

Toni Pyörälä

**MASUUNIKUONAJAUHEEN VAIKUTUS RAPIDSEMENTTI-  
LATTIABETONIN OMINAISUUKSIIN**

# **MASUUNIKUONAJAUHEEN VAIKUTUS RAPIDSEMENTTI- LATTIABETONIN OMINAISUUKSIIN**

Toni Pyörälä  
Opinnäytetyö  
Kevät 2017  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikka, Talonrakennus

---

Tekijä: Toni Pyörälä

Opinnäytetyön nimi: Masuunikuonajauheen vaikutus Rapidsementti-lattiabetonin ominaisuuksiin

Työn ohjaaja: Hannu Kääriäinen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2017

Sivumäärä: 46 + 5 liitettä

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Rapidsementti-masuunikuonajauheydistelmien soveltuvuus käytettäväksi lattiabetonia valmistettaessa. Samalla pyrittiin tutkimaan, olisiko tällaisilla massoilla mahdollista vähentää yleisesti lattiavaluissa syntyviä ongelmia ja saada aikaiseksi hyvä betonilaatu, joka soveltuisi hyvin tähän käyttötarkoitukseen. Opinnäytetyön aihe saatiin yrityksiltä Finnsementti Oy ja Ruskon Betoni Oy

Opinnäytetyössä tutkittiin erilaisilla seosainemäärillä valmistettuja koekappaleita sekä tuoreen massan ominaisuuksia erilaisilla standardinmukaisilla testeillä. Lisäksi tutkimusmenetelmänä käytettiin ei-standardoituja menetelmiä, kuten kalorimetriä betonimassan lämmöntuoton arviointiin. Plastisen vaiheen kutistumahalkeilun tutkimusmenetelmänä käytettiin koevaluna valettua 1 m<sup>2</sup>:n kokoista betonilaattaa, jonka kuivumisen aikana pintaan kohdistettiin kova ilmavirtaus plastisen vaiheen halkeamien synnyttämiseksi.

Opinnäytetyössä saatiin runsaasti vertailuarvoja normaalisti käytettävän sekä masuunikuonajauhetta sisältävien massojen ominaisuuksien määrittelemiseksi. Masuunikuonaa sisältävän betonin kutistuma jää huomattavasti pienemmäksi kuin pelkällä Rapidsementillä tehty massa. Lisäksi kuonaa käytettäessä myös plastisen vaiheen kutistumahalkeilun määrä jää pienemmäksi. Lujuudenkehitys on hitaampaa, mutta koska yleisesti lattiavaluissa käytetään normaalisti kovettuvaa sementtiä, ei alkuvaiheen lujuudenkehitys todennäköisesti poikkea tällaisen massan lujuudenkehityksestä kovinkaan paljoa.

Saatujen tutkimustulosten perusteella voidaan Rapidsementti-masuunikuonajauhebetonia käyttää lattiavaluissa, mutta koska tässä opinnäytetyössä tutkitaan massoja, jotka on valmistettu yhdellä runkoainetyypillä, tulee masuunikuonaa Rapidsementin seosaineena käytettäessä massa ennakkotestata ennen varsinaista valua ongelmien välttämiseksi, mikäli massan suhteitusta tai käytettäviä aineosia muutetaan.

---

Asiasanat: betoni, kutistuma, rapidsementti, masuunikuona

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Civil Engineering, House Building Engineering

---

Author: Toni Pyörälä

Title of thesis: Effects of ground blast furnace slag on the properties of Rapidsementti floor concrete mixes

Supervisor: Hannu Kääriäinen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2017

Pages: 46 + 5 appendices

---

The aim of this thesis was to find out if Rapidsementti and ground blast furnace slag could be used together to create a good concrete mix to make concrete floor slabs and surface slabs while reducing the problems often encountered during concreting and hardening of concrete. The clients for this thesis were the companies Finnsementti Oy and Ruskon Betoni Oy.

Different kinds of concrete mix recipes were studied by manufacturing test samples of different kinds and testing the properties of the unhardened concrete with standardized and unstandardized tests. Heat production of the concrete during hardening was tested by using an adiabatic calorimeter and the plastic shrinkage cracking of the concrete was tested by making a 1 m<sup>2</sup> concrete slab, that was exposed to extreme air flow by using a fan during the first 24 hours of setting.

Lots of comparable values and results were gained during the thesis that can be used to differentiate between different kinds of concrete mixes and their properties. The use of ground blast furnace slag lowered the amount of shrinkage of the concrete when compared to concrete made without it. The plastic shrinkage cracking was reduced by adding slag to the mix. The hardening of concrete is slowed by adding slag, but compared to regular non-rapid cement concrete mixes, the speed of hardening is comparable, which means it is not a huge concern.

The results show that you can use concrete mixes made with Rapidsementti and ground furnace slag and doing so might solve some of the problems often encountered during floor concreting. If the results from this thesis are to be used, the concrete mix used should be pre-tested to avoid problems during the actual concreting, since this thesis only contained a single type of aggregate and changing it might change the properties of the resulting concrete and its properties.

---

Keywords: concrete, plastic shrinkage cracking, ground furnace slag, shrinkage

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	1
ABSTRACT	2
SISÄLLYSLUETTELO	3
1 JOHDANTO	5
2 BETONIN OSA-AINEET	6
2.1 Betoni	6
2.2 Kiviaines	6
2.3 Sementti	7
2.4 Vesi	9
2.5 Lisäaineet	9
2.6 Seosaineet	10
2.6.1 Lentotuhka	12
2.6.2 Masuunikuonajauhe	13
2.6.3 Silika	13
2.7 Kuidut	14
3 TYÖLLE OLENNAISET BETONIN OMINAISUUDET	16
3.1 Betonin lujuus	16
3.2 Sitoutumisnopeus	16
3.3 Betonin kutistuma ja kutistumahalkeilu	17
3.3.1 Kuivumiskutistuma	18
3.3.2 Plastinen kutistuma	19
3.3.3 Autogeeninen kutistuma	20
3.3.4 Halkeilun syyt ja hallinta	22
3.4 Vedenerottuma	23
4 BETONIKOKEET	25
4.1 Betonimassojen ja koekappaleiden valmistus	25
4.2 Tuoreen betonin testaus	27
4.2.1 Painuma	27
4.2.2 Vedenerottuma	28

4.2.3 Lämmöntuotto	28
4.2.4 Tärytysraja	29
4.3 Kovettuneen betonin testaus	30
4.3.1 Puristuslujuus	30
4.3.2 Kuivumiskutistuma	31
4.3.3 Estetyn kutistuman laatta	32
5 LABORATORIOTESTIEN TULOKSET	34
5.1 Tuore betonimassa	34
5.2 Kovettunut betoni	36
5.2.1 Puristuslujuus	36
5.2.2 Kuivumiskutistuma	37
5.3 Laattakokeet	38
6 LABORATORIOTULOSTEN JOHTOPÄÄTÖKSET	41
7 POHDINTA	43
LIITTEET	45
LÄHTEET	46

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, millä tavalla erilaiset seosaineet, kuten tässä työssä masuunikuona, vaikuttavat tietyllä sideaineella valmistetun valubetonilattian ja julkisivun ominaisuuksiin (kuivumisaika, kulutuskestävyys, kutistuma) ja betonimassan erilaisiin ominaisuuksiin kuten työstettävyyteen, vedenerottumiseen sekä plastiseen halkeiluun.

Opinnäytetyö rajattiin neljään valmistettavaan massaan, joista jokaisesta valettiin samanlaiset testikappaleet ja valun yhteydessä tehtiin jokaiselle valettavalle massalle tuoreen betonin ominaisuuksien määrittäykset. Työn aluksi päätettiin testattaville massoille seossuhteet, joita haluttiin testata. Tämän jälkeen valmistettiin valituista seosaineista ja seossuhteista kovettuneen betonin testaukseen vaadittavat koekappaleet. Lisäksi koekappaleiden valmistuksen yhteydessä testattiin tuoreen betonimassan ominaisuuksia.

Työn tilaajat Finnsementti Oy sekä Ruskon Betoni Oy halusivat selvittää, voisiko lattiabetonivaluissa ilmenneitä ongelmia välttää käyttämällä betonimassan sideaineena Rapidsementtiä ja korvata osan siitä masuunikuonajauheella.

## **2 BETONIN OSA-AINEET**

### **2.1 Betoni**

Betoni on maailman käytetyin rakennusmateriaali. Sitä valmistetaan vuosittain noin 13 miljardia kuutiometriä, eli noin kaksi kuutiometriä maailman jokaista asukasta kohti. Betonia voidaan käyttää sekä infra- että talonrakentamisessakin. Se sopii käytettäväksi rakennusten runkomateriaalina, ala- ja yläpohjiin, julkisivuihin, tukimuureihin, siltoihin ja lukemattomiin muihin tarkoituksiin. (6.)

Betonia voidaan käyttää sekä paikallaanvalettuna, että valmiiksi tehtaalla valmistettuina elementteinä. Betonilta vaadittavat ominaisuudet tulee valita käyttökohteen ja ympäristöolosuhteiden mukaan. (6.)

### **2.2 Kiviaines**

Betonin valmistuksessa käytetty kiviaines on uusiutumaton, mutta käytännössä paitsi katoamaton myös täysin ehtymätön luonnonvara. Betoniteollisuudessa käytettävä kiviaines on Suomessa yleensä joko jääkauden aiheuttamista harjumuodostelmista kaivettua ja seulottua sora- tai kalliosta räjäyttämällä irrotettua ja murskaamalla oikeankokoiseksi saatua kalliomurskettä. Kalliosta irrotetun kiviaineksen osuus on nykyään Suomessa käytetystä kiviaineksestä noin 50 prosenttia, kun se vielä viisitoista vuotta sitten oli vain noin 20 prosenttia, tämä muutos johtuu suurimmaksi osaksi rakentamisalueiden ympäristössä olevien soravarantojen ehtymisestä ja sora-alueiden ottoehtojen kiristymisestä. (6.)

Runkoaineena voidaan käyttää kiviaineksen sijaan myös erilaisia korvaavia aineita, kuten kevytsoraa tai tiili- ja betonimurskaa. (7, s. 31.)

Betonissa käytettävän kiviaineksen tulee täyttää standardin SFS-EN 12620 ehdot, sekä niiden tulee olla CE-merkittyjä ja tarkistettuja. Jos kiviaines ei ole CE-merkitty, tulee betonin valmistajan huolehtia siitä, että standardiin liittyvät laatustandardien vaatimukset täyttyvät. (8, s. 99)



## 2.3 Sementti

Sementti eli portland-sementti on maailman yleisin betonissa käytettävä sideaine. Sementin pääraaka-aineena on kalkkikivi, jota esiintyy kaikissa maanosissa sekä lähes kaikissa maissa. Sementtiklinkkeri koostuu pääasiallisesti viidestä alkuaineesta: hapestä (O), piistä (Si), alumiinista (Al), raudasta (Fe) sekä kalsiumista (Ca). Ne ovat myös maankuoren viisi yleisintä alkuainetta. (9, s. 9)

Suomessa sementin valmistukseen käytettävä valkoinen tai harmaa kiteinen kalkkikivi on kovempaa kuin esimerkiksi Keski-Euroopan maista löytyvä kalkkikivi, joten sen murskaamiseen vaadittava energiamäärä on suurempi. (9, s. 9.)

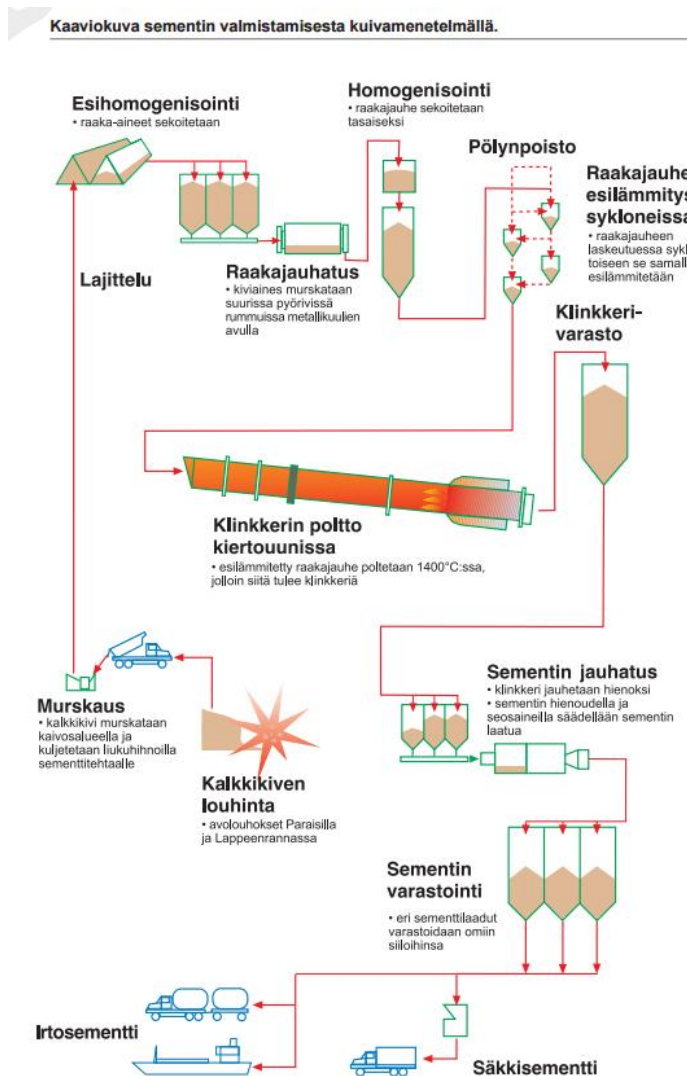
TAULUKKO 1. Suomessa sallittujen sementtien koostumusvaatimukset (9. s.23)

Sementtilaji	Koostumusvaatimukset (%)					
	Klinkkeri	Kuona	Silika	Lentotuhka	Kalkkikivi	Muut
CEM I	95-100	-	-	-	-	0-5
CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	0-5
CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	0-5
CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	0-5
CEM II/A-V	80-94	-	-	6-20	-	0-5
CEM II/B-V	65-79	-	-	21-35	-	0-5
CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	6-20	0-5
CEM II/A-M	80-94	6-20				0-5
CEM II/B-M	65-79	21-35				0-5
CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	0-5
CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	0-5

Tavallisten sementtien koostumus- ja laatuvaatimukset määrittelee Suomessa standardi SFS-EN 197-1. Vaatimukset on esitetty taulukossa 1. Sementit yksilöidään käyttäen sementtilajin tunnusta (sisältää seosainetunnuksen), lujuusluokan ilmoittavan lukua sekä varhaislujuutta kuvaavaa kirjainta. Standardin käyttämiä lyhenteitä seosaineista ovat: masuunikuona (S), kalkkikivi (L tai LL), silika (D), pozzolaanit (P tai Q), lentotuhka (V tai W) ja poltettu liuske

(T). Varhaislujuusluokissa N tarkoittaa normaalia varhaislujuutta ja R korkeaa varhaislujuutta. (9, s. 21-29.)

