasketun vertailulujuuden olla vähintään vaatimukseksi asetetun lujuusluokan suuruinen /2/. Puristuslujuus tulokselle asetetaan kuitenkin aina tavoitelujuus, johon suhteutuksella pyritään. Yleensä lujuudenarviointi-ikäinä käytetään 28 vuorokautta, mutta lujuus voidaan mitata myös 1, 2, 3 ja 7 vuorokauden kuluttua koekappaleiden valmistuksesta.

Tässä työssä betonin lieriökoekappaleiden (150 mm x 300 mm) puristuslujuudet määritettiin standardin SFS-EN 12390-3 mukaisesti. Kovettuneet betonikoekappaleet puristettiin 2(3), 7, ja 28 vuorokauden ikäisinä Lujabetonin Siilinjärven laboratoriossa. Koekappaleen kestävä suurin voima (kN) merkittiin muistiin ja laskettiin betonin puristuslujuus (MPa, N/mm²). Ennen puristamista 28 vuorokauden ikäiset koekappaleet pinnoitettiin rikkiseoksella, pinnan tasoittamiseksi. Koekappaleet puristettiin standardin SFS-EN 12390-4 mukaisella puristustestauskoneella (kuva 13). 2 ja 7 vuorokauden testausikä ei ole standardien edellyttämä, mutta ne otettiin mukaan, koska haluttiin selvittää koekappaleiden alkulujuuksien kehittyminen.



Kuva 13. Koekappaleiden puristustestauskone

4.7.2 Tiheys

Kovettuneen betonin tiheys määritettiin standardin SFS-EN 12390-7 mukaan. Lie-riökoekappaleen massa jaettiin koekappalemuotin tilavuudella, josta tulokseksi saatiin kovettuneen betonin tiheys. Koekappaleen tiheys pyöristettiin lähimpään 10 kg/m^3 . Kovettuneen betonin tiheys vaihteli välillä $2\,317\text{--}2\,407 \text{ kg/m}^3$.

Taulukko 4. Tutkimuksessa käytettyjen betonireseptien lähtötiedot ja testitulokset taulukoituna

Koekappale	Massat	Maksimi raekoko	Testin suoritus paikka	Vesisideaine suhde	Lisäaine	Lisäaine annostus	Lämpötila °C	Painuma-arvo (mm)			Puristuslujuus (Mpa)		
								heti	30 min	60 min	2d	7d	28d
1.	K30 Referenssibetoni	18	Kuopio	0,74	-	-	17	100	70	45	14	26,5	38
2.	K30 0,6 %	18	Kuopio	0,71	VB-notkistin	0,6 %	14	135	110	70	14,5	28,5	41
3.	K30 1,0 %	18	Kuopio	0,72	VB-notkistin	1,0 %	16	110	55	40	9,5	27,5	35,5
4.	K30 1,3 %	18	Kuopio	0,79	VB-notkistin	1,3 %	21	110	55	30	9,5	26,5	33,5
5.	K30 1,0 % ELE	18	Kuopio	0,78	ELE-notkistin	1,0 %	15	90	35	20	15,5	27	33,5
6.	K35 Referenssibetoni	18	Siilinjärvi	0,75	-	-	22,5	165	160	110	15	29	39
7.	K35 0,6 %	18	Siilinjärvi	0,74	VB-notkistin	0,6 %	20,4	155	130	90	15,5	31,5	39,5
8.	K35 1,0 %	18	Siilinjärvi	0,8	VB-notkistin	1,0 %	19,8	150	100	80	12,5	28	35
9.	K35 1,3 %	18	Siilinjärvi	0,73	VB-notkistin	1,3 %	21,5	115	65	40	15,5	32,5	41,5
10.	K35 1,0 % ELE	18	Siilinjärvi	0,76	ELE-notkistin	1,0 %	22	75	50	10	13	31	42,5

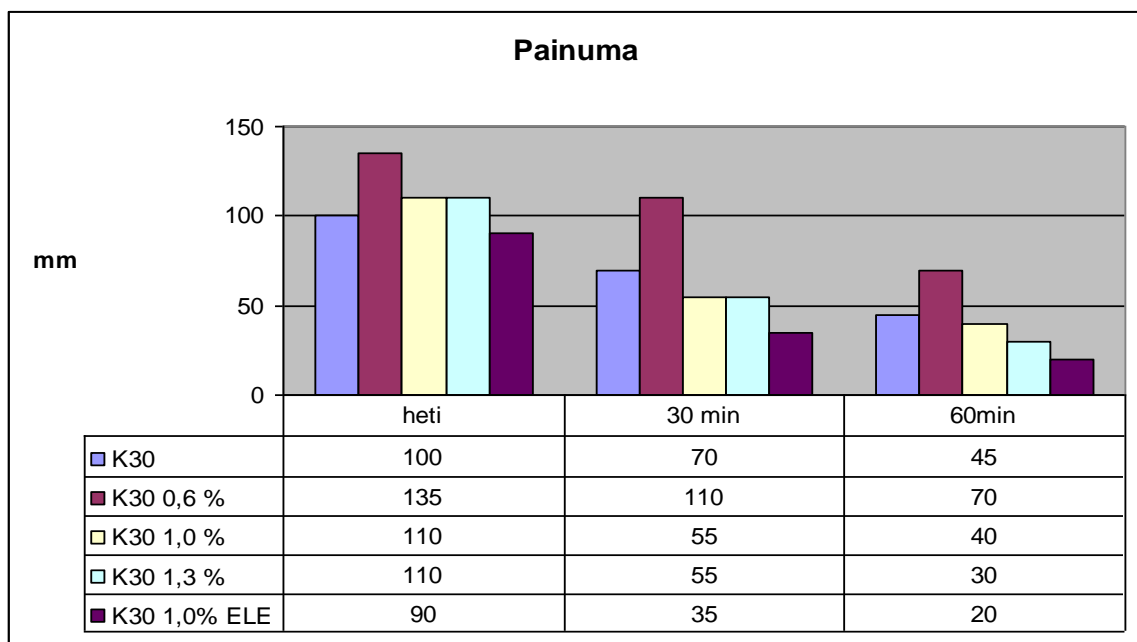
5. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Tutkimuksessa käytettyjen reseptien lähtötiedot ja testitulokset on koottu edellä esitettävään taulukkoon 4.

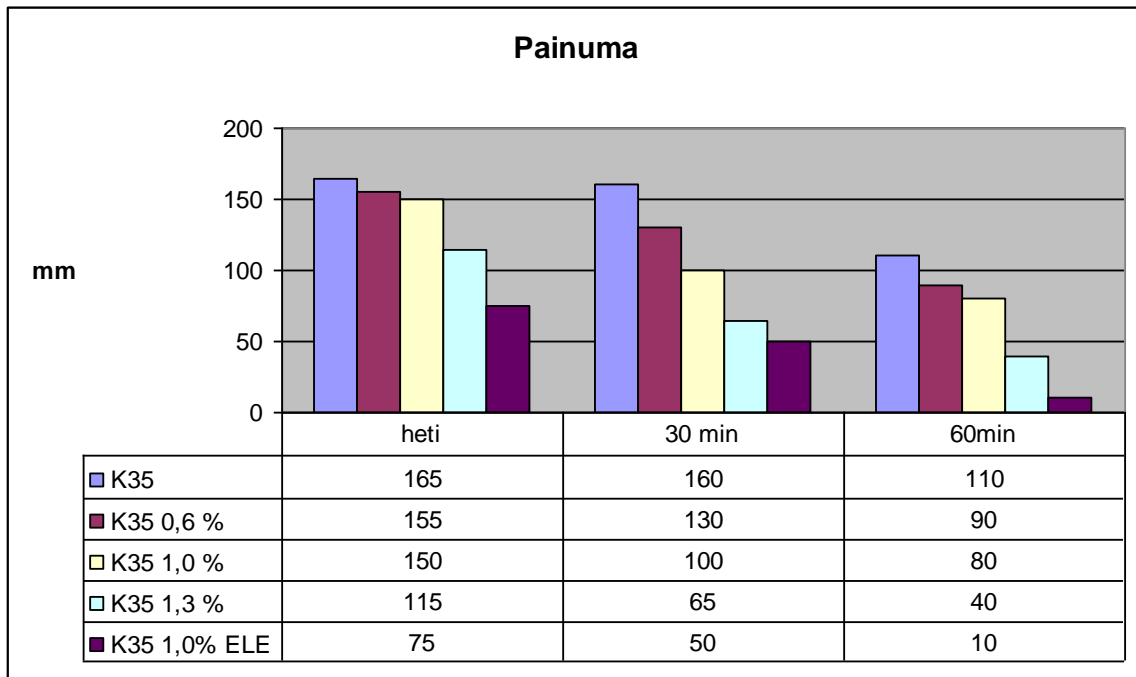
Tutkimuskohteina oli kymmenen betonireseptiä, joista kaksi oli K35 ja K30 lujuusluokan referenssibetoneita. Loput kahdeksan oli täysin uusia kehitysversioita, jotka nimettiin lujuusluokan, annostuksen ja notkistimen mukaan K30 0,6 % - K35 1,0 % ELE. Testaukset tehtiin standardien mukaisesti. Betonit valmistettiin ja kokeet suoritettiin Lujabetoni Oy:n Kuopion ja Siilinjärven valmisbetoniasemilla. Betonimassojen notkeusluokka oli S2 ja vesisideainesuhte (v/s, vesisementtisuhde) vaihteli välillä 0,71–0,8. Maksimirakekoko kaikissa betoneissa oli 18 mm.

5.1 Painuma

Kuvista 14 ja 15 nähdään tutkimuksessa käytettyjen K30 ja K35 lujuusluokan betonimassojen painumatulokset. Painumamittaukset tehtiin Kuopion ja Siilinjärven valmisbetoniasemilla heti, 30 ja 60 minuutin kuluttua massan valmistuksesta.