Rakennussementit valmistetaan jauhamalla klinkkeriä, seosaineita ja kipsiä kuulamylyllä hienoksi jauheeksi. Seosaineina käytetään kalkkikiveä ja granuloitua masuunikuonaa. Sementin sitomisajan säätämiseksi siihen lisätään kipsiä. Rakennussementtien ominaisuuksia voidaan säädellä klinkkerin koostumuksella, jauhatushienoudella ja seosaineiden suhteilla. Kuvassa 1 esitetään sementin valmistamisketju aina raaka-aineen louhinnasta toimitukseen saakka. (9, s. 14)



KUVA 1. Sementin valmistusketju vaiheittain (9, s. 14.)

Sementti on betonin tärkein raaka-aine. Sementin ja veden sekoittumisen jälkeen alkaa sitoutuminen, jolloin betonimassassa alkaa kemiallinen reaktio, jossa massan sisältämä sementti ja vesi muodostavat kovan huokoisen mineraalin. Syntyvä sementtipasta kiinnittää runkoaineen sekä mahdollisen raudoituksen toisiinsa, muodostaen yhtenäisen keinotekoisin kiven eli betonin. (10.)

Tässä opinnäytetyössä käytettävä sementti on tuotemerkiltään Finnsementin Rapidsementtiä, joka on tavanomaista sementtiä nopeammin kovettuva portland-seossementti. Rapidsementti sisältää 6-20 prosenttia kalkkikiveä ja se luokitellaan standardin SFS-EN 197-1 mukaisesti luokkaan CEM II/A-LL 42,5 R. Rapidsementtiä käytetään yleisesti talvibetonointiin, elementtituotantoon sekä valmisbetoniin, mutta myös sellaisissa kohteissa, joissa vaaditaan betonilta normaalia nopeampaa lujuuden kehittymistä. (11.)

## **2.4 Vesi**

Tavallinen juomavesi soveltuu betonin valmistukseen. Mikäli vesi sisältää humusta, sitä ei tulisi käyttää, koska se hidastaa sementin kovettumisreaktiota. Erityisesti on vältettävä käyttämästä sokereita sisältävää vettä, jotka pieninäkin pitoisuuksina hidastavat kovettumista voimakkaasti, tai jopa estävät betonin kovettumisen täysin. (6.)

## **2.5 Lisäaineet**

Betonin ominaisuuksien säätelyä voidaan tehdä käyttämällä erilaisia lisäaineita. Betonin lisäaineena käytetään yleensä erilaisia polymeerejä, joiden avulla voidaan säädellä esimerkiksi betonin notkeutta, ilmapitoisuutta tai kovettumisen nopeutta. (6.)

Lisäaineiden käyttö rajoittuu pääosin vaativiin olosuhteisiin, kuten sää- tai kemikaalirasitukseen tuleviin betoneihin. Rakennusten sisälle tulevat betonilaadut valmistetaan osin ilman lisäaineita. Muun muassa useat

paikallavalubetonit sekä seinäelementeissä käytettävät betonit voidaan valmistaa ilman lisäaineita. (6.)

Nykyään yleistynyt itsetiivistyvä betoni, josta suuri osa betonielementeistä valmistetaan, vaatii notkistimen käyttöä. Betonin notkistimena käytetään nykyään erilaisia polykarboksylaatteja, jotka ovat vesiliukoisia polymeerejä. Lisäaineen tehtävä on erottaa sementtipartikkelit toisistaan, täten parantaen betonin juoksevuuutta lisäämättä seokseen ylimääräistä vettä. Annostelumäärät polykarboksylaateilla ovat tyypillisesti välillä 0...1 kg/betoni-m<sup>3</sup>. Lisäaineiden annostelu betoniin tapahtuu sekoittamalla notkistin veteen ja lisäämällä tämä seos betonimassaan. (6.)

Toinen usein käytetty betonin lisäaine on lisähuokostin, jota käytetään mikroskooppisten ilmakuplien lisäämiseen valmiiseen betoniin. Nämä ns. suojahuokokset mahdollistavat betonin jäätyessä laajenevan veden tunkeutumisen huokosiin, mikä estää betonin vaurioitumisen veden laajenemisen seurauksena. Tällä tavalla voidaan varmistaa betonin pakkasenkestävyys. (6.)

## **2.6 Seosaineet**

Betonin valmistuksessa voidaan side- ja runkoaineena käyttää mineraalisia seosaineita, joita ovat lentotuhka, granuloitu masuunikuona ja silika. Näitä seosaineita käyttämällä voidaan vaikuttaa sekä betonimassan että valmiin kovettuneen betonin ominaisuuksiin. (7. s. 59)

Seuraavasta betoninormeissa olevasta taulukosta 2 voidaan nähdä eri rasisusluokissa käytettävien seosaineiden lisäainekertoimet, joita käytetään betonimassan suhteituksessa. (8.)

Taulukko 2-FI Betonin sideaineelle asetettavat vaatimukset

	Rasitusluokat																	
	Ei korroosion tai rasituksen vaaraa	Karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio				Kloridien aiheuttama korroosio						Jäätymis-sulamis-rasitus				Aggressiivinen kemiallinen rasitus		
						Merivesi			Kloridit muusta kuin merivedestä									
		X0	XC 1	XC 2	XC3	XC 4	XS1	XS 2	XS 3	XD 1	XD 2	XD 3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2
Sallitut sementtityypit	Ei säilyvyyden aiheuttamia rajoituksia. Kaikki standardin SFS-EN 197-1 mukaiset sementit ovat sallittuja.	Ei säilyvyyden aiheuttamia rajoituksia. Kaikki standardin SFS-EN 197-1 mukaiset sementit ovat sallittuja.	I IIA-S IIB-S IIA-D IIA-V IIB-V	I IIA-S IIB-S IIA-D IIA-V IIB-V	I IIA-S IIB-S IIA-D IIA-V IIB-V	I IIA-S IIB-S IIA-D IIA-V IIB-V	I IIA-S IIB-S IIA-D IIA-V IIB-V	I IIA-S IIB-S IIA-D IIA-V IIB-V	I IIA-S IIB-S IIA-D IIA-V IIB-V	I IIA-S IIB-S IIA-D IIA-V IIB-V	I IIA-S IIB-S IIA-D IIA-V IIB-V	I IIA-S IIB-S IIA-D IIA-V IIB-V	I IIA-S IIB-S IIA-D IIA-V IIB-V	I IIA-S IIB-S IIA-D IIA-V IIB-V	I IIA-S IIB-S IIA-D IIA-V IIB-V	<sup>1)</sup>	<sup>2)</sup>	<sup>1)</sup>
Seosainekertoimet:																		
Silika w/c ≤ 0,45	2,00			2,00			2,00			2,00		2,00		2,00				2,00
w/c > 0,45	1,00			1,00			1,00			1,00		1,00		1,00				1,00
Lentotuhka <sup>4)</sup>	1,00			0,40			0,40			0,40		0,40		0,40				0,40
Masuunikuona	1,00			0,80			1,00			1,00		1,00		0,80				0,80 (1,00)
Esimerkkejä sallituista seosainekertoimien enimmäisiläykyistä %-osuuksina sementin CEM I painosta <sup>5)</sup>																		
Seosaine:	X0	XC 1	XC 2	XC3	XC 4	XS1	XS 2	XS 3	XD 1	XD 2	XD 3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Silika	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	<sup>2)</sup>	<sup>2)</sup>
Lentotuhka	100	100	45	45	30	45	30	30	45	30	30	45	30	45	30	45	<sup>2)</sup>	<sup>2)</sup>
Masuunikuona	1900	1900	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375	100	375	<sup>2)</sup>	<sup>2)</sup>

- 1) Sulfaattipitoisessa ympäristössä käytetään SFS-EN 197-1 mukaisen luokan SR3 mukaista sulfaatinkestävää sideainetaaementtia.
- 2) Suunnittelija valitsee käytettävän sideainen välittävän kemiallisen rasituksen mukaan.
- 3) Kalkkiviijauheen osuus enintään 15 %
- 4) Lentotuhkan aktiivisuuskertoimen arvona pidetään 0 siltä osin, kun tuhkan ja sementin paino-osuuksien suhde ylittää arvon 0,33 rasitusluokkia XC2, XC3, XC4, XF2, XF4, XS-, XD- ja XA-luokissa siltä osin, kun tuhkan ja sementin paino-osuuksien suhde alittaa arvon 0,33. Muutoin aktiivisuuskertoimen arvona pidetään näissä luokissa 0.
- 5) Kaikki sallittujen sementtien ja seosainekertoimien yhdistelmät ovat sallittuja, kunhan seoksen koostumus täyttää sallittujen sementtien koostumukselle standardissa SFS-EN 197-1 asetetut vaatimukset.

**TAULUKKO 2. Eri rasitusluokissa sallitut sementit ja käytettävien seosainekertoimien suhteitusta varten (8.)**

Suurimmat sallitut seosainemäärät käytettäväksi betonimassan valmistuksessa voidaan laskea taulukossa 3 ilmoitetuilla kaavoilla.

Taulukko 3.3. Betonin valmistuksessa suurimmat sallitut seosainelisäykset lasketaan seuraavista kaavoista.

Rasitusluokka	Suurin sallittu seosainelisäys [%]		
	Masuunikuona	Lentotuhka	Silika
X0 XC1	$\frac{(100 - k_{s_1} - 0,053k_s) - 1,00lt - 9,0sil}{0,053}$	$\frac{(100 - k_{s_1} - 1,00lt_s) - 0,053k - 9,0sil}{1,00}$	$\frac{(100 - k_{s_1} - 9,0sil_s) - 0,053k - 1,00lt}{9,0}$
XC2, XC3 XC4, XS1 XS2, XD1 XD2, XF1 XF3, XA1	$\frac{(100 - k_{s_1} - 0,25k_s) - 2,22lt - 9,0sil}{0,25}$	$\frac{(100 - k_{s_1} - 2,22lt_s) - 0,25k - 9,0sil}{2,22}$	$\frac{(100 - k_{s_1} - 9,0sil_s) - 0,25k - 2,22lt}{9,0}$
XS3 XD3	$\frac{(100 - k_{s_1} - 0,25k_s) - 2,22lt - 9,0sil}{0,25}$	$\frac{(100 - k_{s_1} - 3,33lt_s) - 0,25k - 9,0sil}{3,33}$	$\frac{(100 - k_{s_1} - 9,0sil_s) - 0,25k - 2,22lt}{9,0}$
XF2, XF4	Vaatimukset InfraRYL kohdan 42020.1.2 mukaan		

Taulukossa on käytetty seuraavia merkintöjä:

- Kaikki annostusprosentit lasketaan alkuperäisestä sementistä,  
 $k_{s_1}$  on sementin sisältämien kaikkien seosaineiden summa [%]  
 $k_s$  on sementin sisältämä kuona [%]  
 $lt_s$  on sementin sisältämä lentotuhka [%]  
 $sil_s$  on sementin sisältämä silika [%]  
 $k$  on sementin sisältämän ja lisätyn kuonan yhteismäärä [%]  
 $lt$  on sementin sisältämän ja lisätyn lentotuhkan yhteismäärä [%]  
 $sil$  on sementin sisältämän ja lisätyn silikan yhteismäärä [%].

### TAULUKKO 3. Betonin valmistuksessa käytettävien seosaineiden sallittujen maksimimäärien laskentakaavat (12.)

#### 2.6.1 Lentotuhka

Lentotuhka on hienoksi jauhetun kivihiilen poltossa voimalaitoksessa syntyvä pozzolaani, joka erotetaan savukaasuista. Lentotuhka jaetaan A- ja B-luokkiin hehkutushäviön eli hiilipitoisuuden mukaan. A-luokan lentotuhkassa hiilipitoisuus on  $\leq 5$  prosenttia ja B-luokan  $\leq 10$  prosenttia. Lentotuhkan sisältämän hiilimäärän kasvaminen kasvattaa myös sen sitoutumisreaktiossa käyttämää vesimäärää, joka tulee ottaa huomioon betonimassan suhteituksessa. Lentotuhka voi toimia betonissa kiviaineksena (rakeisuus 1...150  $\mu\text{m}$ ) tai sideaineena. Sen pozzolaaninen reaktio on sementin reaktiota hitaampi ja reaktion edellytyksenä on, että vettä ja kalsiumhydroksidia on riittävästi. Lentotuhkan aktiivisuus verrattuna sementtiin on betoninormien mukaan 0,40, kun lentotuhkan suhde sementtimäärään on  $\leq 0,33$ , tämän määrän ylittävällä lentotuhkalla ei lasketa

olevan aktiivisuutta. Lentotuhka heikentää betonin varhaislujuutta, mutta parantaa hieman myöhäislujuutta. Tuhkan käyttö alentaa betonin hydratoitumislämpöä, kun sitä käytetään sementin korvikkeena. Lentotuhkan sisältämä hiili vaikeuttaa betonin huokoistamista, mikä tulee ottaa huomioon, kun suunnitellaan betonin käyttämistä säärasituksille alttiina olevissa kohteissa. (7. s. 59)

### **2.6.2 Masuunikuonajauhe**

Masuunikuonajauhe on hienoksi jauhettua granuloitua masuunikuonaa, jolla on piileviä hydraulisia ominaisuuksia. Masuunikuonaa saadaan, kun raakaraudan valmistuksessa masuunissa muodostunut emäksinen silikaattisulate jäähdytetään nopeasti, murskataan ja jauhetaan hienoksi. Masuunikuonajauheen tiheys on 2900-3100 kg/m<sup>3</sup>. Betoninormien mukaan masuunikuonajauheen aktiivisuus sementtiin verrattuna on 0,80. Masuunikuonajauheen vedentarve on pienempi kuin sementillä ja se notkistaa betonimassaa ja sen käyttö vähentää huomattavasti myös betonin hydratoitumislämpöä ja siksi sitä käytetään paljon massiivisissa rakenteiden valuissa. Sen käyttö kasvattaa myöhäislujuuksia, mutta yleensä suurempia määriä käytettäessä alentaa myös huomattavasti varhaislujuuksia. Masuunikuonajauheen käyttö lisää betonin virumaa ja karbonatisoitumisnopeutta lievästi. (7. s. 60)

### **2.6.3 Silika**

Silikaa saadaan piiraudan ja alkuaine piin valmistuksessa syntyvistä savukaasuista erottamalla, ja se on erittäin hienojakoinen pozzolaani. Silikan raekoko on < 1 µm ja sen kiintotiheys on noin 2200 kg/m<sup>3</sup>. Silika lisää betonin vedentarvetta, joten sen kanssa tulisi aina käyttää veden tarvetta vähentäviä lisäaineita. Silika lisää betonin lujuutta huomattavasti, sekä parantaa betonin kemiallista kestävyyttä, koossapysyvyyttä, tiiviyyttä ja vedenpitävyyttä. Varsinkin korkealujuusbetoneissa, joissa sementtimäärä on jo suuri, silika tekee massasta varsin kittimäistä ja vaikeasti työstettävää. Lisäaineiden annostustarpeet on

silikaa käytettäessä huomioitava erityisen tarkasti. Betoninormien mukaan silikan aktiivisuus verrattuna sementtiin on 2,0, kun betonin vesi-sementtisuhde on  $\leq 0,45$  ja 1,0, kun vesi-sementtisuhde on  $> 0,45$ . (7. s. 60 - 61)

## 2.7 Kuidut

Tässä opinnäytetyössä käytettävät kuidut ovat mikropolymeerikuituja. Mikropolymeerikuidut ovat kooltaan pieniä, noin 5...30 mm pitkiä ja muutama kymmenen mikrometriä paksuja, eli hiuksen kokoluokkaa. Useimmiten ne valmistetaan polypropeenista mutta raaka-aineena voi olla myös nailon, polyesteri, akryyli, tai lasi. Synteettiset polymeerikuidut luokitellaan standardin EN 14889-2 mukaan muodon, valmistustavan ja käyttötarkoituksen perusteella seuraavasti.

Luokka I: Mikrokuidut

Luokka Ia: Monofilamenttimikrokuidut, halkaisija on  $< 0,30$  mm

Luokka Ib: Fibrilloidut mikrokuidut, halkaisija  $< 0,30$  mm

Luokka II: Makrokuidut, halkaisija  $> 0,30$  mm.

Luokan II kuituja käytetään yleensä kovettuneen betonin vetolujuuden parantamiseen teräskuitujen tapaan. Luokan I kuitujen käyttö liittyy yleensä tuoreen betonimassan ominaisuuksien parantamiseen ja kovettuneen betonin lohkeilun vähentämiseen palotilanteessa. (15, s. 2)

Lattioissa mikropolymeerikuituja käytetään tuoreen betonimassan ominaisuuksien muuttamiseen. Yleisin käyttötarkoitus on pyrkiä vähentämään plastisessa vaiheessa tapahtuvien kutistumahalkeamien syntyä. Kuitujen toiminta perustuu niiden pieneen kokoon ja suureen määrään. Kuituja voi olla satoja miljoonia yhtä betonikuutiota kohti, kuidut parantavat betonimassan koossapysyvyyttä, pienentävät vedenerottumista ja pienentävät plastista painumaa. (15, s. 4)



Plastinen kutistumahalkeilun hallinta perustuu siihen, että kuidut toimivat tuoreessa betonissa "raudoituksena" silloittamalla plastisessa vaiheessa syntyviä mikrohalkeamia estäen niiden leveämistä niin kauan, kunnes betoni saavuttaa tarpeeksi lujuutta, jotta se voi itse vastaanottaa syntyneitä sisäisiä voimia. (15, s. 4)

## 3 TYÖLLE OLENNAISET BETONIN OMINAISUUDET

### 3.1 Betonin lujuus

Betonin tärkein ominaisuus on sen hyvä puristuslujuus. Betonin puristuslujuus on hyvä betonin ominaisuuksien tulkitsija, sillä useat betonin ominaisuudet, kuten vetolujuus, taivutusvetolujuus ja kimmokerroin ovat verrannollisia siihen. Myös betonin säilyvyysominaisuudet ovat tietyssä määrin riippuvaisia sen lujuudesta. Betoninormeissa puristuslujuuden luokittelu perustuu kuutiolujuuteen, joka testataan käyttäen sivumitaltaan 150 mm:n koekuutioita. Testeissä voidaan käyttää myös sivumitaltaan 100 mm:n kuutioita, 150\*300 mm:n lieriöitä tai 200 mm:n kuutioita, mutta näitä käytettäessä tulee saadut tulokset muuttaa vastaamaan 150 mm:n kuutiolujuutta käyttäen muuntokertoimia tai betoninormeissa ilmoitettuja arvoja. (7. s.79-82)

Betonin vetolujuus taas on noin 1/10 puristuslujuudesta. Käytännössä on vain vähän rakenteita, joiden mitoitus perustuu betonin vetolujuuteen. Yleensä betonirakenteeseen syntyvät vetojännitykset otetaan huomioon käyttämällä betonissa raudoituksia. Betonirakenteen halkeilu merkitsee aina vetolujuuden ylittymistä, joka voi johtua rakenteen sisäisistä jännityksistä esimerkiksi lämpötilan epätasaisesta jakautumisesta rakenteen kovettumisen aikana tai valmiissa rakenteessa, taikka ulkoisista kuormista. Koska betonin vetolujuuden määrittäminen on hankala toimenpide, sen määrittämiseksi testataan yleensä betonin taivutusvetolujuus tai halkaisuvetolujuus. Näiden edellämainittujen kokeiden tulosten perusteella voidaan matemaattisesti laskea betonin vetolujuus. (7. s.82-85)

### 3.2 Sitoutumisnopeus

Betonin sitoutuminen alkaa, kun sementtiä ja vettä sekoitetaan keskenään ja saadaan aikaan sementin ja veden seos, jossa sementtipartikkelit ketjuuntuvat. Jos betonimassaan lisätään vettä, partikkeleiden etäisyys toisistaan kasvaa ja hidastaa reaktioiden tapahtumista. Käytettävän sementin sisältämä kipsimäärä

vaikuttaa hidastavasti sitoutumisreaktioiden alkamiseen. Sillä mahdollistetaan massalle sopiva työstöaika. Mikroskooppisella tasolla sementtihiukkasten ympärille alkaa kasvaa neulamaisia kalsiumsilikaattihydraattikiteitä, jotka sitovat sementtipartikkelit ja betonimassan sisältämät runkoaineet toisiinsa. Betonin valmistamisessa käytettyjen seosaineiden vaikutus sitoutumisaikaan tulee myös huomioida. (7. s.73-75)

Käyttämällä erityyppistä sementtiä voidaan vaikuttaa betonin sitoutumisaikaan. Lämpötila vaikuttaa sitoutumisaikaan siten, että  $\pm 10$  celsiusasteen muutos puolittaa tai kaksinkertaistaa sitoutumisajan. Myös käytetyn veden määrä vaikuttaa sitoutumisaikaan, mitä suurempi vesimäärä sitä kauemmin kestää ennen kuin kiteet kasvavat yhteen. Täten kylmissä olosuhteissa sitoutuminen voi kestää tunteja ja taas kuumabetonia käytettäessä sitoutuminen voi tapahtua alle puolessa tunnissa. (7. s.73-75; 9.)

### **3.3 Betonin kutistuma ja kutistumahalkeilu**

#### **Kokonaiskutistuma**

Betoniin käytettävästä vedestä suurin osa tarvitaan, jotta betoni voidaan sekoittaa tasaiseksi massaksi, valaa ja tiivistää. Hydrataatioon eli sitoutumisreaktioon tarvittavan veden määrä on noin 25 % sementin painosta, joka on alle puolet tyypillisesti betonimassaan käytettävästä vedestä. Osa vedestä jää pysyvästi betonin huokosiin ja loppuosa vedestä alkaa poistua rakenteesta. (13. s.12-13)

Betonin kokonaiskutistuma koostuu erityyppisistä kutistumalajeista. Betonin varhaisvaiheen kutistumaa kutsutaan plastiseksi kutistumaksi ja kovettuneen betonin kutistumaa kuivumiskutistumaksi. Sekä varhaisvaiheessa että kovettumisvaiheessa kutistumista tapahtuu myös betonin kemiallisten reaktioiden seurauksena, tätä ilmiötä kutsutaan autogeeniseksi kutistumaksi. (13. s.13)

### 3.3.1 Kuivumiskutistuma

Betonista alkaa poistua kosteutta heti valamisen jälkeen, ja kosteuden poistuminen betonista jatkuu niin kauan, että rakenne saavuttaa ympäristöolosuhteita vastaavan tasapainokosteuden. Tasapainokosteuden saavuttamiseen menee yleensä aikaa useita vuosia, mutta ääritapauksissa rakenne ei saavuta koskaan ympäristön lämpötilaa ja kosteutta vastaavaa tasapainokosteutta. (13. s.12-13)

Veden poistuminen rakenteesta pienentää rakenteen tilavuutta eli betoni kutistuu. Veden poistumisen ja kutistuman suuruuden välinen yhteys on lineaarinen. Kuivumiskutistumiselle määritetään yleensä peruskutistuma, joka on yleensä arvoltaan välillä 0,5-1,0 mm/m. Peruskutistumaa käytetään lähtökohtana, kun arvioidaan erilaisten rakenteiden kutistumaa ja halkeiluriskejä. Hyvänlaatuisen tavanomaisissa rakenteissa käytettävän betonin kuivumiskutistuman arvo on noin 0,5-0,7 mm/m. (13. s.13)

Kuivumiskutistuman suuruutta tulee arvioida, jotta halkeiluriski voidaan ottaa huomioon rakennetta suunniteltaessa ja betonia valittaessa niin, ettei sallittuja halkeamaleveyksiä ylitetä. Betonin vapaan kutistuman arviointiin on kehitetty useita laskentamenetelmiä, jotka pyrkivät eri tavoin arvioimaan ja ottamaan huomioon betonin kuivumiskutistumiseen liittyviä tekijöitä. Arviointimenetelmien välillä ja niistä saaduilla tuloksilla on varsin suuria eroja. Näitä menetelmiä ei kuitenkaan voida soveltaa tässä tapauksessa, koska sementin sijasta joissakin massoissa käytettiin masuunikuonaa, jonka vaikutusta kaavat eivät ota huomioon. (13, s.38-40)

Kuivumiskutistumaa voidaan kuitenkin yleensä arvioida suhteellisen tarkasti, kun tiedetään betonin koostumus. Kutistuman perusarvon määrittämiseen ei ole olemassa yleistä standardia, mutta varsin yleisesti kutistuma mitataan koekappaleilla. Betonista valmistetaan koekappaleita, joiden mitat ovat 100 mm \* 100 mm \* 500 mm. Koekappaleiden päätypintojen keskikohtaan valetaan korroosionkestävää materiaalia olevat mittatapit. Jokaisesta koemassasta

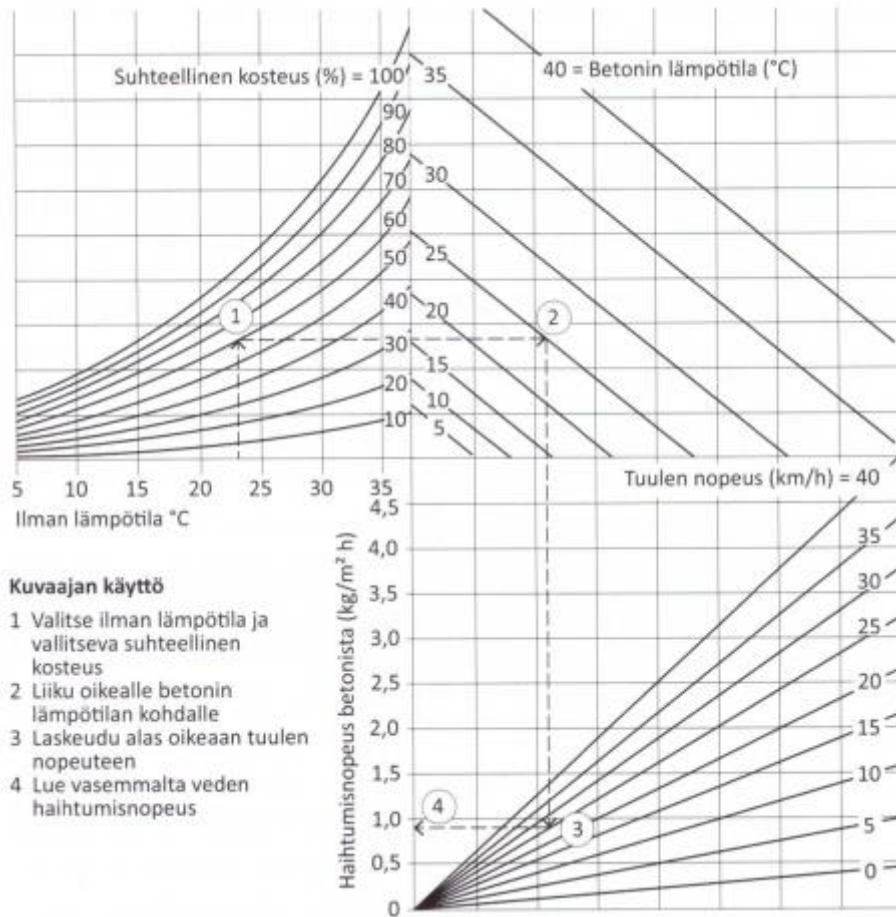
valetaan kolme koekappaletta. Muotit puretaan koekappaleiden ollessa 1 vuorokauden ikäisiä ja siirretään vesisäilytykseen, veden lämpötilan tulee olla  $20 \pm 2$  °C. Koekappaleet siirretään 7 vuorokauden iässä ilmasäilytykseen  $20 \pm 2$  °C, jonka suhteellinen kosteus tulee olla  $40 \pm 5$  prosenttia. Koekappaleiden pituuden mittaukset suoritetaan 7 vuorokauden välein aina 56 vuorokauden ikään saakka. Tässä opinnäytetyössä noudatetaan Julkisivu 2000 ohjeistusta, jonka mukaan ensimmäinen mittaus suoritetaan kahden vuorokauden ikäiselle koekappaleelle, jonka jälkeen jälkeä mittaukset suoritetaan By22 ohjeistuksen mukaisesti 7 vuorokauden välein. Kahden ja 56 vuorokauden ikäisten palkkien mittaustulosten erotusten keskiarvo ilmaisee peruskutistuman. (13, s. 40; 2.)