Kuva 14. K30 lujuusluokan massojen painumat

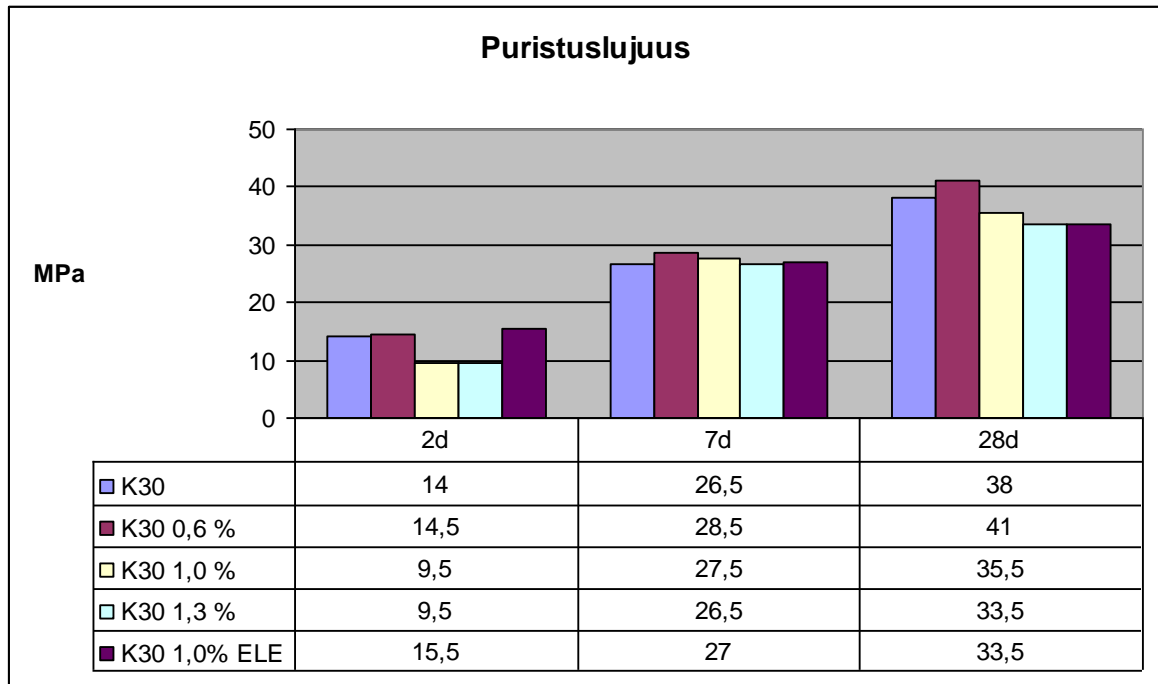


Kuva 15. K35 lujuusluokan massojen painumat

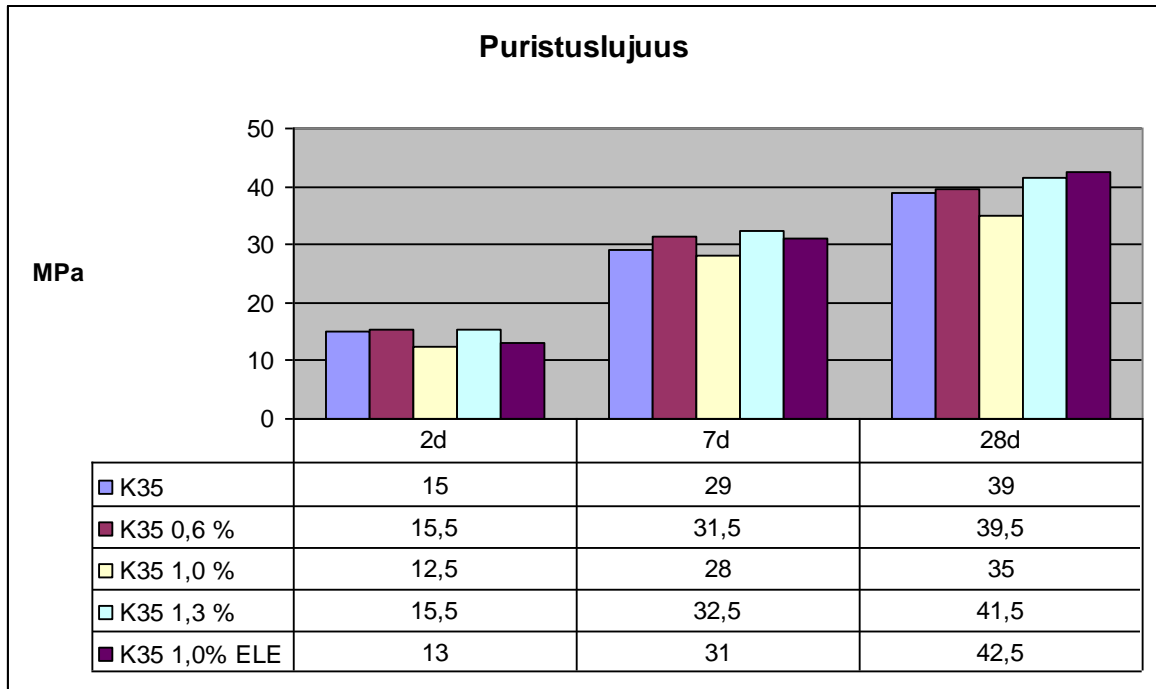
K30 betonimassojen painumatuloksista voidaan huomata, että heti mitatut painuma-arvot ovat lähellä toisiaan, lukuun ottamatta 0,6 %:n massaa ja ELE:llä notkistettua massaa. 0,6 %:n massan työstettävyys oli parhain, koska sen painuma on suurin ja ELE:llä notkistetun massan huonoin. ELE:llä, 1 %:n ja 1,3 %:n annostuksilla notkistetuilla massoilla painuma puolittuu jo puolen tunnin aikana, mikä täytyy huomioida työstöajan lyhenemisenä liian nopean kovettumisen vuoksi ja valmisbetonoinnissa notkeuden lisäämisenä. Sama pätee myös K35 lujuusluokan ELE notkistetulle massalle. K35 betonimassojen painuma-arvot ovat, ELE notkistettua massaa lukuun ottamatta, K30 betonimassoja suurempia, mikä kertoo paremmasta notkeudesta. K35 lujuusluokan ELE notkistettu massa on jopa K30 lujuusluokan ELE notkistettua massaa jäykempi, minkä selittää sen korkeampi lujuus. Paremmasta notkeudesta huolimatta K35 lujuusluokan 1 %:lla ja 1,3 %:lla notkistetuilla massoilla painuma puolittuu puolen tunnin aikana, kuten vastaavilla K30 lujuusluokan massoillakin.

5.2 Puristuslujuus

Kuvissa 16 ja 17 on esitetty K30 ja K35 lujuusluokan betonikoekappaleiden puristuslujuudet. Kovettuneet betonikoekappaleet puristettiin 2(3), 7, ja 28 vuorokauden ikäisinä Luja-betonin Siilinjärven laboratorioissa. Lisäksi kuvista 18 ja 19 nähdään K30 ja K35 lujuusluokan betonien puristuskoekappaleiden lujuudenkehitys ajan funktiona.



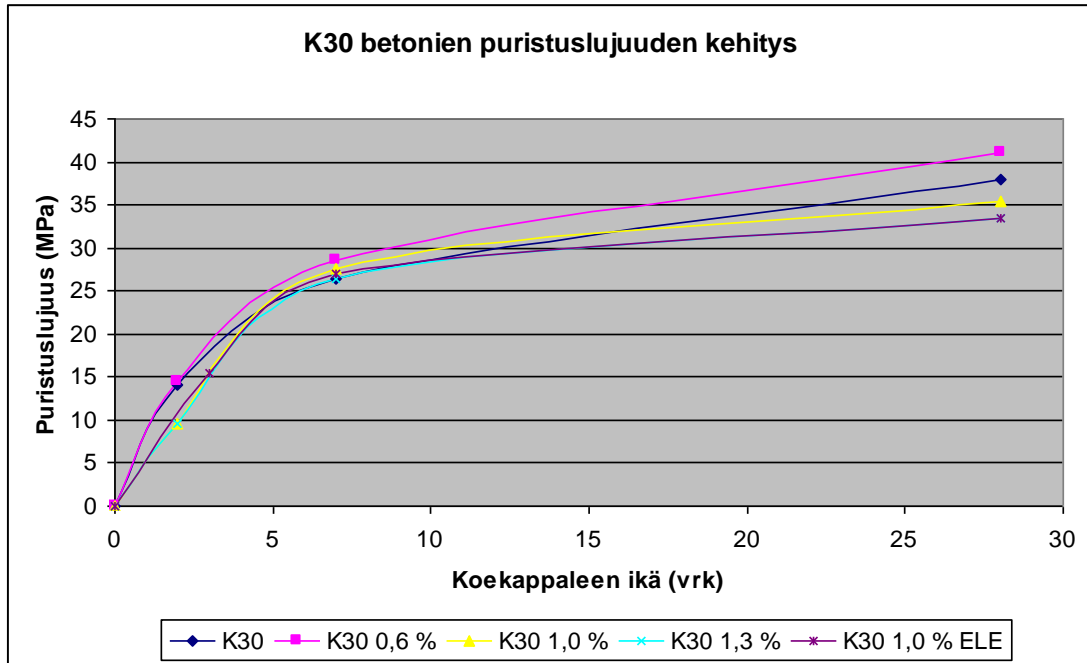
Kuva 16. K30 lujuusluokan betonien puristuslujuustulokset



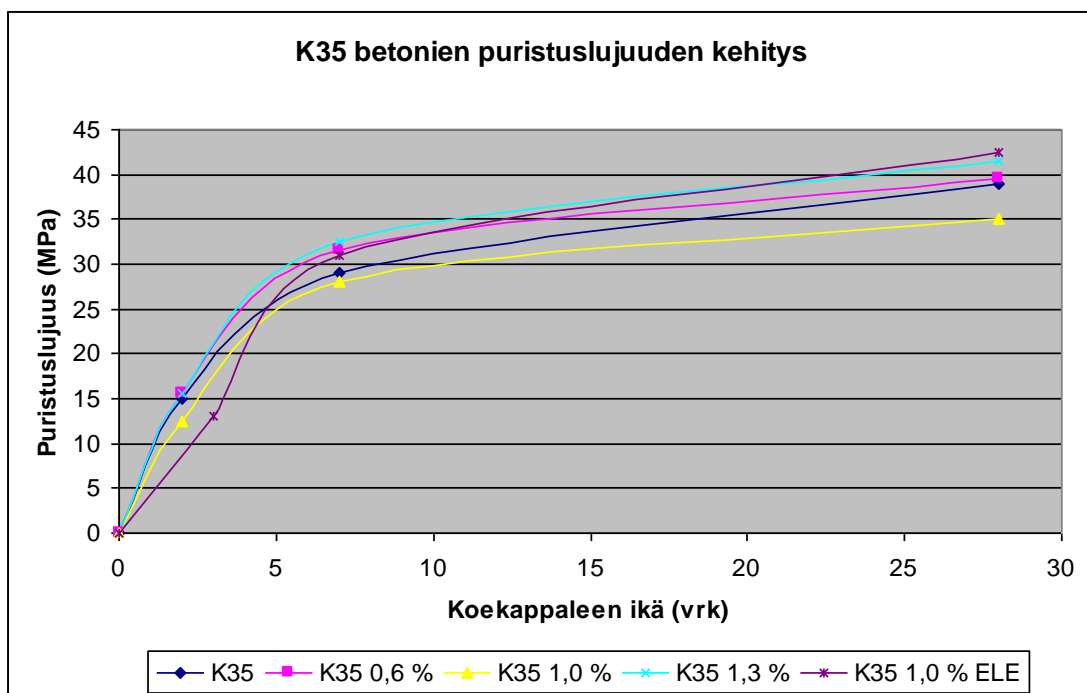
Kuva 17. K35 lujuusluokan betonien puristuslujuustulokset

Kuvan 16 K30 betonien puristuslujuus tuloksista voitiin huomata puristuslujuuksien olevan sekä betonin tavoitelujuutta 34 MPa korkeampia, että hieman matalampia. Hajontaa siis ilmeni. Referenssi ja K30 0,6 % betonien lujuudet täyttivät osittain, jopa K35 lujuusluokan betonin vaatimukset. Kuvasta 17 huomataan myös K35 1,3 % ja K35 1 % ELE betonien puristuslujuustulosten olevan hieman betonin tavoitelujuutta 39 MPa korkeampia. Tämä voi johtua suurista notkistinannostuksista ja notkistin tyyppistä varsinkin K35 1 % ELE betonilla, koska ELE-notkistimilla saadaan suuria alkulujuuksia suurilla annostuksilla. Massat olivat myös painumien mukaan olleet jäykempiä ja niiden työstöaika oli ollut lyhyt. K35 1 % betonin puristuslujuustulos taas jäi alle tavoitelujuuden, mutta se täytti vielä lujuusluokalta vaaditun nimellisljuuden. Syy tuloksen alhaiseen ljuuteen voi olla sen vesimenttisuuhteessa, joka oli 0,8. Se oli paljon muita K35 lujuusluokan betoneja korkeampi tulos, joten vettä on annosteltu liikaa betonin valmistus vaiheessa. Painumatuloksessa tämä ei kyllä näkynyt liiallisena massan notkeutena, sillä massa oli jäykempää kuin K35 0,6 % betonin, joka täytti tavoitelujuuden.