### **3.3.2 Plastinen kutistuma**

Betonimassan vaakatasossa tapahtuvaa kutistumista, jonka aiheuttaa veden haihtuminen sen pinnasta muutaman tunnin kuluttua valusta kutsutaan plastiseksi kutistumaksi. Plastisen kutistuman syynä on betonipinnan liian nopea kuivuminen ennen betonin sitoutumista ja lujuuden kehittymistä. Veden haihtuessa pinnalta syntyy pinnan lähellä olevien pienten hiukkasten välille kaarevia vesipintoja. Veden pintajännityksen ja veden ja sementtihiukkasten välisen vetovoiman vaikutuksesta muodostuu pintaan kalvojännitystila, joka aiheuttaa vetovoimia, joiden seurauksena betonimassa kutistuu. Samalla betonin kapillaarihuokosissa syntyy alipaine, joka pyrkii imemään betonin pinnalle lisää vettä syvemältä massasta. (7, s.73; 13, s.15-17)

Niin kauan kun kiviainesrakeet ja sementtihiukkaset voivat liikkua alaspäin ja täyttää syntyneitä veden haihtumisen aiheuttamia tyhjiä tiloja, on betonin pieneneminen yhtä suuri kuin haihtuvan veden määrä, eikä halkeamia muodostu. Kun runkoainerakeet ja hiukkaset sisäisen kitkan kasvun vuoksi eivät kykene enää liikkumaan, syntyy kalvovoimista aiheutuvien vetovoimien vaikutuksesta betonin pintaan vetojännityksiä, jotka voivat aiheuttaa plastisen kutistuman aiheuttamia halkeamia. Halkeamat johtuvat betonin vielä tässä vaiheessa omaavista alhaisista lujuuksista, jotka eivät kykene vastaanottamaan syntyneitä jännityksiä. (7. s.73; 13. s.15-17)

Plastinen kutistuma ja siitä johtuva halkeilu on yleistä ohuissa rakenteissa, joissa on paljon avointa pintaa ja vähän haihtuvaa vettä, esimerkiksi maanvaraiset ja kantavat laatat, ohuet jälkivalut ja julkisivuelementit. Kuvassa 2 olevalla kuvaajalla voidaan arvioida betonipinnalta haihtuvan kosteuden määrää, kun ympäristön olosuhteet tiedetään. (7. s.73; 13. s.15-17)

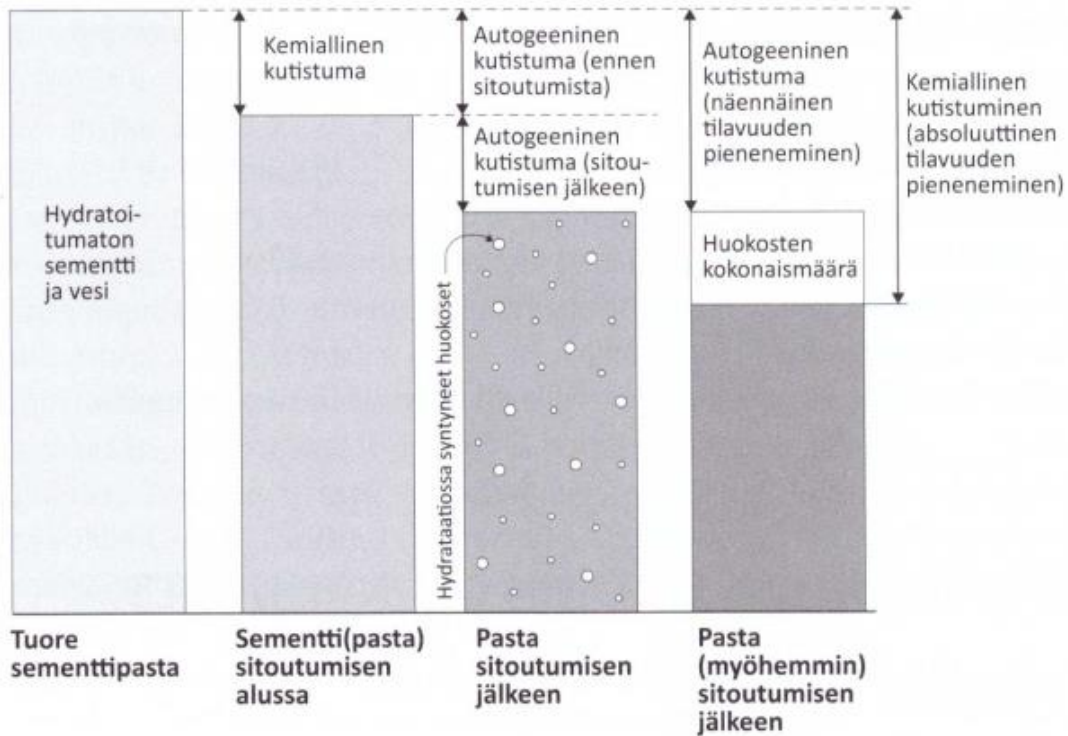


KUVA 2. Kuvaaja jota voidaan käyttää betonin pinnalta haihtuvan kosteuden määrän arviointiin, kun ympäristön olosuhteet tunnetaan (13.)

### 3.3.3 Autogeeninen kutistuma

Betonin sisältämän sementin reagoidessa veden kanssa syntyy yhdisteitä, joiden tilavuus on pienempi kuin alkuperäinen sementin ja veden yhteenlaskettu tilavuus. Tämän reaktion ja tilavuuseron seurauksena betoniin syntyy vetojännityksiä ja betoni kutistuu. Kuvassa 3 esitetään kemiallisista reaktioista

johtuvaa sementtipastan tilavuuden muutosta plastisessa tilassa sekä kovettumisvaiheessa. (7, s. 73-75)



*KUVA 3. Kemiallisesta ja autogeenisestä kutistumasta johtuva tilavuuden muutos tuoreessa ja kovettuneessa sementtipastassa. (13.)*

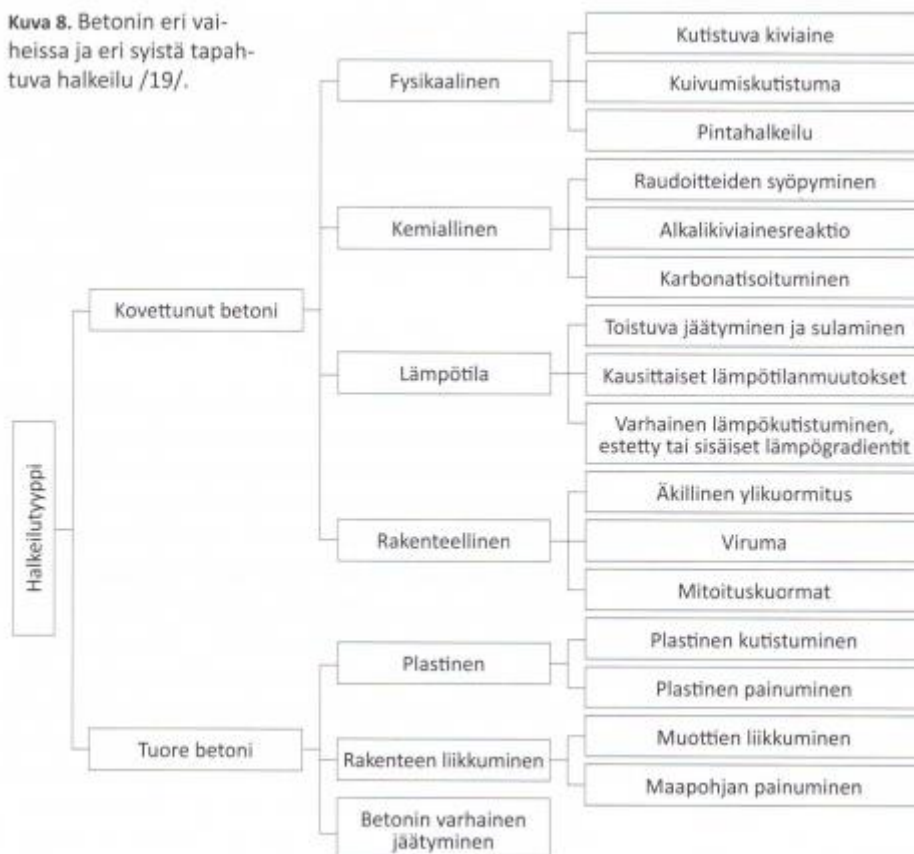
Kemiallinen kutistuma tarkoittaa sementtipastan nestemäisten ja kiinteiden aineiden absoluuttista tilavuuden muutosta sementin ja veden reagoidessa keskenään. Autogeenisellä kutistumalla tarkoitetaan betonin näkyvää tilavuudenmuutosta, joka aiheutuu sementtipastan hydratoitumisreaktion seurauksena. Osa kutistumasta tapahtuu betonin sisällä, kuitenkin aiheuttamatta betonin koko rakenteen koon muuttumista, vaan kutistuma synnyttää betonin sisälle tyhjiä huokosia. Autogeeninen kutistuma on samansuuruinen kuin kemiallinen kutistuma kutistuman alkuvaiheessa betonimassan ollessa juoksevassa tilassa, mutta betonin kovettuessa betonin kovettunut pasta, laasti tai betoni pystyy vastustamaan kemiallisesta kutistumasta syntyneitä voimia ja estämään rakenteen tilavuuden muutoksia. (13, s. 19-20)

Autogeenisen kutistuman suuruutta voidaan rajoittaa pitämällä sementin ja veden määrä kohtuullisena ja rajoittamalla vesi-sementtisuhde  $> 0,45$ . Lisäksi kutistuman suuruutta voidaan rajoittaa tehokkaalla jälkihoidolla tai kutistumaa kompensoivilla lisäaineilla tai jälkihoitoaineilla. (13, s. 20)

### 3.3.4 Halkeilun syyt ja hallinta

Halkeilua voi syntyä betoniin ennen kovettumista plastisessa tilassa, sitoutumis- ja kovettumisvaiheessa tai kovettumisen jälkeen. Tuoreessa betonissa sekä sementin ja veden hydrataatioreaktioiden alkuvaiheessa syntyvät halkeamat ovat lähinnä plastisia, mutta halkeamiin voi olla syynä myös muottien tai maapohjan liikkuminen, muottien muodonmuutokset sekä betonin varhainen jäätyminen. Betonin kovettumisen aikana ja jälkeen halkeamien syntyminen voi johtua niin fysikaalisista ja kemiallisista syistä, lämmönvaihteluista tai rakenteellisista syistä. Halkeilun aiheuttajia esitetään kuvan 4 kaaviossa. (13, s.26)

Kuva 8. Betonin eri vaiheissa ja eri syistä tapahtuva halkeilu /19/.





#### *KUVA 4. Betonin eri vaiheissa ja eri syistä tapahtuvan halkeilun jaottelu (13.)*

Halkeilun muodostumismekanismi on monimutkainen, koska halkeamien syntyyn voi olla useita syitä, ja halkeamien synty on myös ajasta riippuva. Mikäli rakennetta tarkkaillaan määrättyssä lämpötilassa ja kosteudessa ja oletetaan rakenteen jäähtyvän tai kuivuvan muodonmuutoksen ollessa vapaa, rakenne lyhenee eikä halkeamia synny. Toisaalta, jos rakenne on kiinnitetty jäykästi liikkumattomaan rakenteeseen, rakenteeseen syntyy kutistumasta johtuvia vetojännityksiä, jotka olisivat yhtä suuria kuin jos vapaasti kutistunut rakenne vedettäisiin takaisin alkuperäiseen kokoonsa. Edellä mainitun kaltainen tilanne syntyy myös rakenteen sisällä, kun rakenne pintaosistaan kuivuu ja jäähtyy. Tässä tapauksessa muodonmuutos on sisäisesti estetty. (13, s.27)

Betoni halkeilee aina jonkin verran, mutta betoniin syntyvien halkeamien määrään, ja suuruuteen sekä tietyistä syistä syntyvien halkeamien määrään voidaan vaikuttaa hyvällä suunnittelulla. Betonin kutistuman määrää voidaan rajoittaa valitsemalla sopiva betonin koostumus, työnsuoritus ja jälkihoito. Kutistuman aiheuttamien halkeamien määrää voidaan rajoittaa myös erikoismenetelmillä, kuten kuiduilla, kutistumaa vähentävillä lisäaineilla ja yliraudoittamisella. (13, s.30-37)

### **3.4 Vedenerottuma**

Vedenerottuminen on yksi erottuman muoto, jossa osa betonin sisältämästä vedestä pyrkii nousemaan tuoreen valetun betonimassan pinnalle. Tämä johtuu betonin kiinteiden osa-ainesten kyvyttömyydestä sitoa kaikkea betonimassan sekoittamiseen käytettyä vettä, kun ne painuvat ja tiivistyvät muotin pohjaa kohti. Veden ollessa kevein betonimassan sisältämä ainesosa vapaa muihin aineisiin sitoutumaton vesi pyrkii täten nousemaan betonivalun pintaosiin. Veden erottuminen jatkuu niin kauan, kunnes sementtipasta on jäykistynyt tarpeeksi estääkseen erottumisprosessin. (14.)

Käytetty sementtityyppi ja seosaineet voivat vaikuttaa erottuneen veden määrään, esimerkiksi masuunikuonan lisääminen massaansa lisää erottumisajan

pituuutta hidastamalla alkureaktioiden syntymistä. Myös runkoaineen hienoainesmäärä sekä esimerkiksi betoniin lisättävät mikrokuidut vaikuttavat vedenerottuman kokonaismäärään. Mikäli erottunut vesi sekoitetaan pintaa hierrettäessä betoniin, se heikentää betonin pintakerroksen lujuutta. Tämän välttämiseksi betonin jälkihiertoa ja jälkihoidon aloittamista pitäisi siirtää, kunnes suurin osa pinnalla olevasta vedestä on haihtunut. (14.)

Mikäli betonin pinnasta haihtuvan kosteuden määrä on suurempi kuin vedenerottuma, voi betonin pinnalle syntyä plastisia halkeamia. Täten betonimassan suurempi vedenerottuma ei ole ainoastaan huono asia, koska suojaamattoman betonin pinnalta voi haihtua ympäristön olosuhteiden johdosta suuria määriä kosteutta. (14.)

## 4 BETONIKOKEET

### 4.1 Betonimassojen ja koekappaleiden valmistus

Opinnäytetyössä tutkittiin Rapid-sementtiä sideaineena käyttävien betonimassojen ominaisuuksien muuttumista, kun osa sementistä korvataan Finnsementin KJ400-masuunikuonajauheella. Tutkimuksen kohteeksi valittiin opinnäytetyön tilaajien pyynnöstä lattiabetonissa tärkeitä ominaisuuksia kuten työstettävyys, kutistuma, vedenerottuma, puristuslujuus sekä plastisen kutistuman aiheuttama halkeilu. Lisäksi massoista mitattiin betonimassassa tapahtuvien sitoutumisreaktioiden aiheuttaman lämmöntuoton suuruutta kalorimetrillä. Perusresepti, jonka pohjalta laadittiin reseptit kokeita varten, saatiin Ruskon Betonilta. Perusresepti oli taulukon 4 mukainen.

*TAULUKKO 4. Kokeissa käytetty perusresepti*

Lujuusluokka	C25/30
Sementti	340 kg
Kiviaines #0-8	1725 kg
Vesi	224 kg
Ilma	20 l
Notkistin	0,35 % sideainemäärästä
Tavoitepainuma	150 mm
Vesi-sementtisuhde	0,65-0,67

Tutkimuksia varten perusreseptistä laadittiin muokattuja reseptejä. Keskustelujen perusteella päädyttiin valmistamaan neljä massaa, joista yksi oli vertailumassa.

Tehdyissä koemassoissa pyrittiin pitämään muiden ainesosien määrät vakiona, mutta korvaamaan Rapidsementtiä kuonalla 1:1, jolloin muiden muutosten aiheuttamat muutokset voitaisiin minimoida.

Ensimmäisen koevalun yhteydessä huomattiin, että perusreseptillä valmistetun massan painuma jäi tavoitellusta huomattavasti, joten päätettiin tehdä lisäksi viides massa, jossa perusmassa notkistettiin mahdollisimman notkeaksi nostamalla vesi-sementtisuhdetta, sekä nostamalla notkistimen määrä 0,5 prosenttiin sideainemäärästä. Tästä viidennestä massasta valmistettiin ainoastaan pieni 20 litran suuruinen erä, josta painuma ja lämmöntuottoarvo määritettiin ja valmistettiin kutistumapalkit sekä yksi puristuslujuuskappale. Taulukossa 5 on listattuna valmistettujen betonimassojen reseptit yhtä betonikuutiota kohti.

*TAULUKKO 5. Käytettyjen betonimassojen reseptit.*

	Massa 1, Perusresepti	Massa 2, 25 % kuonaa	Massa 3, 50 % kuonaa	Massa 4, PE- kuitu	Massa 5, notkistettu vertailumassa
Sementti (kg)	340	255	170	340	340
Masuunikuona (kg)	0	85	170	0	0
Kiviaines #0-8 (kg)	1725	1725	1725	1725	1725
Vesi (kg)	224	224	224	224	232
Ilma (l)	20	20	20	20	20
Notkistin (% sideaineesta)	0,35	0,48	0,50	0,70	0,5

Notkistin (kg)	1,20	1,65	1,70	2,38	1,7
Vesi-sideainesuhte	0,66	0,66	0,66	0,66	0,68
PE-kuitu (kg)	0	0	0	0,90	0

## 4.2 Tuoreen betonin testaus

Tuoreen betonin ominaisuuksia alettiin testata heti, kun massa saatiin sekoitettua. Tuoreen betonimassan testaamisella pyritään selvittämään erilaisilla sideaineyhdistelmillä tehtyjen massojen ominaisuuksia.

Aluksi arvioitiin tuoretta betonia silmämääräisesti ja mitattiin betonimassan lämpötila. Lämpötilan pitäisi olla +10 – 20 celsiusastetta, jotta sitoutuminen tapahtuu normaalisti.

### 4.2.1 Painuma

Tuoreen betonimassan työstettävyyttä voidaan arvioida massan notkeudella, jonka testaamiseen käytetään painuma- tai leviämäkoetta tuoreella betonimassalla. Työstettävyyden mittaukseen käytettiin painumakoetta, jonka suoritusohje määrittellään standardissa SFS-EN 12350-2.

Betonin painuman mittauksessa painumakartio asetettiin tasaiselle alustalle kapeampi osa ylöspäin. Kartio täytettiin kolmessa kerroksessa, jokaisen kerroksen välissä massaa tiivistettiin painamalla painumasauvalla betonimassaa 25 kertaa. Kun kartio on täynnä, kartion pää tasoitettiin ja kartio nostettiin tasaisesti pois betonimassan päältä. Kartio nostettiin betonimassan muodostaman kartionmallisen kasan viereen, ja mitattiin kartion yläpään sekä betonimassan yläpään erotus mittanauhalla, saatu mitta määrittää betonimassan notkeusluokan S1 - S5.

#### 4.2.2 Vedenerottuma

Vedenerottumisen testauksessa toimittiin SFS-standardin SFS-EN 480-4 ohjeiden mukaisesti. Kokeessa halkaisijaltaan 250 mm ± 10 mm ja korkeudeltaan 280 ± 10 mm kokoinen jäykkä astia täytettiin 250 mm korkeuteen asti betonimassalla kolmessa kerroksessa tiivistäen se huolellisesti kerrosten välillä.

Täyttämisen jälkeen astia ja massa punnittiin, ja astia asetettiin tasaiselle alustalle ja kansi suljettiin. Astiassa olevan betonin pinnalle alkoi erottua vettä heti valun jälkeen. Ensimmäisten 40 minuutin aikana pinnalle erottunut vesi kerättiin kymmenen minuutin välein sähköpipetillä. Tämän jälkeen veden keräys tapahtuu 30 minuutin välein. Kerätty vesi siirrettiin erilliseen astiaan ja jokaisen keräyksen jälkeen kirjattiin erottuneen veden määrä ylös grammoina. Veden keräämistä jatkettiin niin kauan, kunnes veden erottuminen loppui.

Vedenerottuman määrä ilmaistaan prosentteina betonin sisältämästä kokonaisvesimäärästä seuraavan kaavan 1 (16, s. 7) mukaisesti:

$$B = \frac{m_w}{w \cdot m_s} * 100 \quad \text{KAAVA 1.}$$

$B$  = erottuneen veden määrä prosentteina betonimassan sisältämän veden määrästä

$m$  = erottuneen veden kokonaismäärä grammoina

$m_w$  = näytteen massa grammoina

$w$  = veden osuus tuoreen betonimassan kokonaismäärästä painoprosentteina

#### 4.2.3 Lämmötuotto

Tässä opinnäytetyössä betonin sitoutumisreaktioissa syntyvää lämpöenergian määrää mitattiin kalorimetrillä. Tähän käytettiin kahta kalibroitua lämpöeristettyä astiaa, joista toisen sisälle sijoitettiin noin kaksi kilogrammaa testattavaa betonimassaa teräspurkissa. Toisen astian sisällä oli vertailunäyte, joka on

kovettunutta betonia. Tämän vertailumassan sekä testattavan betonimassan lämpötilaa seurattiin noin vuorokauden ajan valusta, ja lämpötilat tallennettiin kymmenen sekunnin välein lämpötilaloggerilla. Laskennallisesti voidaan betonin, kalorimetriastian ja teräspurkin lämpökapasiteetin sekä vertailunäytteen ja testattavan massan lämpötilojen erotuksen perusteella arvioida reaktioissa vapautuneen lämpöenergian määrää.

Finnsementti toimitti ennen testejä käyttämänsä laskentataulukon, johon syöttämällä näytteen sisältämien ainesosien määrät sekä saadut lämpötila-arvot, saadaan laskennallisesti määritettyä täryraja sekä reaktioissa vapautuneen lämpöenergian määrä jouleina per gramma betonimassaa.

#### **4.2.4 Tärytysraja**

Tuoreelle betonimassalle tehtiin koevalujen yhteydessä myös betonimassan tärytysrajan määrittäminen. Tärytysraja on se hetki, jolloin betonimassan sitoutumisreaktiot ovat edenneet niin pitkälle, että betoni alkaa kiinteytyä. Tämän jälkeen betonia ei saisi täryttää tai muuten käsitellä, koska tällöin betoni voi vaurioitua pysyvästi ja koko valu ja valmistettu rakenne voidaan joutua tekemään uudelleen.

Betonin tärytysraja määritettiin standardin SFS 5289 mukaisesti. Standardin mukaisesti betonimassasta poistettiin halkaisijaltaan yli 8 mm rakeet seulomalla. Betonimassaa otettiin astiaan, jonka halkaisija on vähintään 150 mm ja korkeus 130-150 mm. Lisäksi tarvittiin laitteisto, jolla voitiin painaa pystysuorasti betonipintaan lieriönmuotoisella neulalla, jonka pinta-ala tiedetään ja voidaan mitata painamiseen käytetty voima. Tunkeutumisvastus mitattiin 5-10 kertaa siten, että mittausarvoja oli raja-arvon molemmin puolin. Jokaisen mittauksen suoritusajankohta merkittiin ylös.

Betonimassan jäykistymistä seurattiin niin kauan, kunnes neulan painamiseen tarvittava voima saavutti raja-arvon  $3,5 \text{ MN/m}^2$ . Heti kun painamiseen tarvittava voima saavutti arvon, merkittiin testausaika ja laskettiin aika betonimassan sekoittamisesta hetkeen, jolloin tehtiin viimeinen mittaus.

### **4.3 Kovettuneen betonin testaus**

Betonista valmistettiin koevalun yhteydessä koekappaleita, joilla voidaan määrittää erilaisia betonin ominaisuuksia. Jokaisesta massasta valmistettiin puristuslujuuden määrittystä varten 100 mm koekuutioita, sekä kutistuman mittausta varten kutistumapalkkeja. Lisäksi neljästä ensimmäisestä massasta valmistettiin myös estetyin kutistuman laatta, jotta voitiin seurata plastisen vaiheen halkeamien syntyä.

#### **4.3.1 Puristuslujuus**

Tehtyjen betonimassojen puristuslujuus testattiin standardin SFS-EN 12390-3 mukaisella betonin puristuslujuustestillä. Betonimassasta valettiin 100 mm kuutioita puristuslujuuden määrittämiseksi. Koekuutioiden tulee täyttää standardin SFS-EN 12390-1 mukaiset kuution pintojen koon mittatoleranssit, jotka näissä testeissä käytetyille 100 mm kuutiolle ovat yhden prosentin suuruisia muottipintojen välillä ja 1,5 prosenttia muotin ja teräshierretyn pinnan välillä.

Puristuslujuuden mittauksessa käytetyt koekappaleet purettiin muoteistaan vuorokauden kuluttua valusta ja siirrettiin vesisäilytykseen testauspäivään saakka. Yhden vuorokauden koekappaleet testattiin heti muotin purkamisen jälkeen. Ennen testausta koekappaleiden pinnat pyyhittiin puhtaaksi ja koekappale pintakuivattiin, tässä vaiheessa puristuspintojen reunat kierrettiin ympäri hiomakivellä epätasaisuuksien poistamiseksi. Koekappaleet punnittiin ja mitattiin työntömitalla ja saadut tulokset kirjattiin ylös. Mittaamalla ja punnitsemalla saaduista tuloksista voidaan määrittää koekappaleen tarkka tilavuus, puristuspintojen koko sekä tiheys.

Koekappaleiden puristuskokeet suoritettiin OAMK:n betonilaboratoriossa kalibroiduilla betonipuristimilla, joilla koekappaleita voidaan kuormittaa niin, että saadaan betonipuristimen näytöltä luettua koekappaleen murtolujuus kilonewtoneina. Tämän saadun arvon ja pinta-alan perusteella voidaan määrittää betonin puristuslujuus.



### 4.3.2 Kuivumiskutistuma

Tehtyjen massojen kuivumiskutistumaa testattiin Betoniyhdistyksen by 22 ohjeiden mukaisesti. Massoista valettiin palkkeja, joiden mitat ovat 100 mm \* 100 mm \* 500 mm ja koekappaleiden päätypintojen keskelle valettiin ruostumattomat mittatapit. Jokaisesta valetusta massasta tehtiin kolme kutistumapalkkia, joista mitattujen tulosten keskiarvon perusteella arvioidaan betonin kutistumaa. Valun jälkeen koekappaleet suojattiin ja muotit purettiin seuraavana päivänä. Muoteista purkamisen jälkeen koekappaleet siirrettiin vesisäilytykseen, jossa niitä säilytettiin seitsemän vuorokauden ajan.

Betoniyhdistyksen By 22 ohjeiden mukaan palkkien ensimmäinen mittaushetki on seitsemän vuorokauden ikäisenä, jolloin palkit myös poistetaan vesisäilytyksestä, mutta näissä kokeissa noudatettiin Julkisivu 2000 -kirjan ohjeita, joiden mukaan ensimmäinen mittausta tehtiin jo kahden vuorokauden iässä. Näin saatu alkuarvo betonipalkin pituudelle on pienempi kuin By 22 ohjeen mukainen, eli saadut kutistuma-arvot ovat myös hieman pienempiä.