K35 lujuusluokan 1 %:lla notkistetusta massasta olisi ollut hyvä tehdä uusi koekappale sen alhaisen lujuuden vuoksi. Lisäkokeita ei kuitenkaan enää päädytty tekemään, koska olosuhteet olivat jo tänä aikana ehtineet muuttua ja uusia tuloksia olisi tämän vuoksi ollut hankala vertailla aiemmin saatuihin tuloksiin.



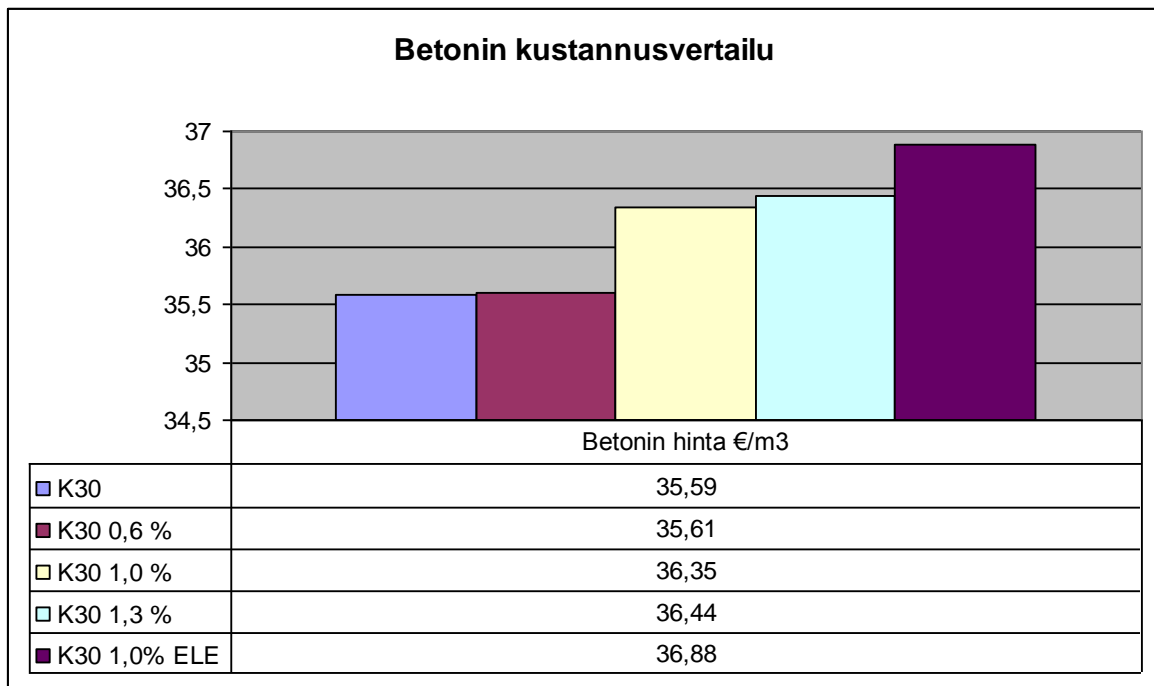
Kuva 18. K30 betonien puristuskoekappaleiden lujuudenkehitys ajan funktiona



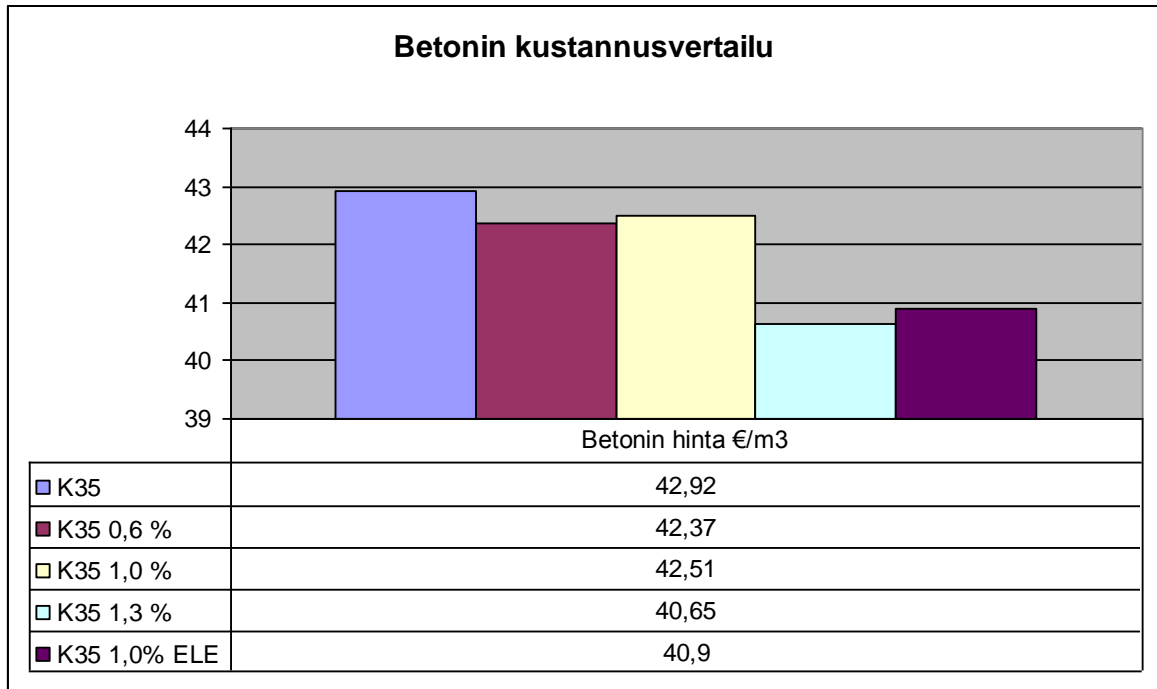
Kuva 19. K35 betonien puristuskoekappaleiden lujuudenkehitys ajan funktiona

5.3 Kustannusvertailu

Kuvissa 20 ja 21 on vertailtu K30 ja K35 lujuusluokan betonien kuutiohintoja. Työssä käytettävien referenssibetonien kuutiohinnat perustuvat Lujabetoni Oy:n hinnastoon 2009. Betonien kuutiohinnat on laskettu saatujen puristuslujuus tulosten pohjalta muunneltujen uusien reseptien mukaan. Puristuslujuudet korjattiin vastaamaan asetetun lujuusluokan tavoitelujuutta, jonka mukaan ensimmäisiä reseptitietoja muokattiin. Uusilla tiedoilla suhteitettiin betoneille uudet reseptit, jotta tuloksia voitaisiin vertailla keskenään.



Kuva 20. K30 lujuusluokan betoni kuutiohintojen vertailu



Kuva 21. K35 lujuusluokan betoni kuutiohintojen vertailu

Kuvista 20 ja 21 huomataan että, notkistavia lisäaineita käyttämällä voidaan betonin kustannuksia säästää K35 lujuusluokan betonien osalta. K35 lujuusluokan betonien kuutiohinnat laskevat notkistinannostuksen kasvaessa. K30 lujuusluokan betonien osalta betonin kustannuksia ei voida säästää, koska ne sisältävät vähemmän sementtiä, minkä vuoksi notkistimien käyttö ei ole kannattavaa. Niiden kuutiohinnat lähinnä vain nousevat notkistinannostuksen kasvaessa. Tulokset kertovat notkistavien lisäaineiden käytön olevan kannattavaa vain K30 lujuusluokkaa vahvemmissa betoneissa, mutta tämän varmistamiseksi tulee tehdä lisää ennakkokokeita. Kustannussäästöt kertovat myös, että notkistimia käyttämällä voidaan säästää sementtiä ja vettä betonin valmistuksessa. Jos betoniaseman vuosittainen sementin kulutus on noin 20 000 m³, notkistavilla lisäaineilla saatavilla sementtisäästöillä voi vuosi kulutuksessa olla suurikin vaikutus betonin valmistuskustannuksiin.

Työn ainoa virhe tapahtui K35 lujuusluokan betonien kuutiohinnoissa 1 %:n notkistuksella. Tämän betonin koekappaleen puristuslujuustulos jäi tavoitelujuutta alhaisemmaksi, vaikka se täyttikin lujuusluokan vaatiman nimellislajuuden. Sen vuoksi se ei anna niin alhaista kuutiohintaa, kuin voisi muiden K35 betonien tulosten perusteella kuvitella.

6. YHTEENVETO

Tutkittavien betonien koekappaleet täyttivät niille asetetut lujuusvaatimukset ja massojen notkeus vaikutti hyvältä, vaikka suurilla annostuksilla ja ELE-notkistimella notkistetuilla massoilla työstöaika oli lyhyt painuman puolittuessa jo puolen tunnin aikana. Nämä betonit vaativatkin lisänotkistusta, jos niitä käytetään valmisbetonoinnissa. Elementtibetonointiin ne voivat kuitenkin soveltua ilman lisänotkistusta, vaikka niiden käyttöönotto vaatiikin vielä tarkempaa tutkintaa. Kaiken kaikkiaan K35 lujuusluokan betoneilla oli K30 betoneja parempi työstettävyys.

Notkistimien välillä huomattiin se, että VB-notkistin sopi ELE-notkistinta paremmin tämän tutkimuksen toteutukseen, koska sillä notkistetuilla massoilla oli parempi työstettävyys. ELE-notkistinta käytetään muutenkin enemmän elementtibetonointiin, sen nopean alkulujuuden kehittymisen ja lyhyen vaikutusajan vuoksi.