Betonipalkkien mittausta suoritettiin OAMK :n betonilaboratoriossa, kuvan 6 mukaisella tähän tarkoitukseen valmistetulla telineellä, jossa palkin mitat saadaan lukemalla palkkien päissä olevien mittaustappien etäisyyden muutosta mittakellolla.



KUVA 6. Kutistuman mittaukseen käytetty teline ja mittakello

Mittaukset suoritettiin ensin kahden ja seitsemän vuorokauden ikäisenä, tämän jälkeen joka seitsemäs vuorokausi aina 56 vuorokauden ikään saakka. Mittauksen yhteydessä kirjattiin ylös myös palkkien paino gramman tarkkuudella, sekä huoneen lämpötila ja suhteellinen kosteus. Seitsemän vuorokauden ikäisten palkkien mittaukset suoritettiin poistettaessa koekappaleita vesisäilytyksestä. Koekappaleet säilytettiin seitsemän vuorokauden iästä eteenpäin laboratorion hyllyssä kolmiorimojen päällä.

Koepalkkien kahden ja 56 vuorokauden iässä mitattujen arvojen erotusten keskiarvo kerrottuna kahdella ilmaisee kutistuma-arvon  $\epsilon$  millimetreinä metrille.

#### **4.3.3 Estetyn kutistuman laatta**

Tässä opinnäytetyössä käytettiin yhtenä kokeena estetyn kutistuman laattaa. Tämä koe ei ole standardisoitu vaan kokeen suoritusohje saatiin Finnsementiltä. Tämä koe on yksinkertaistettu versio amerikkalaisen standardin ASTM 1579-06 mukaisesta estetyn kutistuman kokeesta.

Testattavasta massasta valettiin 100 cm \* 100 cm \* 5 cm kokoinen laatta, jonka keskellä on 5 cm \* 5 cm kokoinen varaus, joka estää betonilaatan vapaan kutistumisen kovettumisen aikana. Valun jälkeen betonilaatan yläpuolelle sijoitetaan betonilaattaa kohti puhaltava tuuletin, joka kasvattaa betonipinnasta haihtuvan kosteuden määrää.

Tuuletus pidettiin päällä 24 tuntia valusta. Ilmavirran aiheuttaman kosteuden haihtumisen johdosta betonin pintaan saadaan synnytettyä halkeamia, joiden määrän ja suuruuden perusteella voidaan vertailla eri massojen halkeamisriskiä plastisessa vaiheessa. Kuvassa 7 näkyy tässä opinnäytetyössä käytetty testausmenetelmä, jokaisessa koevalussa tuulettimen sijainti oli sama laatan pintaan nähden.



*KUVA 7. Estetyn kutistuman laatan muotti ja tuulettimen sijoitus, kuva otettu ennen valua*

## 5 LABORATORIOTESTIEN TULOKSET

### 5.1 Tuore betonimassa

Taulukkoon 6 on kerätty tuoreesta betonimassasta testatut painumat, massan lämpötilat, tiheydet sekä ilmamäärä. Lisäksi taulukossa näkyy kunkin koemassan valussa käytetty kokonaisnotkistinmäärä.

TAULUKKO 6. Tuoreen betonimassan ominaisuudet

Betonimassa	Lämpötila, massa (°C)	Painuma (mm)	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	Ilmamäärä (%)	Notkistin (% sideaineesta)
Vertailu	22	80	2244	4,8	0,35
25% kuona	21	130	2231	3,4	0,48
50% kuona	20	150	2264	3,2	0,50
PE -kuitu	21	100	2197	5,2	0,7
Notkistettu vertailu	20	190	-	-	0.5

Lisäksi tuoreesta betonimassasta testattiin massan vedenerottuma, tärytysraja sekä kalorimetrillä lämmöntuottoarvot. Taulukossa 8 on koottu testattujen massojen tärytysrajamittausten alkuajankohdat sekä aika, jolloin mittaustulosten perusteella tärytysraja on saavutettu.

TAULUKKO 7. Koemassojen SFS 5289 -standardin mukaiset tärytysrajat.

<b>Betoni massa</b>	<b>Testausikä (h:min)</b>	<b>Tunkeutumis vastus (MN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Testaus ikä (h:min)</b>	<b>Tunkeutumis vastus (MN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Täryraja (h:min)</b>
Vertailu	5:15	2,9	5:30	4,0	5:25
25% kuona	5:30	2,4	6:00	4,0	5:50
50% kuona	6:00	2,0	6:30	4,3	6:20
PE - kuitu	5:30	2,4	6:00	3,6	6:00

Taulukossa 8 on koottuna massoista erottuneen veden määrä sekä vedenerottumat, jotka on laskettu standardin SFS-EN 480-4 mukaan.

*TAULUKKO 8. Erottuneen veden kokonaismäärät sekä vedenerottuma prosentteina massan sisältämästä kokonaisvesimäärästä*

<b>Betonimassa</b>	<b>Näytteen massa (g)</b>	<b>Erottuneen veden määrä (g)</b>	<b>Veden osuus näytteestä (paino-%)</b>	<b>Vedenerottuma (%)</b>
Vertailu	29170	64	9,8	2,2
25% kuona	30500	98	9,8	3,3
50% kuona	30000	134	9,8	4,6
PE -kuitu	30200	50	9,8	1,7

Koemassoista otetuista noin kahden kilon eristä määritettiin kalorimetrillä betonimassassa tapahtuvien sitoutumisreaktioiden tuottaman lämpöenergian määrä. Testattujen massojen raportit ovat liitteissä 1 - 5 .

## 5.2 Kovettunut betoni

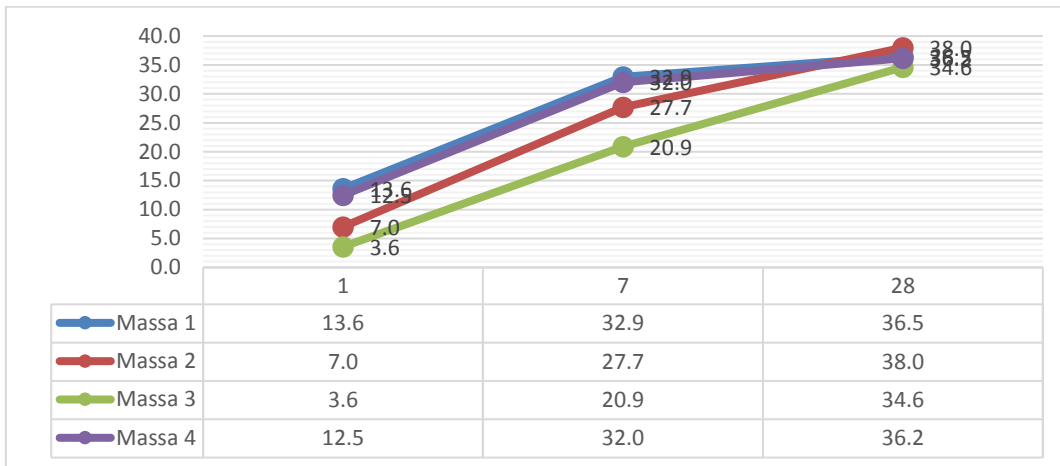
### 5.2.1 Puristuslujuus

Betonin puristuslujuutta varten valetut koekappaleet testattiin ennalta laaditun aikataulun mukaan. Taulukkoon 9 on koottu koekappaleiden puristuslujuudet, koekappaleiden paino ja koekappaleiden tarkkojen mittojen mukaan laskettu kuutiotiheys. Lujuusarvot on ilmoitettu 150 mm kuutiolujutena.

*TAULUKKO 9. Valettujen koekappaleiden puristuslujuudet ja tiheydet standardin SFS-EN 12390-3 mukaisesti*

Betonimassa	1 d (MPa)	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	7 d (MPa)	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	28 d (MPa)	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )
Vertailu	13,6	2260	32,9	2280	36,5	2280
25% kuona	7,0	2270	27,7	2280	38,0	2270
50% kuona	3,6	2270	20,9	2300	34,6	2300
PE -kuitu	12,5	2270	32,0	2250	36,2	2250
Notkistettu vertailu	-	-	34,4	2310	-	-

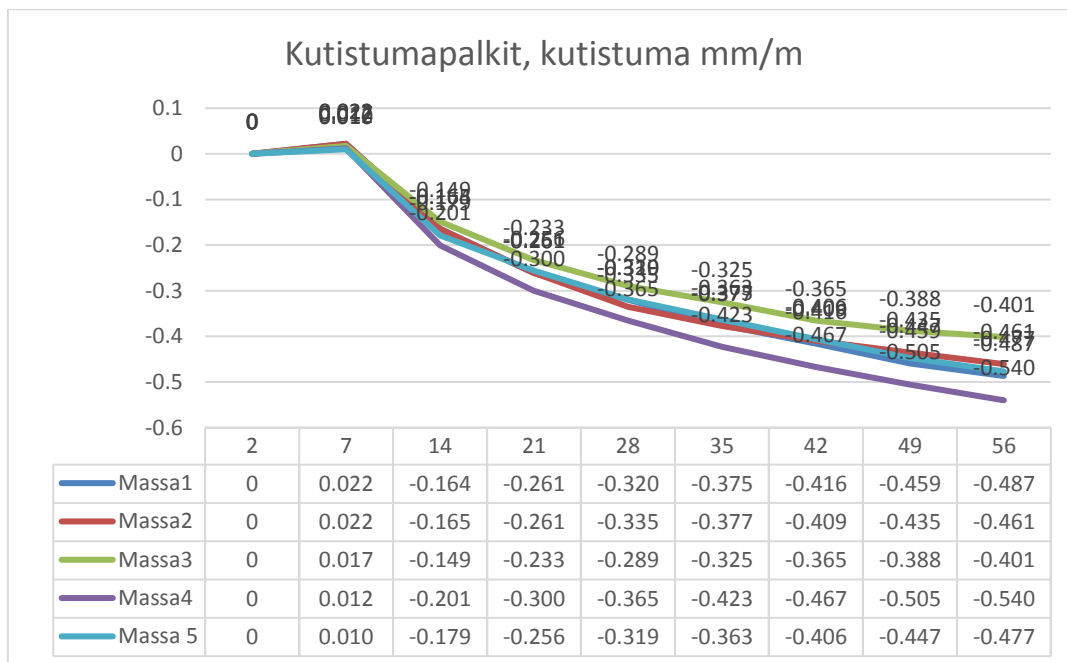
Kuvassa 8 olevat käyrät kuvaavat eri betonimassojen lujuuden kehittymistä ajan kuluessa, arvot on otettu taulukosta 9.



KUVA 8. Betonin puristuslujuuden kehittyminen.

### 5.2.2 Kuivumiskutistuma

Kuvassa 9 oleva kuvaaja esittää kutistumapalkeista mitattujen kutistuma-arvojen avulla laskettua keskimääräistä kutistumaa metrille.



KUVA 9. Kutistumapalkeista mitattujen kutistuma-arvojen perusteella lasketut kutistumat yksikkönä millimetriä per metri.

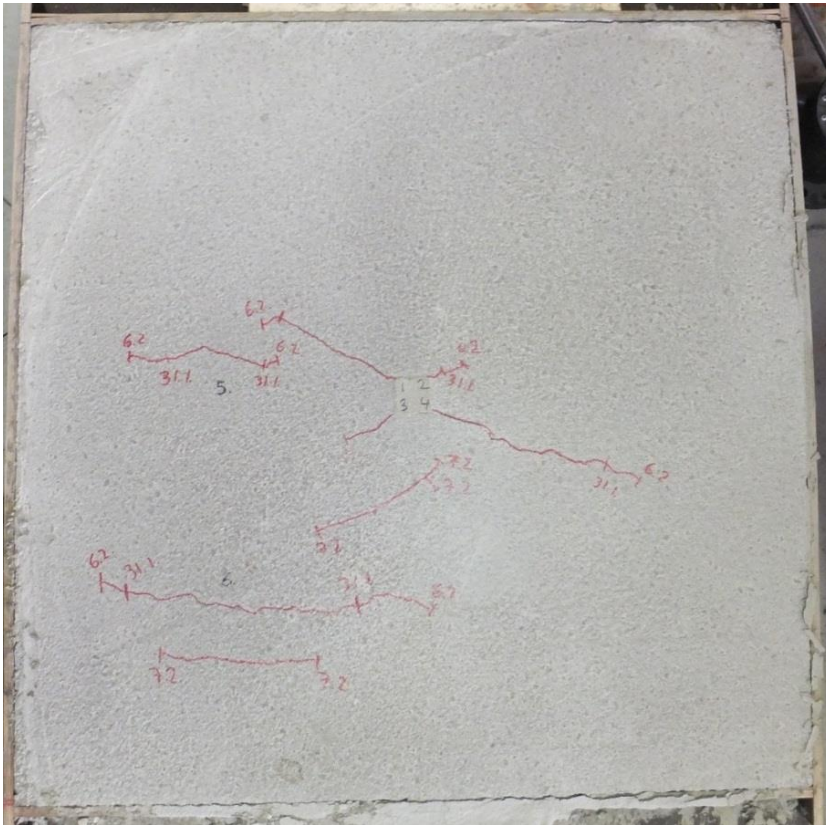
### 5.3 Laattakokeet

Valetuista estetyn kutistuman laatoista tarkkailtiin laattaan ilmestyvien halkeamien määrää ja suuruutta silmämääräisesti ja vertailtiin niitä toisiinsa. Kuvat 10-13 on otettu laatoista, kun massasta 1 tehty laatta saavutti 28 vuorokauden iän, näitä laatoissa näkyviä permanenttitussilla vahvennettuja halkeamia vertailemalla voidaan arvioida koemassan plastisen vaiheen halkeamaherkkyttä. Laattoja tarkkailtiin 28 vuorokauteen ikään saakka, mutta laatoissa olevissa halkeamissa ei tapahtunut muutoksia näiden kuvien ottamisen jälkeen.

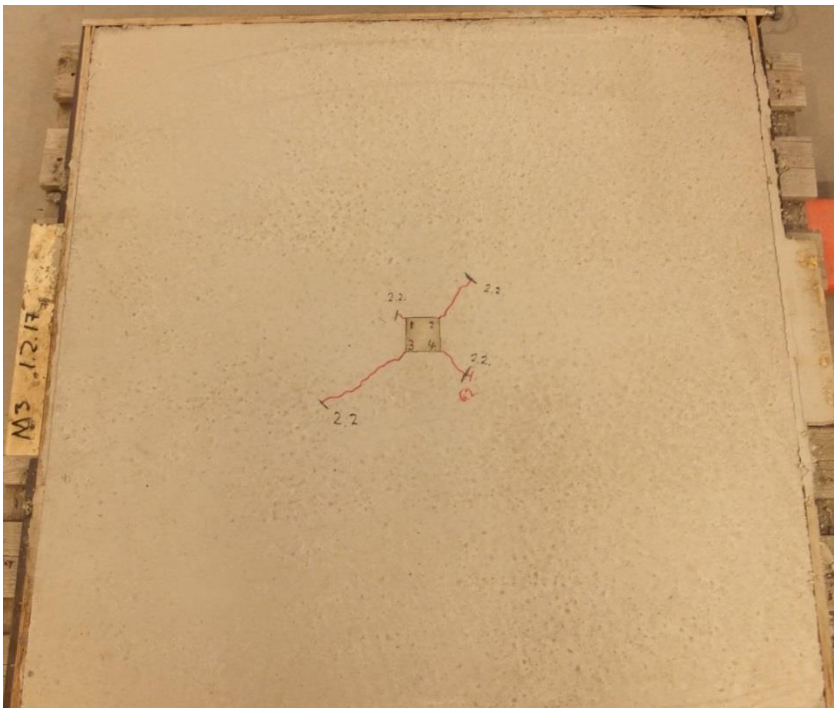


*KUVA 10. Massasta 1 tehty estetyn kutistuman laatta, kuvattu 22.2., laatan ikä kuvaushetkellä 28 vuorokautta*

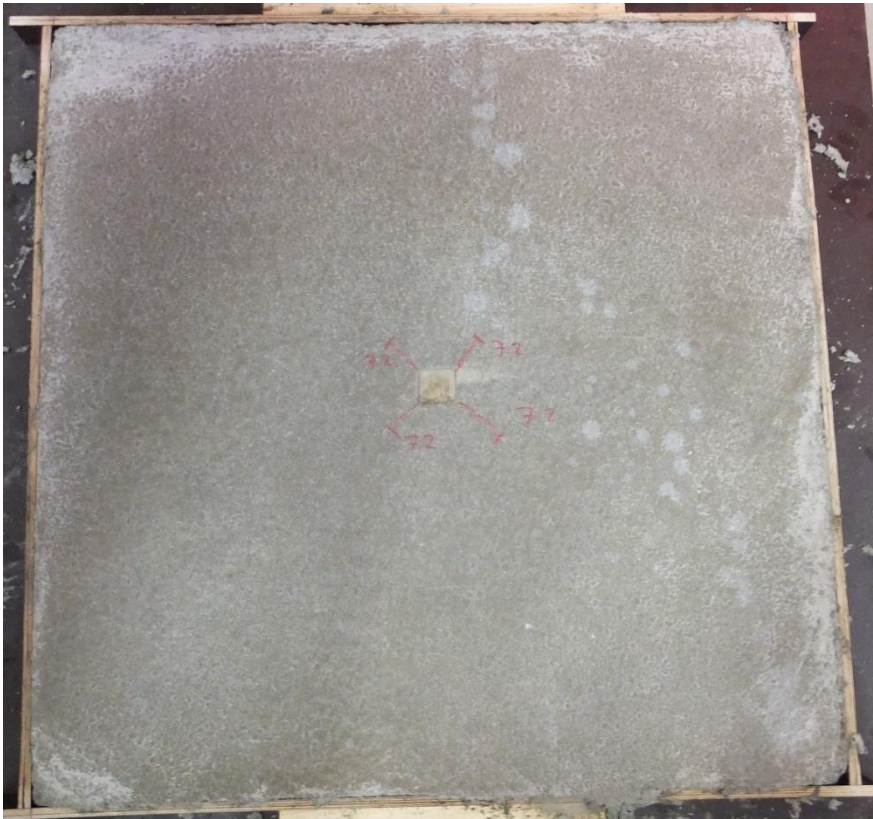




KUVA 11. Massasta 2 valettu estetyn kutistuman laatta, kuvattu 22.2., laatan ikä kuvaushetkellä 23 vuorokautta.



*KUVA 12. Massasta 3 valettu estetyn kutistuman laatta, kuvattu 22.2., laatan ikä kuvaushetkellä 21 vuorokautta.*



*Kuva 13. Massasta 4 valettu estetyn kutistuman laatta, kuvattu 22.2., laatan ikä kuvaushetkellä 16 vuorokautta.*

## 6 LABORATORIOTULOSTEN JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuoreelle massalle tehtyjen testien tuloksista voidaan huomata, että kuonan lisäys parantaa betonimassan työstettävyyttä lisäämällä betonin notkeutta. Kuonan lisäys ei kasvata merkittävästi massan täryrajaa, joten jopa suuria määriä kuonaa käytettäessä voidaan valettu laatta hiertää lähes yhtä nopeasti, kuin vertailumassalla tehty laatta. Perusmassaan verrattuna täryraja siirtyi 50 prosentin kuonamassassa noin tunnilla eteenpäin.

Betonimassan lämmöntuottoarvot muuttuivat huomattavasti, kun kuonaa käytettiin Rapidsementin sijaan. 50 prosentin kuonamassan ja vertailunäytteen lämpötilojen erotus oli korkeimmillaan noin 6,5 celsiusastetta, kun notkistetun perusmassan kohdalla erotus oli jopa 16 celsiusastetta. Tätä eroa ei kuitenkaan voida näissä tehdyissä kokeissa hyödyntää, mutta erityisesti paksuissa lattialaattavaluissa lämpiminä kesäkuukausina tämä voi olla hyödyllinen ominaisuus. Ensimmäisen massan eli perusreseptillä tehdyn valun kohdalla kalorimetrit sijoitettiin tilaan, jossa huoneen lämpötila oli noin 14 astetta, joten vertailumassan osalta tulosten luotettavuus on kyseenalainen. Vertailumassan koostumus on kuitenkin hyvin lähellä massan 5 koostumusta, joten myös massojen lämmöntuottoarvojen pitäisi olla hyvin lähellä toisiaan.

Betonin ilmamäärää tarkkailtiin, jotta voitiin nähdä betonimassan sekoittuneen oikein ja mikäli tuloksissa olisi huomattu suuria heittoja, olisi ilmamäärää voitu tarkastella yhtenä syynä poikkeaviin tuloksiin. Ilmamäärän tulosten perusteella kuonan lisäys vähentää hieman massan ilmamäärää.

Betonin plastisessa vaiheessa syntyvää halkeilualttiutta arvioitiin vertaamalla eri reseptillä valettujen kutistumalaattojen halkeilua silmämääräisesti. Plastiseen halkeilun määrän perusteella laatat, joissa käytettiin eniten kuonaa, sekä laatta jossa perusreseptin sekaan lisättiin polymeerikuituja, halkeilivat huomattavasti vähemmän kuin vertailumassasta valettu laatta. Kuitumassan kohdalla betonimassa jäi kuitenkin jopa 0,7 prosentin notkistinmäärällä niin jäykäksi, että se ei soveltuisi sellaisenaan käytettäväksi lattiavaluissa.

Yksi syy kuonamassan vähäiseen halkeiluun voi olla massasta erottuvan veden määrän kasvaminen kuonaa käytettäessä. Vertailumassaan verrattuna 50 prosenttia kuonaa sisältävästä massasta erottui vettä yli 100 % enemmän, eli käytännössä betonin pinnasta voi haihtua enemmän vettä ympäristön olosuhteiden vuoksi, sen kuitenkaan aiheuttamatta suuria halkeilua mahdollisesti aiheuttavia jännityksiä betonimassaan.

Betonin puristuslujuus kehittyi huomattavasti hitaammin erityisesti lujudenkehityksen alkuvaiheessa, kun Rapidsementtiä korvattiin kuonalla. Kun betonimassan käyttökohteena on lattialaatat tai pintabetonilattiat, ei betonilta vaadita kuitenkaan välttämättä suurta kuorman kantokykyä heti valun jälkeen. Vaikka Rapidsementtiä korvataan kuonalla, jopa 50 prosenttia kuonaa sisältävä betonimassa ylittää 28 vuorokauden iässä vertailumassan tavoitelujuuden C25/30.

Kuivumiskutistumasta voidaan todeta, että käytettäessä Rapidsementin sijasta kuonaa, betonin kutistuma jää huomattavasti pienemmäksi kuin pelkkää Rapidsementtiä käytettäessä. Betonin notkistaminen lisäämällä betonin vesimäärää, mikä kasvattaa vesi-sementtisuhdetta, ei vaikuta suuresti betonin kutistumaan, kuten ei myöskään pieni notkistinmäärän lisäys. Tämä nähdään, kun vertaillaan massan 1 ja 5 välisiä kutistumia. Massassa 5 vesi-sementtisuhdetta nostettiin massaan 1 verrattuna 0,66:sta 0,68:aan, sekä notkistinmäärää kasvatettiin 0,35 prosentista 0,50 prosenttiin. Tämä ei kuitenkaan nostanut kutistumaa, vaan mittausten perusteella kutistuma pysyi lähes samana. Vertailumassaan verrattuna 50 prosenttia kuonaa sisältävän massan kutistuma pieneni lähes 20 prosenttia.

## 7 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia masuunikuona-Rapidsementtiyhdistelmillä valmistettujen betonimassojen soveltuvuutta käytettäväksi betoni - ja pintabetonilattioissa. Kokeissa pyrittiin selvittämään masuunikuonajauheen lisäämisen vaikutusta betonilattiavaluissa olennaisiin ominaisuuksiin, kuten halkeiluun sekä kutistumaan.

Saatujen koetulosten perusteella masuunikuonaa voidaan käyttää suuriakin määriä Rapidsementin seosaineena ja saada tällä tavalla tehtyä hyvin notkeaa, lattiavaluun soveltuvaa betonimassaa, joka kutistuu vähemmän sekä on vähemmän riskialtis plastisessa vaiheessa syntyvälle halkeilulle.

Kokeiden perusteella saatiin aikaiseksi resepti, jolla valmistettu massa soveltuu ominaisuuksiltaan lattiavaluun. Tämän opinnäytetyön tuloksien perusteella opinnäytetyön tilaajat päättivät lähteä jatkotutkimaan tässä opinnäytetyössä suhteitettua 50 prosentin kuonamassaa tekemällä tällä massalla koevalun työkohteessa. Kohteessa valettiin omakotitaloon 100 mm:n paksuinen lattialaatta. Valutyön suorittajien mielipide massasta oli, että työstäminen ja valun onnistuivat massalla aivan samalla tavalla kuin tavanomaisella lattiabetonimassalla, myöskään pinnan viimeistelyssä eli ”liippauksessa” ei havaittu suurta eroa tavanomaiseen lattiabetonimassaan. Tämän koevalun jatkotarkkailu rajattiin kuitenkin opinnäytetyön ulkopuolelle aikataulusyistä.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin erityisesti kuonan lisäämisen vaikutuksia lattiamassan työstettävyyteen, lattian halkeiluun ja kutistuman määrään. Massoja voisi jatkotutkia, esimerkiksi kuonan lisäämisen vaikutus betonin kuivumisen nopeuteen tai kulutuskestävyyteen vaatisi lisätutkimuksia. Erityisesti betonin kuivumisnopeus voi vaikuttaa siihen, minkälaisiin kohteisiin tätä kuonamassaa voitaisiin käyttää, koska kuivumisnopeus on rajoittava tekijä erityisesti mikäli laatan pintaan asennetaan kosteusvaatimuksiltaan tiukkoja pintamateriaaleja.

Mikäli valussa tavoitellaan esimerkiksi kutistuman pienentämistä, soveltuu kuona siihen mainiosti. Kuonan käyttö on myös taloudellisesti kannattavaa, koska kutistumaa vähentävien lisäaineiden sijaan osan sementistä voi korvata masuunikuonajauheella ilman tarvetta lisätä kalliita kutistumaa vähentäviä aineita samalla vähentäen käytetyn sementin määrää.

Tässä opinnäytetyössä tehdyt koevalut antavat hyvän pohjan jatkotutkia Rapidsementin ja masuunikuonan yhteiskäyttöä betonimassoja valmistettaessa. Mikäli näitä tuloksia haluaa hyödyntää, tulee käytettävät reseptit ennakkotestata, mikäli reseptissä käytettäviä ainesosia, kuten runkoainetta muutetaan.

## LÄHTEET

1. SFS-EN 12390-3 2009. Kovettuneen betonin testaus. Osa 3: Koekappaleiden puristuslujuus. Suomen standardoimisliitto SFS Ry.
2. Betonijulkisivujen materiaali- ja valmistustekniikka 2000. Suomen Betoniyhdistys ry.
3. Finnsementti. Tuotteet. Masuunikuonajauhe KJ400. Tuote-esite Suomeksi. Saatavissa: <http://www.finnsementti.fi> Hakupäivä 13.11.2016
4. Ruskon Betoni. Yritys. Saatavissa: <http://www.ruskonbetoni.fi>. Hakupäivä 13.11.2016
5. By45 2014. Betonilattiat 2014. Suomen Betonitieto Oy.
6. Betoniteollisuus Ry. Saatavissa: <http://betoni.com>. Hakupäivä 5.12.2016.
7. By 201 2004. Betonitekniikan oppikirja 2004. Suomen Betonitieto Oy.
8. By 50 2012. Betoninormit 2012. Suomen Betonitieto Oy.
9. Finnsementti Oy. Suomalainen Sementti -opas. Saatavissa: [http://www.finnsementti.fi/files/pdf/FS\\_Suomalainen\\_sementti\\_kirjanen\\_071112.pdf](http://www.finnsementti.fi/files/pdf/FS_Suomalainen_sementti_kirjanen_071112.pdf). Hakupäivä 18.12.2016.
10. Betoniteollisuus Ry. Saatavilla: <http://www.valmisbetoni.fi>. Hakupäivä 3.1.2016.
11. Finnsementti. Tuotteet. Rapidsementti. Tuote-esite Suomeksi. Saatavilla: <http://www.finnsementti.fi>. Hakupäivä 24.3.2017.
12. By 65 2016. Betoninormit 2016. Suomen Betonitieto Oy.
13. By 67 2016. Betonin kutistuman ja halkeilun hallinta 2016. Suomen Betonitieto Oy.
14. The Concrete Society. [www.concrete.co.uk](http://www.concrete.co.uk) -> Technical information -> Concrete @ your Fingertips -> alphabetical list -> Bleeding and segregation. Hakupäivä 3.2.2017
15. Bly-13 2012. Polymeerikuidut betonissa 2012. Suomen Betonitieto Oy.
16. SFS-EN 480-4. 2006. Betonin, laastin ja juotoslaastin lisäaineet. Testausmenetelmät. Osa 4: Betonin vedenerottumisen määrittäminen. Suomen Standardoimisliitto SFS ry.