Tehtyjen puristuslujuuskokeiden perusteella ilmeni suurta tulosten hajontaa, varsinkin K30 lujuusluokan betoneilla. Niiden puristuslujuudet olivat osittain tavoitelujuutta korkeampia ja ne täyttivät jopa K35 lujuusluokan betonin vaatimukset. K35 lujuusluokan betoneilla puristuslujuudet saatiin lähelle tavoitelujuutta, K35 1,0 % betonia lukuun ottamatta. K35 1,0 % betonin puristuslujuustulos jäi alle tavoitelujuuden, mutta täytti vielä lujuusluokan vaatiman nimellislujuuden. Syy betonin alhaiseen lujuuteen voi olla sen vesisementtisuhteessa, joka oli 0,8. Se oli paljon muita K35 lujuusluokan betoneja korkeampi tulos. Vettä on siis annosteltu liikaa massan valmistus vaiheessa, mikä näkyy annostulosteestakin. Painumatuloksen mukaan betoni ei kuitenkaan ollut liian löysää. Myös inhimillisiä virheitä on voinut tapahtua kokeita tehtäessä, jonka vuoksi kokeiden määrää tulisi nostaa. Näin saataisiin keskiarvo tuloksille, jos virheellisiä tuloksia ilmenee. Kokeita tehtäessä tulisikin olla tarkkana koko testauksen ajan, jotta virheiden mahdollisuuksilta vältyttäisiin.

Tutkimustulosten perusteella havaittiin, että notkistavien lisäaineiden käytöllä on mahdollista saada kustannussäästöjä K35 lujuusluokan betonien osalta. K35 lujuusluokan betonien kuutiohinnat laskivat notkistinannostuksen kasvaessa. K30 lujuusluokan betonien osalta kustannussäästöihin ei päästy, koska ne sisälsivät vähemmän sementtiä, minkä vuoksi notkistimien käyttö ei ollut kannattavaa. Betonien kuutiohinnat vain nousivat notkistinannostusta kasvattaessa. Näin tuotekehitys tuotti tulosta ja tavoite toteutui, kun sementin korvaaminen notkistimilla toi kustannussäästöjä.

Näiden tulosten perusteella voitaisiin arvioida, että kustannussäästöjen saaminen on mahdollista myös korkeammissa lujuusluokissa. Korkeammissa lujuusluokissa betonien sementtimäärät ovat suurempia, joten notkistimien käyttö kustannussäästöjen saamiseksi korostuu, mitä korkeimpiin lujuusluokkiin mennään. Korkeiden sementtimäärien vuoksi on korkealujuusbetoneiden työstettävyyys vaikea saada kohdilleen ilman notkistinta. Joten notkistimien käyttö kustannusten alentamiseen korkealujuusbetoneilla ei onnistu ilman lisänotkistusta. Pienillä notkistinannostuksilla voi korkealujuusbetonien valmistus olla mahdollista, ilman erillistä lisänotkistusta. Korkeita notkistinannostuksia käytettäessä taas on varottava veden erottumista. Tarkemmin notkistimien vaikutusta korkeimpiin lujuusluokkiin voidaan tutkia mahdollisissa jatkotutkimuksissa.

7. TUTKIMUKSEN JATKOKEHITYS AJATUKSIA

Tutkimuksen testauksia olisi voitu vielä kehittää pidemmälle, jos aikaa oli ollut ja olosuhteet eivät olisi merkittävästi muuttuneet. Tutkimuksessa saatujen puristuslujuustulosten pohjalta muunnellut uudet reseptit olisivat kaivanneet lisätutkimuksen tarvetta, jotta olisi nähty saadaanko niistä valmistettujen betonien tulosarvot lähemmäksi referenssibetoneja ja onnistuiko uusien reseptien suhteitus. Samalla olisi voitu vertailla uusien massojen ominaisuuksia ensimmäisiin massoihin nähden. Tämä osuus jäi kuitenkin olosuhteiden muutoksen ja ajan puutteen vuoksi pois.

Jatkossa, jos lisätutkimuksia tehdään, puristuslujuus koekappaleita tulisi lisätä tämän tutkimuksen koekappaleista, jotta saataisiin useampi 28 vuorokauden vertailulujuustulos tämän hetkisen yhden koekappaleen tilalle ja pystyttäisiin laskemaan testibetoneille keskiarvolujuus. Tällöin yksittäiset liian heikot tai lujat puristuslujuustulokset eivät aiheuttaisi heittoa lopullisiin puristuslujuustuloksiin. Ja jotta nimellislujuutta alittavia puristuslujuustuloksia ei tämänkään jälkeen pääsisi aiheutumaan, tulisi betoneja valmistettaessa kiinnittää huomiota veden ja lisäveden annosteluun, ettei niiden vesisideainesuhde pääsisi kasvamaan liian suureksi. Suosittelen myös, että testaukseen ja koekappaleiden tekoon tulisi kiinnittää tarkkuutta, jotta virhemahdollisuuksilta vältyttäisiin jo ennen niiden koestusta. Lisäksi tulisi myös varmistaa koekappaleiden kunnollinen kuivatus ennen puristamista, jotta vesisäilytyksen jälkeen kappale ei jää kosteaksi.

Jatkotutkimuksia ajatellen voisi samanlaisia testauksia tehdä myös muille lujuusluokkia K30 ja K35 korkeammille lujuusluokille. Myös notkistimella tehtävän sementtisäätön vaikutusta ja notkistimien yhteensopivuutta säänkestäviin eli huokostettuihin betoneihin voitaisiin tutkia tarkemmin jatkossa.

Lisäksi työssä voitaisiin tutkia notkistimilla saatavien sementti- ja vesisäätöjen vaikutusta betonin ympäristövaikutuksiin. Suurin osa betonin ympäristövaikutuksista aiheutuu sementin valmistuksesta, kuten raaka-aineiden jauhatuksesta ja poltosta. Sementin valmistuksen aikana ympäristöön pääsee jonkin verran haitallisia aineita, kuten hiilidioksidia, rikkidioksidia ja NO_x yhdisteitä. Sen valmistus käyttää myös valtaosan, noin 90 % betonin valmistukseen käytettävästä energiasta. /2./

LÄHTEET

1. Lujabetoni [verkkodokumentti]. 7.12.2010 [viitattu 5.12.2010]. *Etusivu > Tietoa Luja-yhtiöstä*. Saatavissa: http://www.luja.fi/index.asp?link=34&menu_id=889
2. Suomen Betoniyhdistys ry., *Betonitekniikan oppikirja 2004 BY201*. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy 2005.
3. Semtu Oy [verkkodokumentti]. 30.5.2008 [viitattu 17.10.2010]. *Etusivu > Betonirakentaminen > Valmisbetonit*. Saatavissa: <http://www.semtu.fi/?1;2;2800;900;116.html>
4. Finnsementti [verkkodokumentti]. 29.4.2010 [viitattu 22.11.2010]. *Etusivu > Lisäaineet*. Saatavissa: <http://www.finnsementti.fi/index2.html>
5. Sika [verkkodokumentti]. 30.5.2008 [viitattu 17.10.2010]. *Etusivu > Rakennus > Käyttöturvatiiedotteet*. Saatavissa: <http://www.sika.fi/home/construction/conkayttoturvatiiedotteet-2.htm>
6. Basf Oy Rakennuskemikaalit [verkkodokumentti, PDF]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 22.11.2010]. *Etusivu > Tuotteet > Betonin lisäaineet*. Saatavissa: <http://www.basf-cc.fi/fi/Tuotteet/betoninlis%C3%A4aineet/Pages/default.aspx>

Runkoaine: 12-18 KAIKKI SAMAAN Seulomo:

Näytteen märkäpaino: 1141,6 g Näytteen kuivapaino: 1140,6 g

Seulonnan päivämäärä: 23.2.2009 Tiheys: 0 kg/dm³

Humus	Liete%	Sepeli%	Kosteus%	0.125	0.25	0.5	1	2	4	6	8	12	16	18	32	64	H
0-1	0	0	0,1	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	3,1	60,1	92,8	100,0	259,2	

Runkoaineen '12-18 KAIKKI SAMAAN' rakeisuuskäyrä



Näytteenottaja: Majju Sihvonen

Otopaikka: Lujabetoni, Kuopio maatasku

Huomio:

Päivämäärä: 23.2.2009 Klo: 12:59:52

Allekirjoitus: _____

Runkoaine: 6-12 KUOPIO **Seulomo:**

Näytteen märkäpaino: 1024,4 g **Näytteen kuivapaino:** 1023,6 g

Seulontan päivämäärä: 23.2.2009 **Tiheys:** 0 kg/dm³

Humus	Liete%	Sepeli%	Kosteus%	0.125	0.25	0.5	1	2	4	6	8	12	16	32	64	H
0-1	0	0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	1,2	21,6	78,0	100,0	100,0	100,0	402,4

Runkoaineen '6-12 KUOPIO' rakeisuuskäyrä



Näytteenottaja: Maiju Sihvonon

Ottopaikka: Lujabetoni, Kuopio maatasku

Huomio:

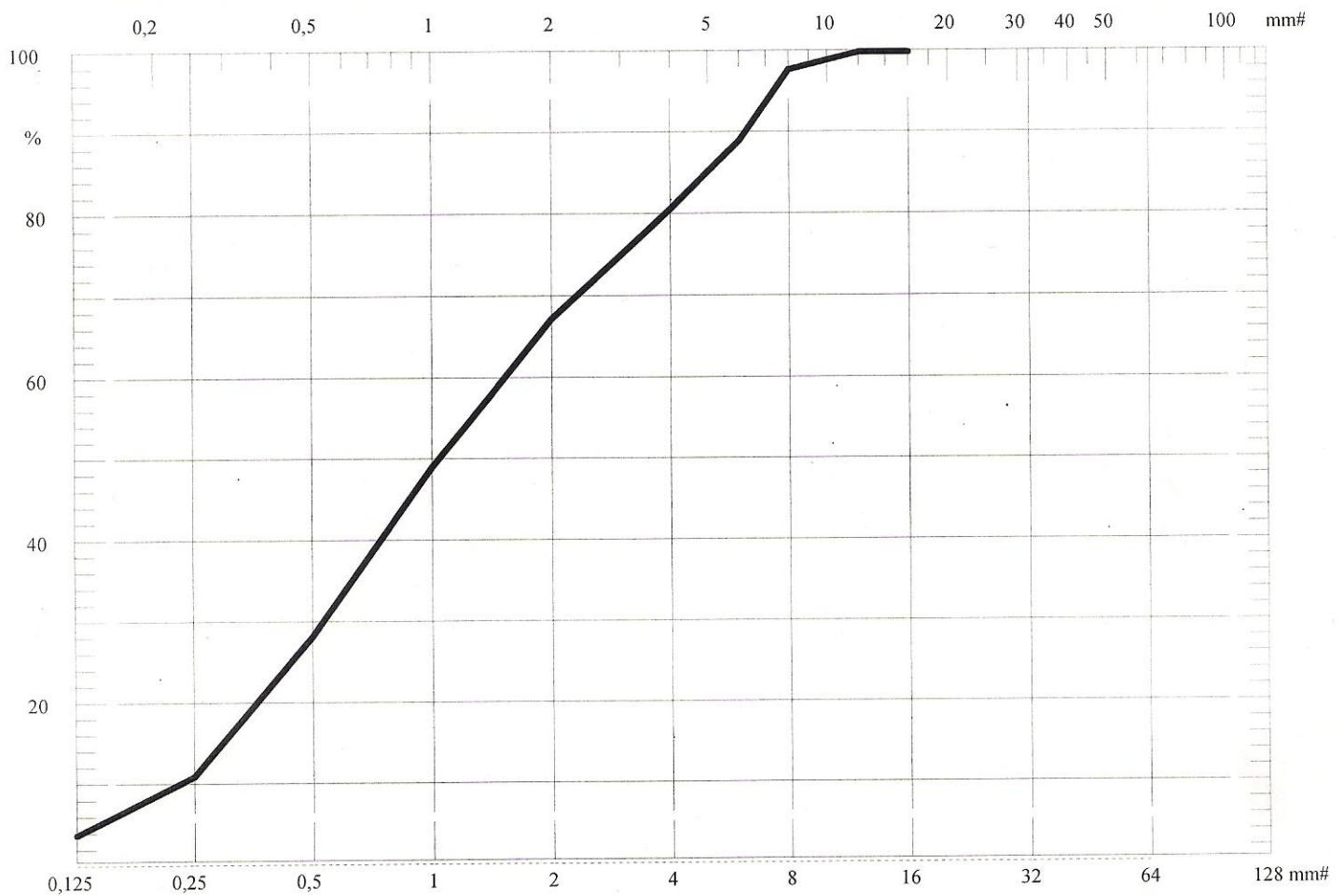
Päivämäärä: 23.2.2009 **Klo:** 13:32:04

Allekirjoitus: _____

Runkoaine: 0-6 SORA KUOPIO **Seulomo:**
Näytteen märkäpaino: 655,2 g **Näytteen kuivapaino:** 634,8 g
Seulontan päivämäärä: 23.2.2009 **Tiheys:** 0 kg/dm³

Humus	Liete%	Sepeli%	Kosteus%	0,125	0,25	0,5	1	2	4	6	8	12	16	32	64	H
0-1	0	0	3,2	3,7	10,8	28,1	49	67,3	80,7	89,1	97,9	100,0	100,0	100,0	100,0	826,6

Runkoaineen '0-6 SORA KUOPIO ' rakeisuuskäyrä


Näytteenottaja: Maiju Sihvonon

Ottopaikka: Lujabetoni, Kuopio maatasku

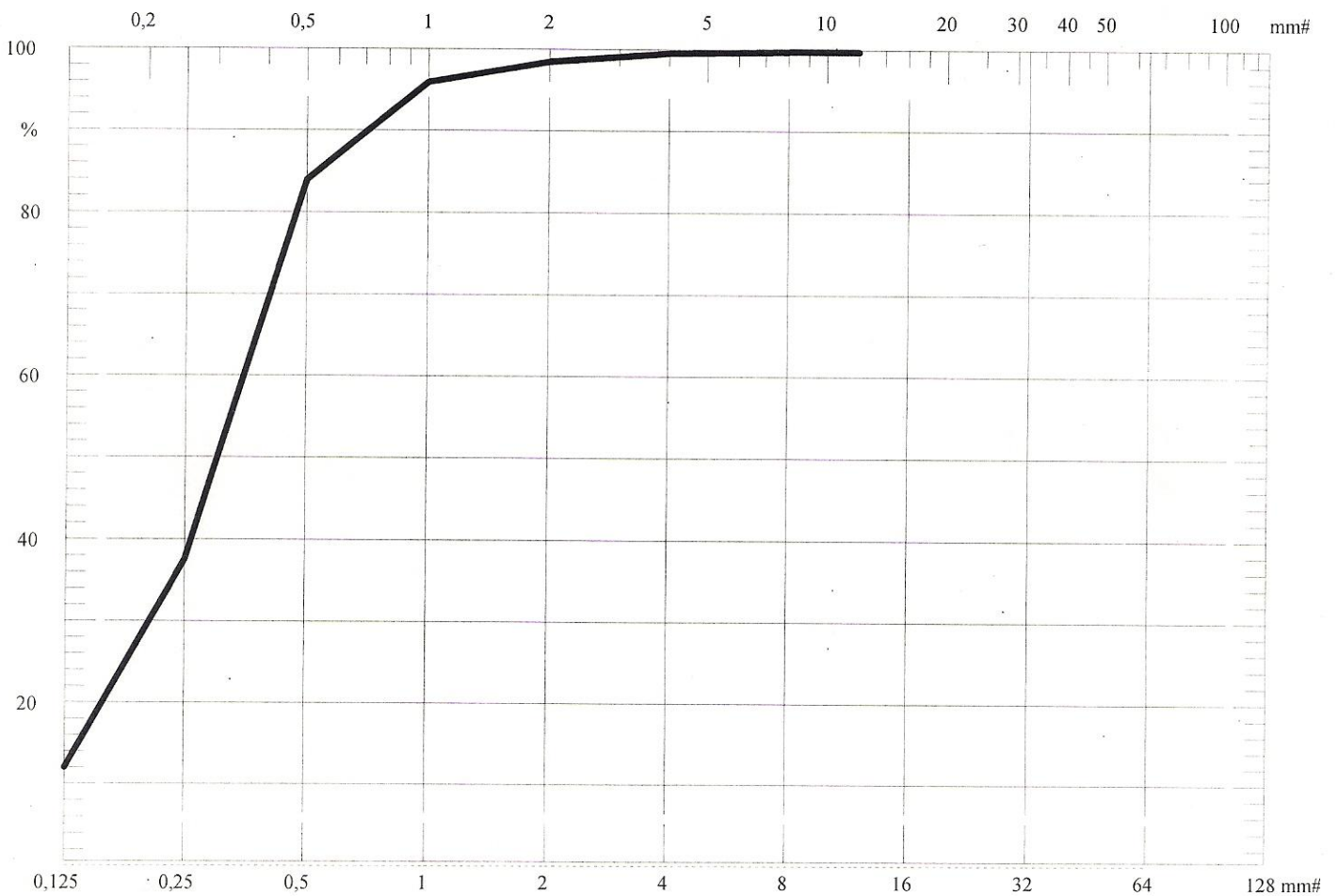
Huomio:
Päivämäärä: 23.2.2009 **Klo:** 13:35:04

Allekirjoitus: _____

Runkoaaine: FILL (kaikki samaan) **Seulomo:**
Näytteen märkäpaino: 451,7 g **Näytteen kuivapaino:** 424,2 g
Seulonnan päivämäärä: 23.2.2009 **Tiheys:** 0 kg/dm³

Humus	Liete%	Sepeli%	Kosteus%	0.125	0.25	0.5	1	2	4	6	8	12	16	32	64	H
0-I	0	0	6,5	11,9	37,6	84,1	96,2	98,7	99,8	99,9	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	1028,2

Runkoaineen 'FILL (kaikki samaan)' rakeisuuskäyrä



Näytteenottaja: Majju Sihvonen

Ottopaikka: Lujabetoni, Kuopio maatasku

Huomio:

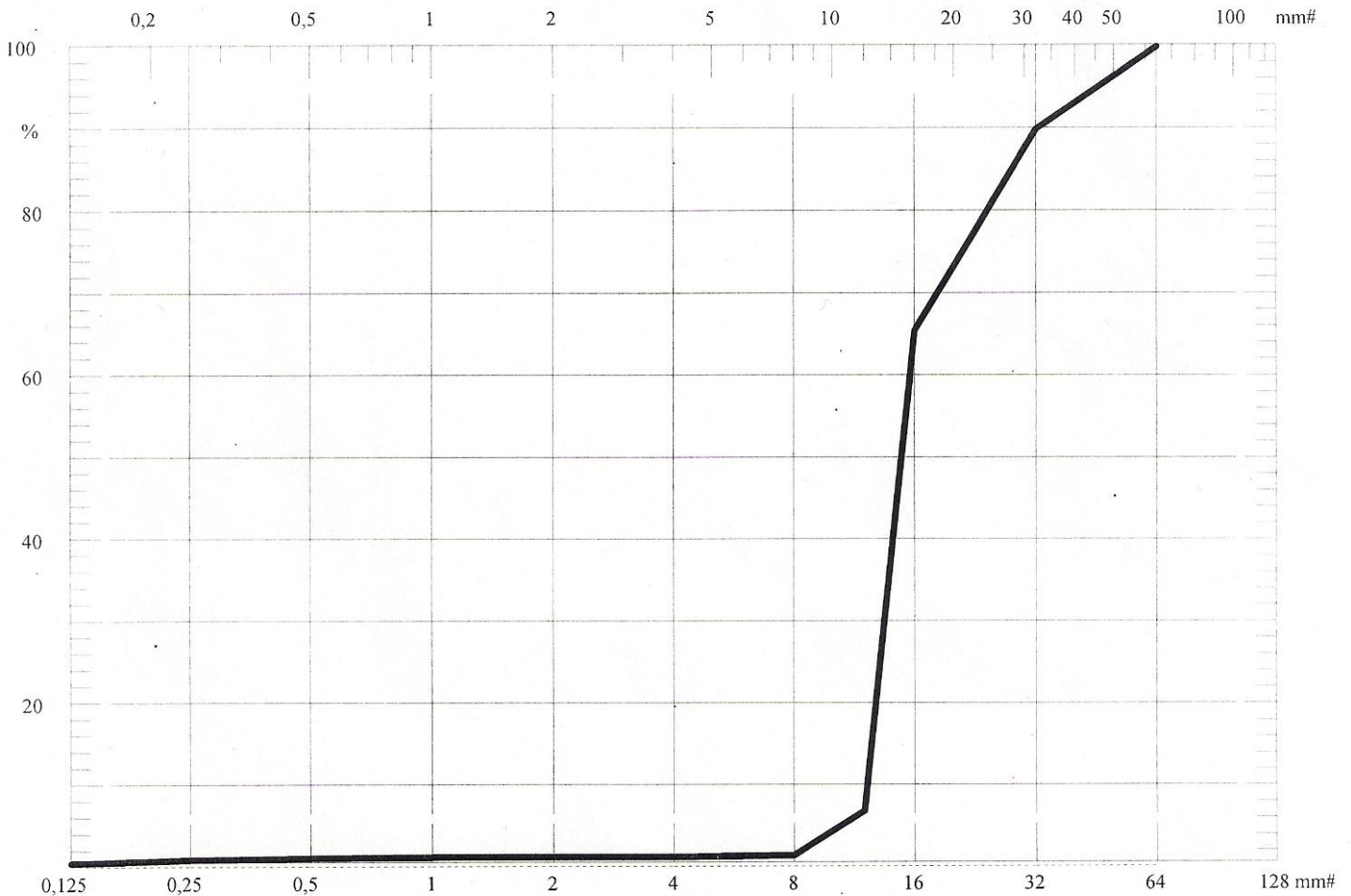
Päivämäärä: 23.2.2009 Klo: 13:37:24

Allekirjoitus: _____

Runkoaine: 12-18 KAIKKI SAMAAN **Seulomo:**
Näytteen märkäpaino: 1136,2 g **Näytteen kuivapaino:** 1131,1 g
Seulontan päivämäärä: 10.3.2009 **Tiheys:** 0 kg/dm³