## **LIITTEET**

Liite 1 Kalorimetrillä määritetyt lämmöntuottoarvot massalle 1

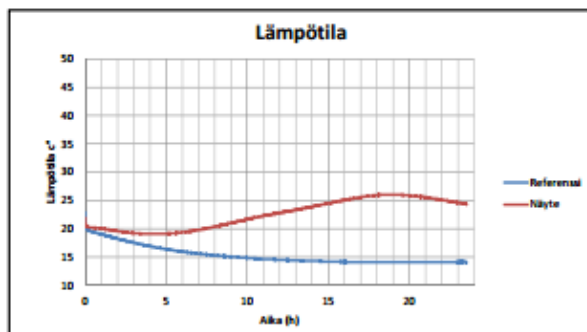
Liite 2 Kalorimetrillä määritetyt lämmöntuottoarvot massalle 2

Liite 3 Kalorimetrillä määritetyt lämmöntuottoarvot massalle 3

Liite 4 Kalorimetrillä määritetyt lämmöntuottoarvot massalle 4

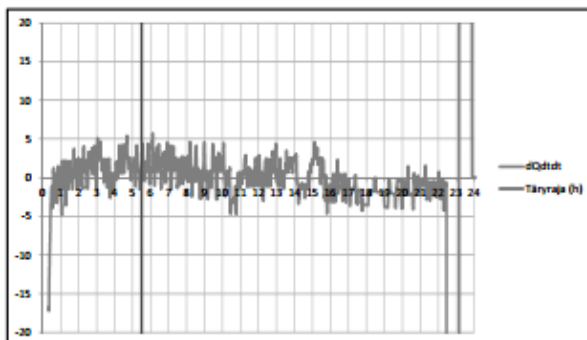
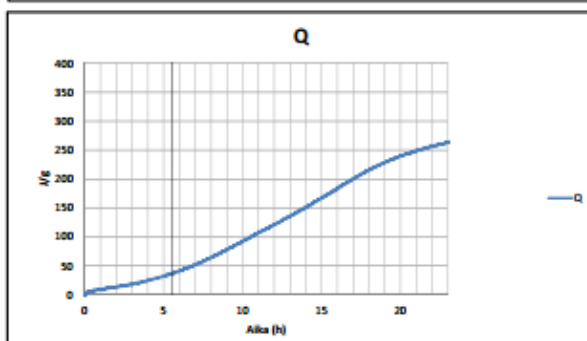
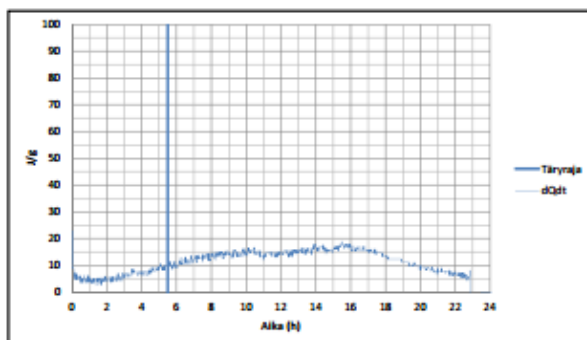
Liite 5 Kalorimetrillä määritetyt lämmöntuottoarvot massalle 5

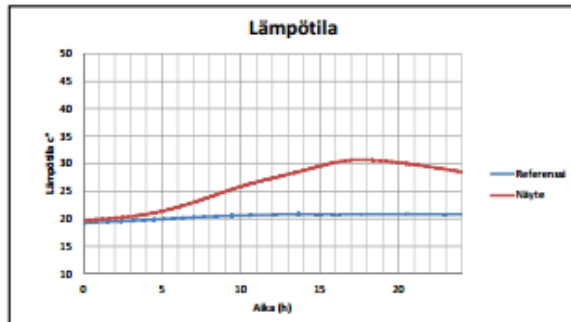




Massan tiedot:

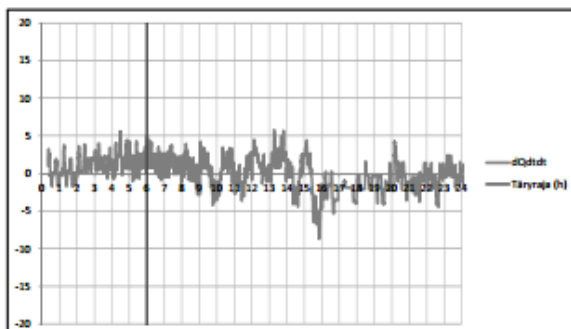
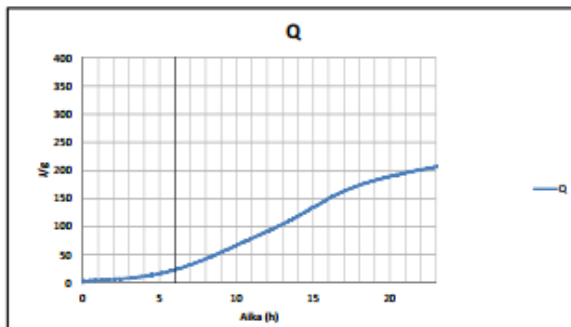
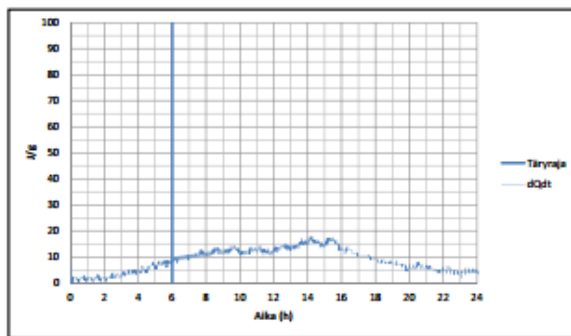
Sementti:	Massa 1, vertailu
Näytteen massa (g):	2000
Sementti (g):	297
Vesi (g):	196
Kiviaines (g):	1506
Täryraja (h:min):	5:30

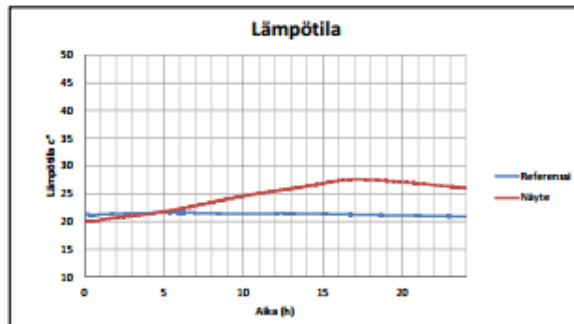




Massan tiedot:

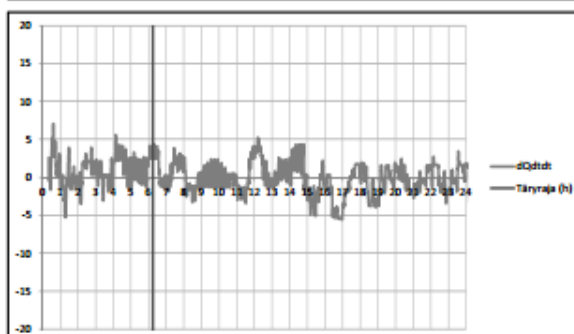
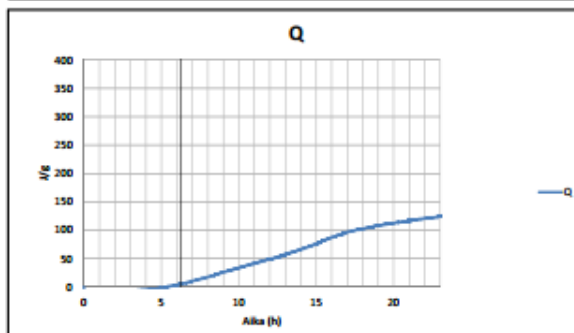
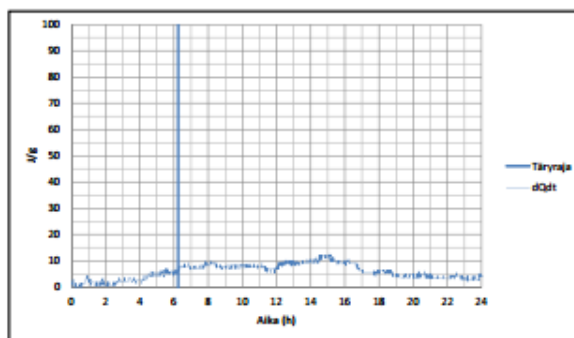
Sementti:	Massa 2, kuona 25%
Näytteen massa (g):	2000
Sementti (g):	297
Vesi (g):	197
Kiviaines (g):	1506
Täryraja (h:min):	6:00

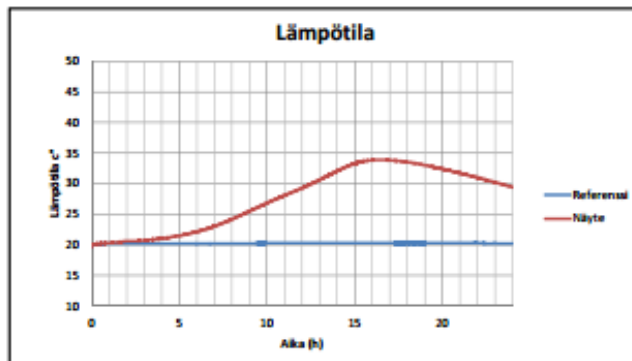




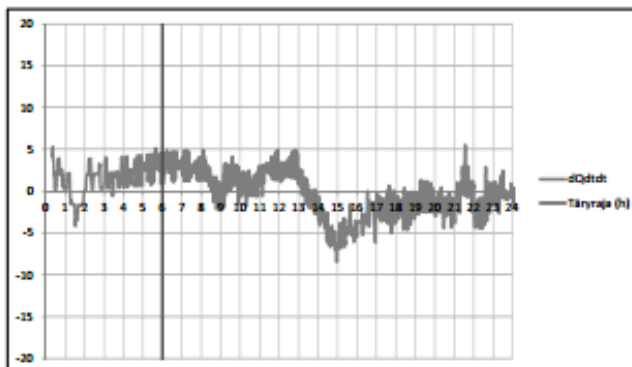
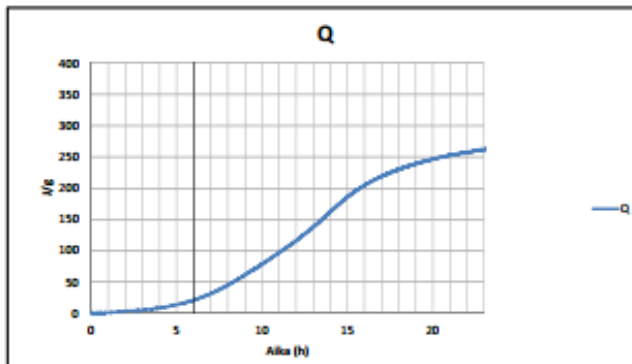
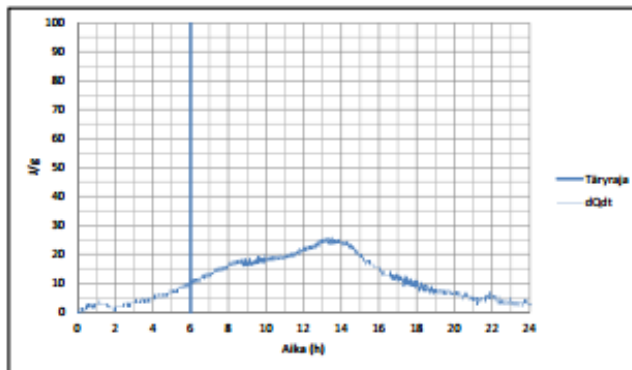
Massan tiedot:

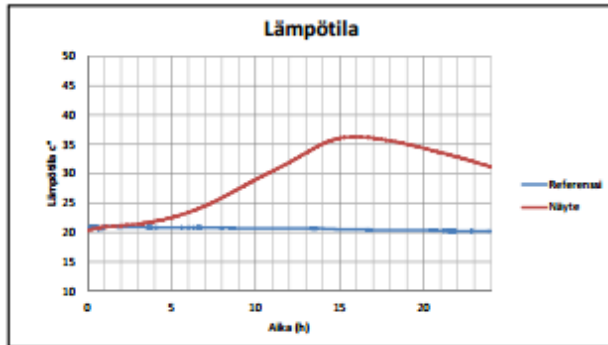
Sementti:	Massa 3, 50% kuona
Näytteen massa (g):	2000
Sementti (g):	297
Vesi (g):	196
Kiviaines (g):	1506
Täryraja (normin):	6:20





Massan tiedot:	
Sementti:	Massa 4, vertailu
Näytteen massa (g):	2000
Sementti (g):	297
Vesi (g):	196
Kiviaines (g):	1506
Täryraja (h:min):	6:00





Massan tiedot:

Sementti:	Massa 5, notkiat
Näytteen massa (g):	2000
Sementti (g):	296
Vesi (g):	201
Kiviaines (g):	1501
Täryraja (h:min):	5:30