Humus	Liete%	Sepeli%	Kosteus%	0.125	0.25	0.5	1	2	4	6	8	12	16	18	32	64	H
0-1	0	0	0,5	0,4	0,8	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,3	6,7	65,5	90,0	100,0	270,2	

Runkoaineen '12-18 KAIKKI SAMAAN' rakeisuuskäyrä


Näytteenottaja: Maiju Sihvonen

Ottopaikka: Lujabetoni, Siilinjärvi Siilo

Huomio:
Päivämäärä: 10.3.2009 **Klo:** 7:28:51

Allekirjoitus: _____

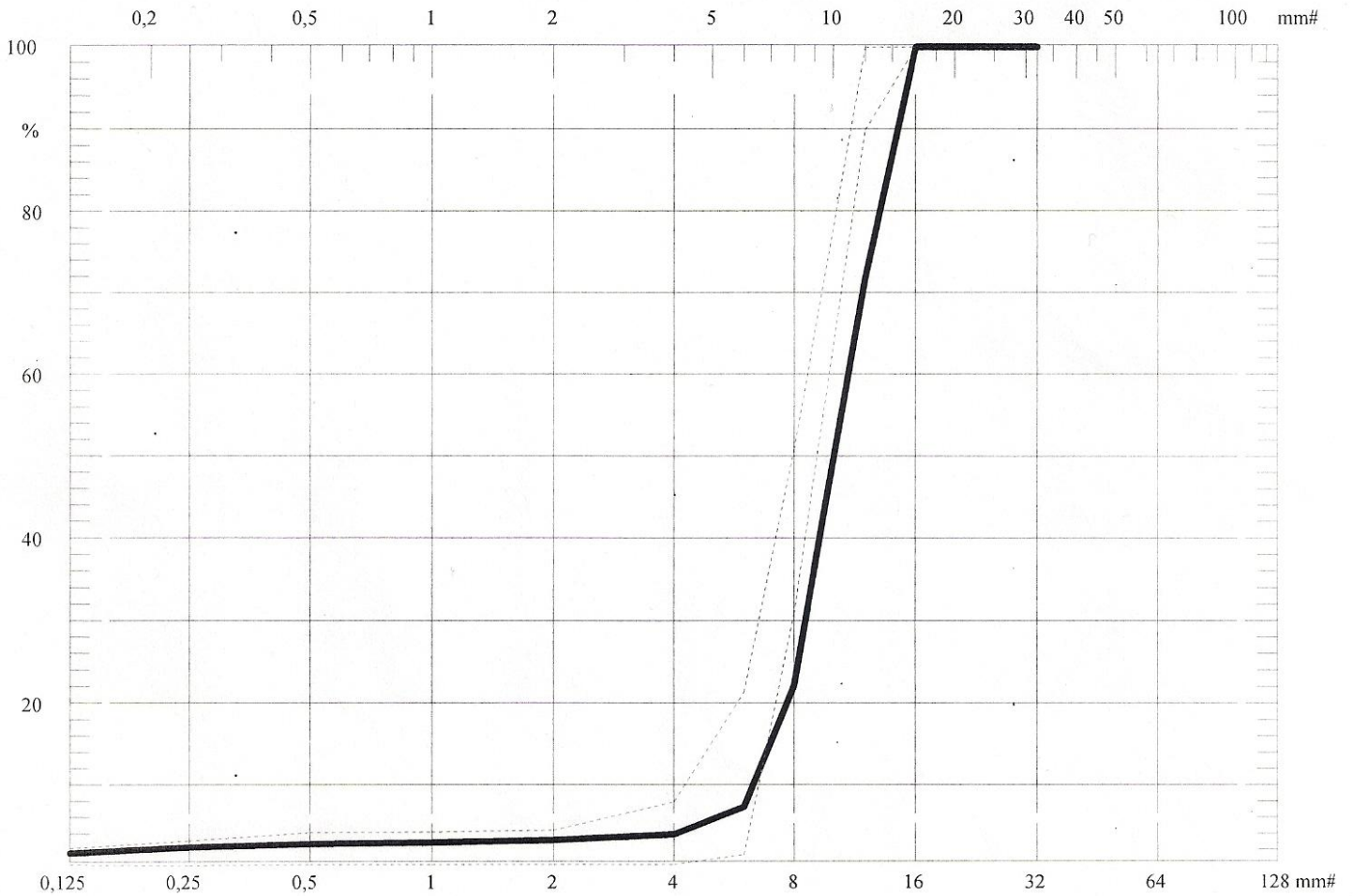
Runkoaine: 6-12 SJR UM **Seulomo:**

Näytteen märkápaino: 1008,7 g **Näytteen kuivapaino:** 989,8 g

Seulontan päivämäärä: 10.3.2009 **Tiheys:** 0 kg/dm³

Humus	Liete%	Sepeli%	Kosteus%	0.125	0.25	0.5	1	2	4	6	8	12	16	32	64	H
0-1	0	0	1,9	1,5	2,2	2,6	2,8	3,1	3,8	7,2	22,1	71,8	100,0	100,0	100,0	417,1

Runkoaineen '6-12 SJR UM' rakeisuuskäyrä



Näytteenottaja: Maiju Sihvonen

Ottopaikka: Lujabetoni, Siilinjärvi Siilo

Huomio:

Päivämäärä: 10.3.2009 **Klo:** 7:37:46

Allekirjoitus: _____

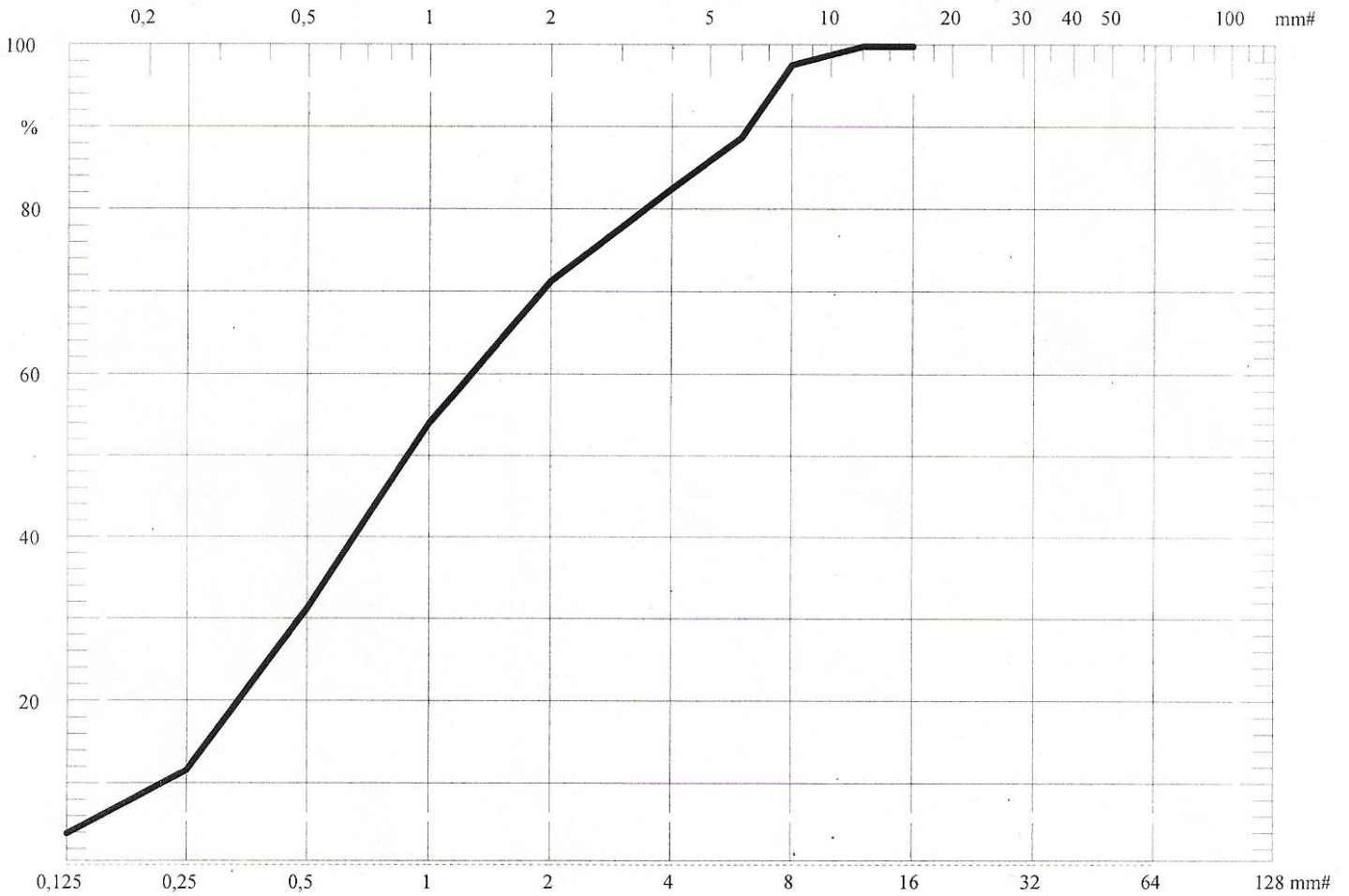
Runkoaine: 0-6 KUO+SJR UM **Seulomo:**

Näytteen märkäpaino: 600 g **Näytteen kuivapaino:** 573,3 g

Seulontan päivämäärä: 10.3.2009 **Tiheys:** 0 kg/dm³

Humus	Liete%	Sepeli%	Kosteus%	0.125	0.25	0.5	1	2	4	6	8	12	16	32	64	H
0-1	0	0	4,7	3,8	11,5	31,2	54,1	71,4	82,6	88,9	97,8	100,0	100,0	100,0	100,0	841,3

Runkoaineen '0-6 KUO+SJR UM' rakeisuuskäyrä



Näytteenottaja: Maiju Sihvonon

Ottopaikka: Lujabetoni, Siilinjärvi Siilo

Huomio:

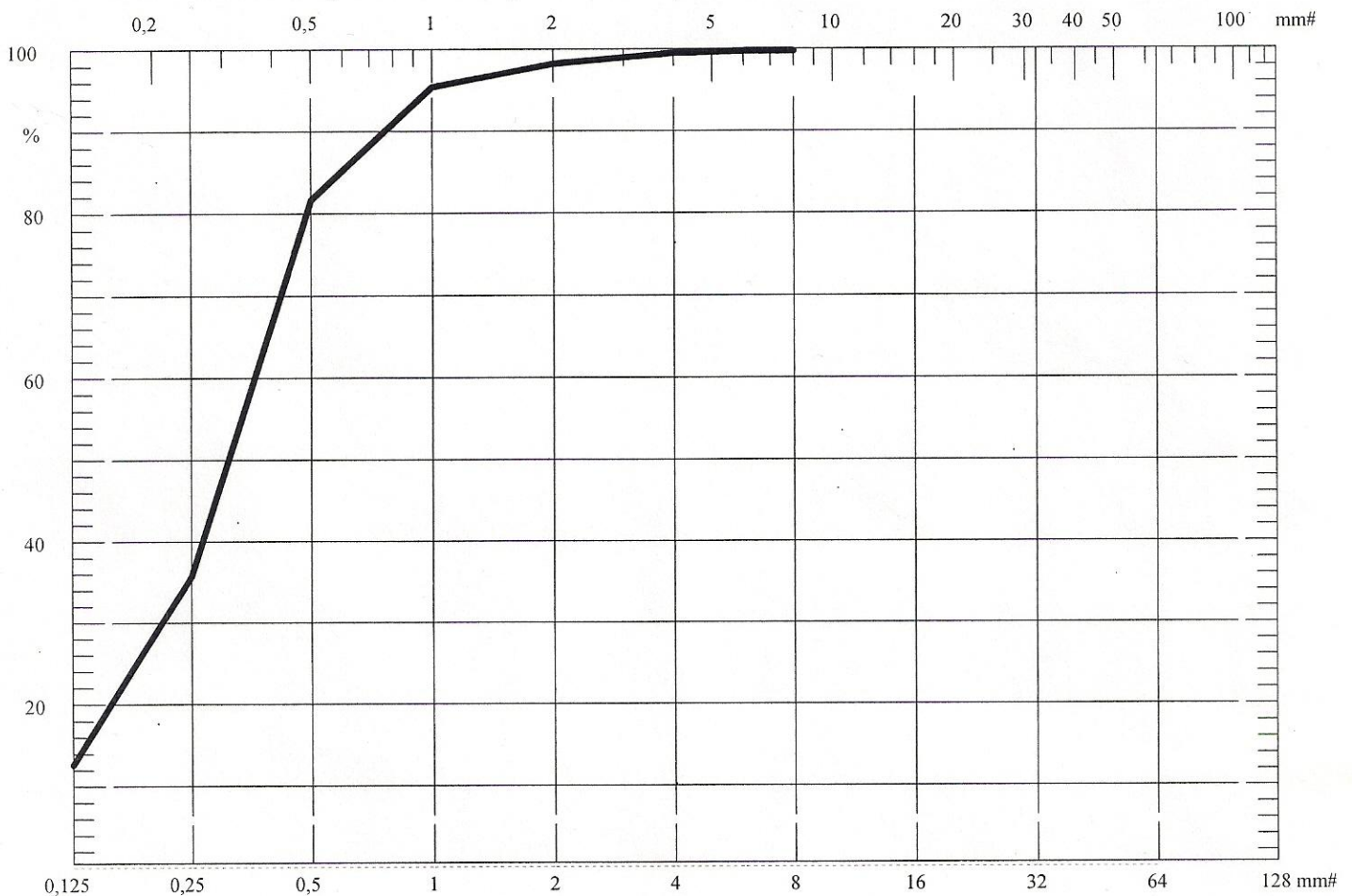
Päivämäärä: 10.3.2009 **Klo:** 7:34:02

Allekirjoitus: _____

Runkoaine: FILL (kaikki samaan) **Seulomo:**
Näytteen märkápaino: 454,1 g **Näytteen kuivapaino:** 418,8 g
Seulonnan päivämäärä: 10.3.2009 **Tiheys:** 0 kg/dm³

Humus	Liete%	Sepeli%	Kosteus%	0.125	0.25	0.5	1	2	4	6	8	12	16	32	64	H
0-1	0	0	8,4	12,6	35,8	81,8	95,7	98,5	99,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	1024,2

Runkoaineen 'FILL (kaikki samaan)' rakeisuuskäyrä


Näytteenottaja: Maiju Sihvonen

Ottopaikka: Lujabetoni, Siilinjärvi Siilo

Huomio:
Päivämäärä: 10.3.2009 **Klo:** 7:21:59

Allekirjoitus: _____

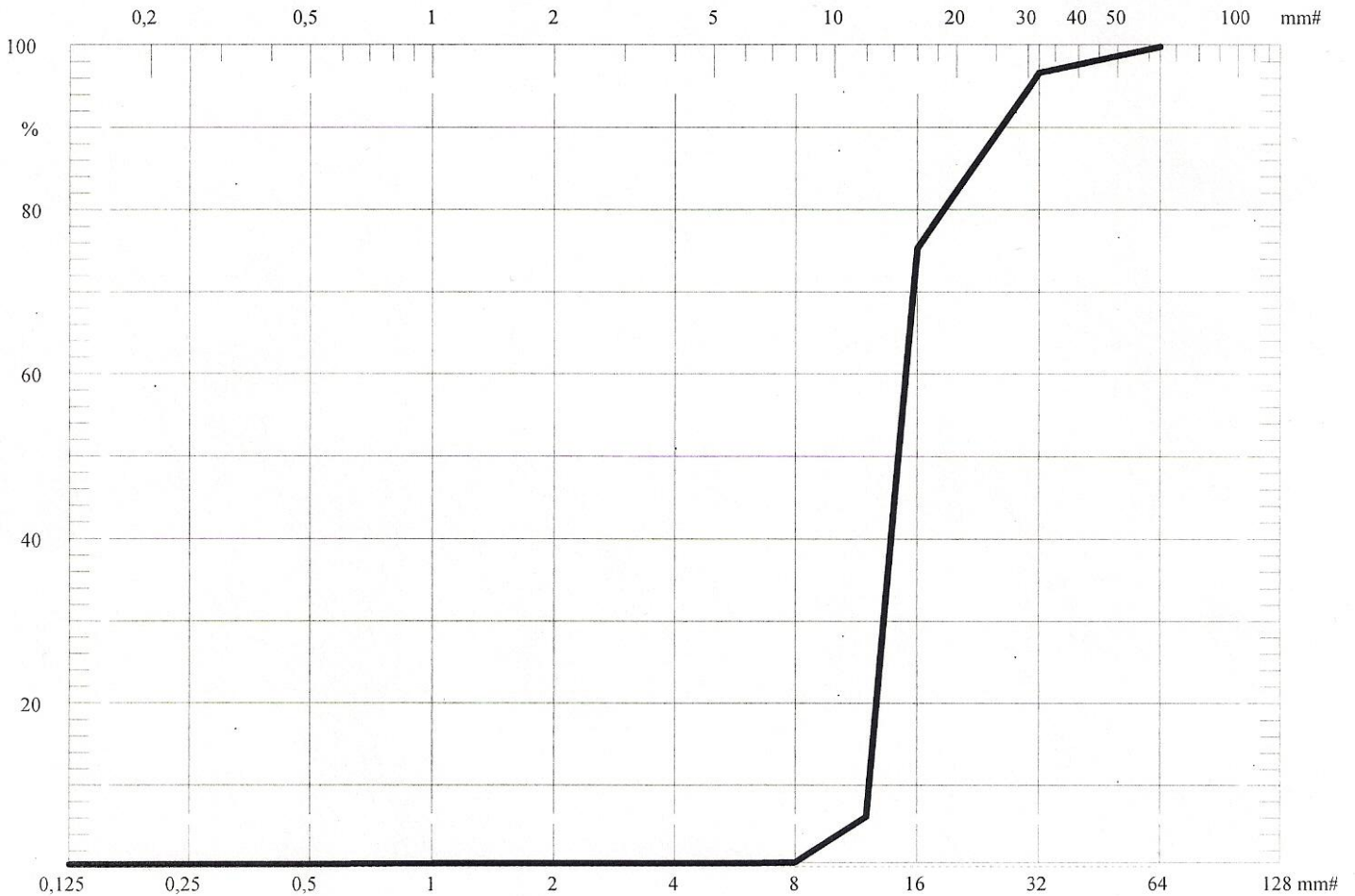
Runkoaine: 12-18 KAIKKI SAMAAN **Seulomo:**

Näytteen märkäpaino: 1146,4 g **Näytteen kuivapaino:** 1145,3 g

Seulontan päivämäärä: 16.3.2009 **Tiheys:** 0 kg/dm³

Humus	Liete%	Sepeli%	Kosteus%	0.125	0.25	0.5	1	2	4	6	8	12	16	32	64	H
0-I	0	0	0,1	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	6,1	75,5	96,9	100,0	281,5

Runkoaineen '12-18 KAIKKI SAMAAN' rakeisuuskäyrä



Näytteenottaja: Maiju Sihvonen

Otopaikka: Lujabetoni, Kuopio maatasku

Huomio:

Päivämäärä: 16.3.2009 **Klo:** 12:55:41

Allekirjoitus: _____

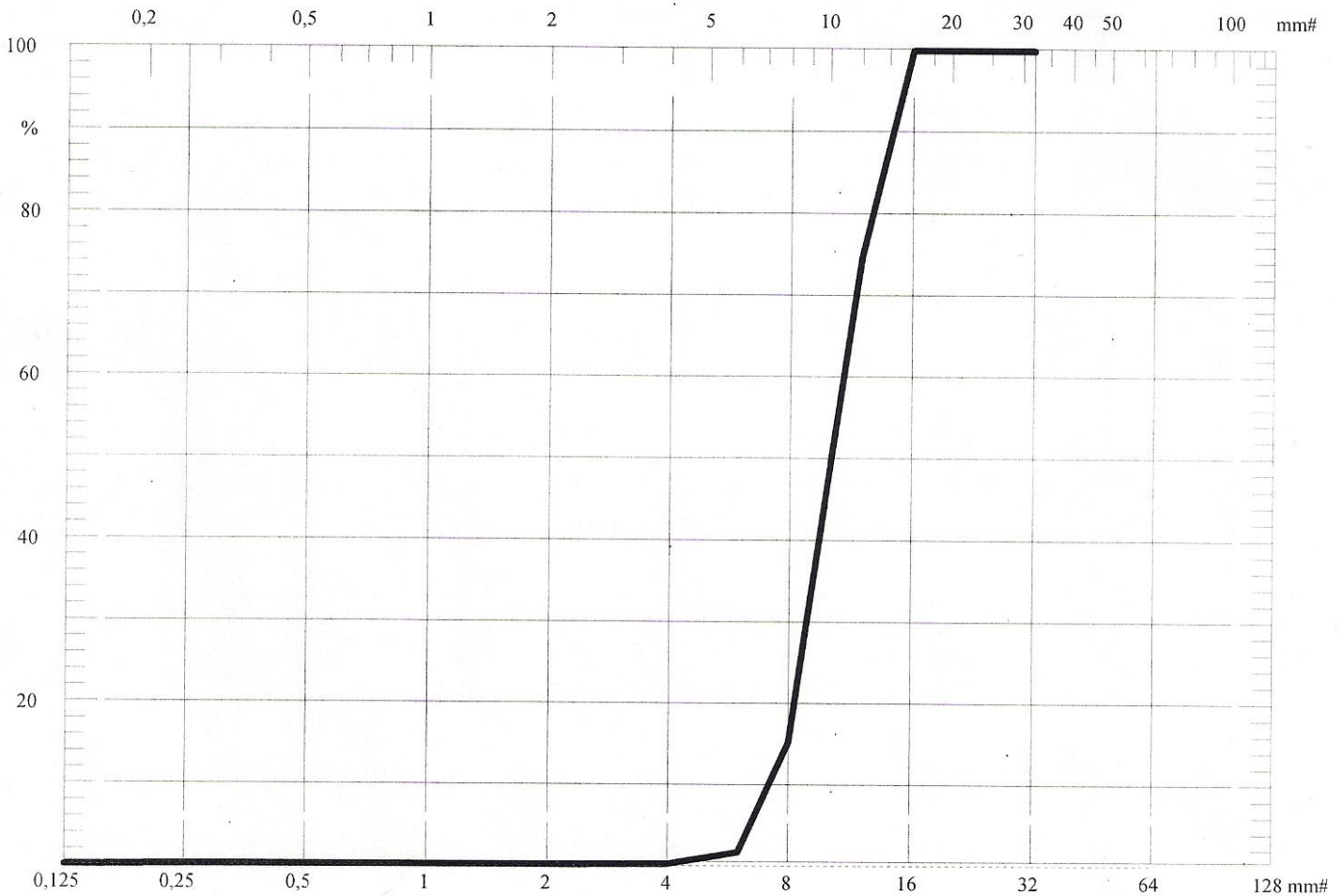
Runkoaine: 6-12 KUOPIO Seulomo:

Näytteen märkäpaino: 1030,9 g Näytteen kuivapaino: 1030,5 g

Seulontan päivämäärä: 16.3.2009 Tiheys: 0 kg/dm³

Humus	Liete%	Sepeli%	Kosteus%	0.125	0.25	0.5	1	2	4	6	8	12	16	32	64	H
0-1	0	0	0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	1,6	15,2	74,8	100,0	100,0	100,0	392,2

Runkoaineen '6-12 KUOPIO' rakeisuuskäyrä



Näytteenottaja: Maiju Sihvonen

Ottopaikka: Lujabetoni, Kuopio maatasku

Huomio:

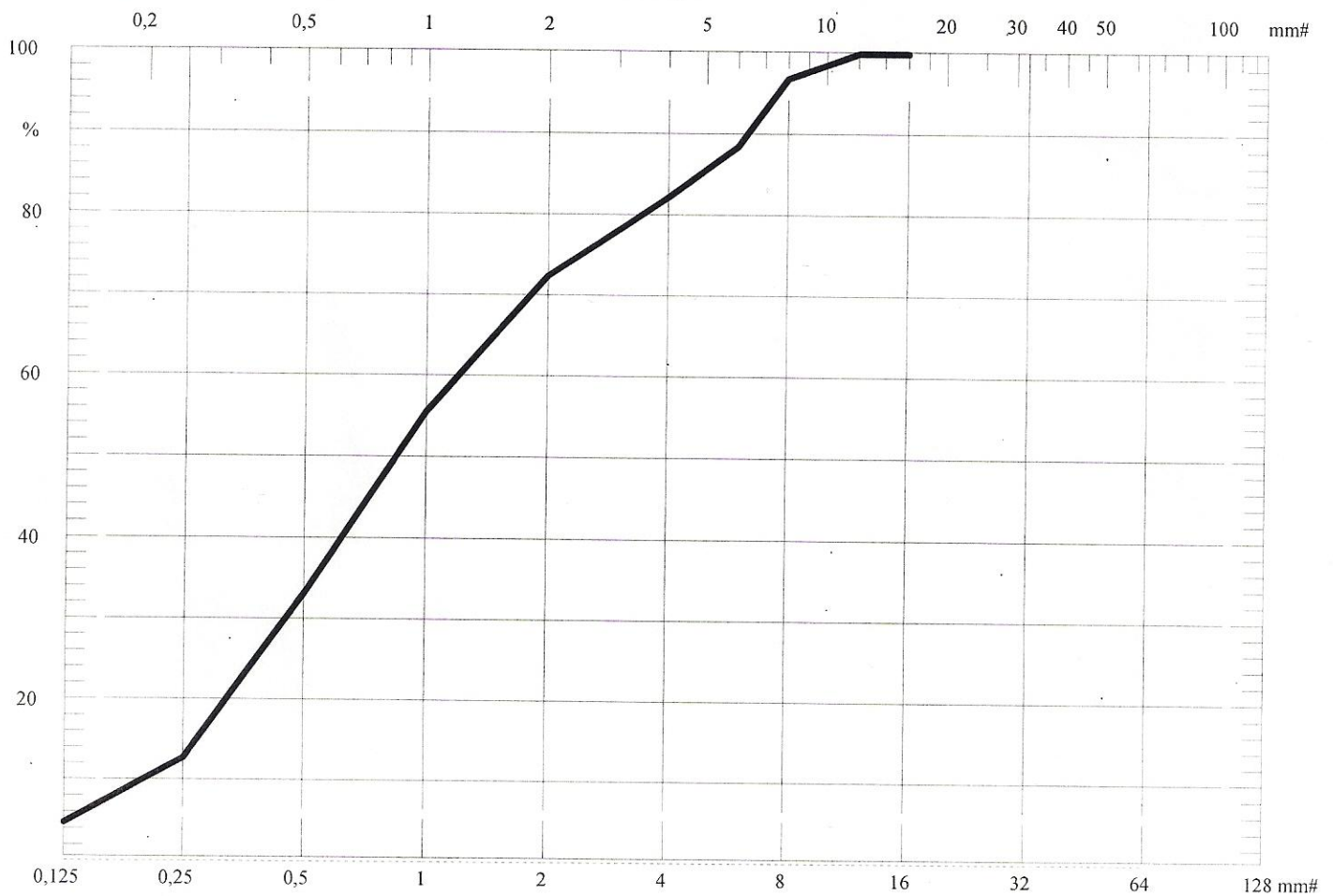
Päivämäärä: 16.3.2009 Klo: 13:03:28

Allekirjoitus: _____

Runkoaine: 0-6 SORA KUOPIO **Seulomo:**
Näytteen märkápaino: 651,9 g **Näytteen kuivapaino:** 626,6 g
Seulontan päivämäärä: 16.3.2009 **Tiheys:** 0 kg/dm³

Humus	Liete%	Sepeli%	Kosteus%	0.125	0.25	0.5	1	2	4	6	8	12	16	32	64	H
0-1	0	0	4	4,6	12,6	33,1	55,6	72,5	82,3	88,6	97,0	100,0	100,0	100,0	100,0	846,3

Runkoaineen '0-6 SORA KUOPIO' rakeisuuskäyrä



Näytteenottaja: Majju Sihvonen

Ottopaikka: Lujabetoni, Kuopio maatasku

Huomio:

Päivämäärä: 16.3.2009 **Klo:** 13:07:29

Allekirjoitus: _____

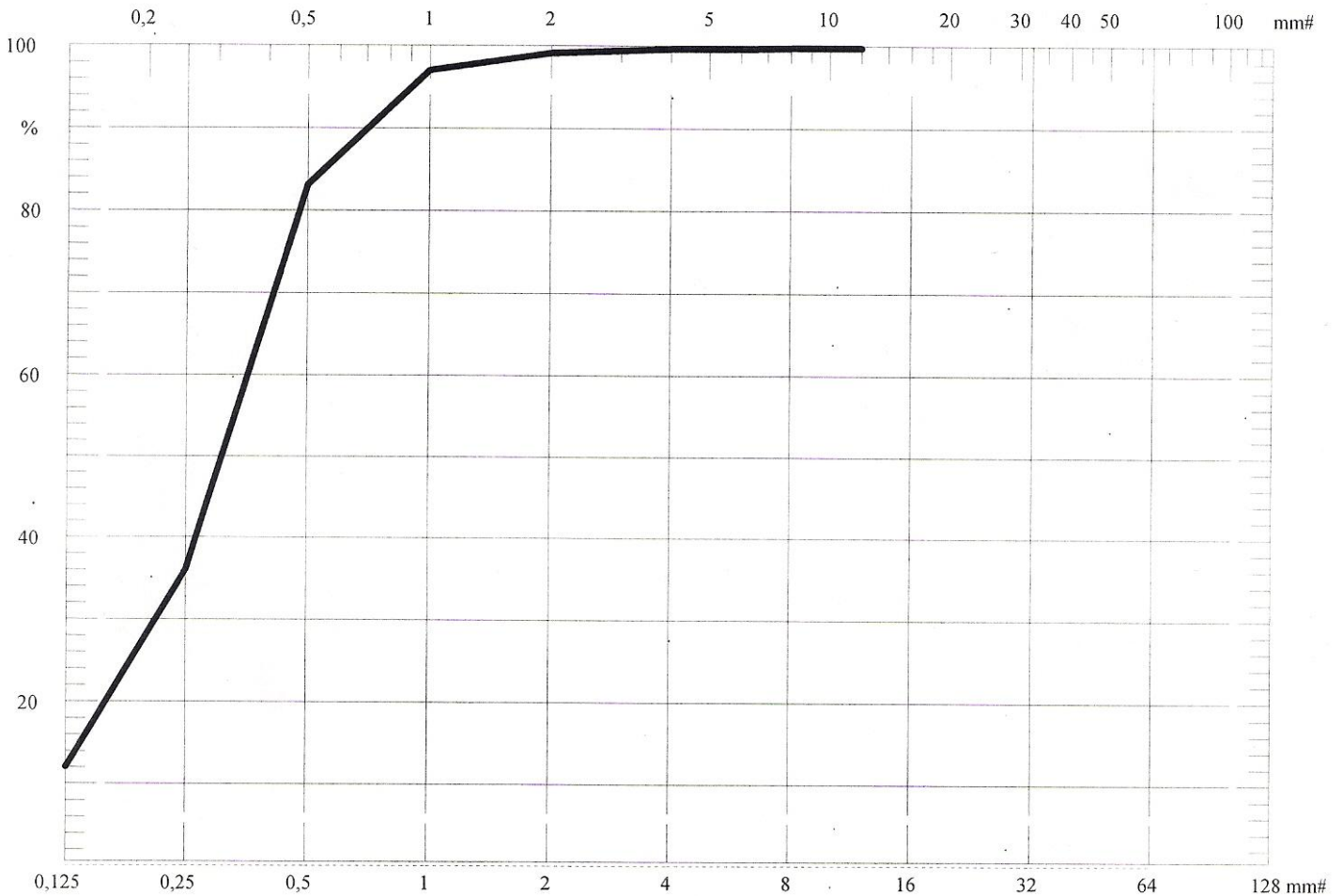
Runkoaine: FILL (kaikki samaan) **Seulomo:**

Näytteen märkäpaino: 450 g **Näytteen kuivapaino:** 418 g

Seulontan päivämäärä: 16.3.2009 **Tiheys:** 0 kg/dm³

Humus	Liete%	Sepeli%	Kosteus%	0.125	0.25	0.5	1	2	4	6	8	12	16	32	64	H
0-1	0	0	7,7	12,0	36,1	83,3	97,3	99,4	99,9	99,9	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	1027,9

Runkoaineen 'FILL (kaikki samaan)' rakeisuuskäyrä



Näytteenottaja: Maiju Sihvonen

Otopaikka: Lujabetoni, Kuopio maatasku

Huomio:

Päivämäärä: 16.3.2009 **Klo:** 13:12:13

Allekirjoitus: _____