

Johanna Ahola

# Betonin lujuuden laatuongelmat ja niihin vaikuttavia tekijöitä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööriytyö

13.9.2018

Tekijä(t) Otsikko	Johanna Ahola Betonin lujuuden laatuongelmat ja niihin vaikuttavat tekijät
Sivumäärä Aika	51 sivua + 5 liitettä 13.9.2018
Tutkinto	Insinööri (YAMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Korjausrakentaminen (YAMK)
Ohjaaja	Lehtori Juha Virtanen Ryhmäpäällikkö Kurt Kokko
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, mitkä asiat vaikuttavat valmiin kovettuneen betonin laatuun. Työssä keskityttiin betonin lujuuteen.</p> <p>Tutkimus suoritettiin haastattelemalla betonialan asiantuntijoita sähköpostitse. Kysely lähetettiin 23 asiantuntijalle yrityksiin, oppilaitoksiin ja tutkimuslaitoksiin. Vastauksia saatiin 15 eri asiantuntijalta. Kysymysten aiheina olivat betonin lujuusongelmat ja ilmamäärä, betonin valmistuksen kriittiset kohdat, raaka-aineiden yhteensopivuus sekä jälkihoidon ja kovettumisaikojen vaikutus betonin laatuun. Haastattelututkimuksen perusteella ei voitu osoittaa selkeästi vain muutamaa syytä betonirakenteiden ongelmiin. Ongelmat katsottiin monen asian summaksi.</p> <p>Osana tutkimukseen otettiin mukaan yhteistyössä Tampereen ammattikorkeakoulun kanssa tehdyt betonimassan ilmamäärämittaukset ja betonimassan puristuslujuuden mittaukset, Contestan kanssa tehty tutkimus betonimassan kuljetuksen vaikutuksesta betonin lujuuteen sekä pääkaupunkiseudun rakennusvalvontojen kanssa yhteistyössä tehty tutkimus massiivisista kantavien rakenteiden valuista.</p> <p>Tämän työn aikana havaittiin, että lähes jokainen vaihe betonin valmistuksessa vaikuttaa lopullisen kovettuneen betonin lujuuteen. Suunnittelijan, betonimassan valmistajan, kuljettajan sekä työmaan tulee tehdä työ laadukkaasti ja parempaan lopputulokseen päästään, jos vaiheet tehdään ”liian hyvin”, ei rimaa hipoen.</p>	
Avainsanat	Betoni, laatu

Author(s) Title	Johanna Ahola Quality Problems of Concrete strength and factors affecting them
Number of Pages Date	51 pages + 5 appendices 13 September 2018
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Master's Degree Programme in Civil Engineering
Specialisation option	Building renovation
Instructor(s)	Juha Virtanen, Lecturer Kurt Kokko, Head of unit
<p>The purpose of this thesis was to find out which factors affect the quality of finished hardened concrete. The study focused on concrete strength.</p> <p>The research was conducted by interviewing concrete experts via email. These questions were sent to 23 experts for companies, educational institutions and research institutes. Answers were received from 15 different experts. The topics of the questions were concrete strength problems and air volume, critical points of concrete preparation, compatibility of raw materials, and effect of post-treatment and curing on concrete quality. Based on the interview study, it was not possible to clearly show only a few reasons for the problems of concrete structures. Problems were considered as a sum of many things.</p> <p>As part of the research, the air volume measurements of the concrete and the compressive strength measurements of the concrete were carried out in co-operation with the Tampere University of Applied Sciences. Also the impact of concrete transportation on the strength with Contesta was studied there. Furthermore, the massive concrete pouring was studied with the Helsinki Metropolitan area building control.</p> <p>The study found out that almost every step in the production of concrete affects the strength of the final hardened concrete. The designer, the concrete manufacturer, the driver, and the construction site must take care in their tasks. Better results are achieved if the steps are completed "too well" and not too close to the bar.</p>	
Keywords	Concrete, quality

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus	1
2	Valmisbetoni	2
2.1	Historia	2
2.2	Raaka-aineet	3
2.2.1	Vesi	3
2.2.2	Sementti	4
2.2.3	Runkoaine	6
2.2.4	Lisäaineet	6
2.2.5	Seosaineet	8
3	Raaka-aineiden laatutekijät	9
3.1	Runkoaine	9
3.2	Sementti	10
3.3	Vesi	10
3.4	Seosaineet	11
3.5	Lisäaineet	11
4	Betonin valmistus ja laadunvalvonta	12
5	Valmisbetonin valmistuksessa vaikuttavat tekijät ja ominaisuudet	14
5.1	Suhteitus	14
5.2	Notkeus	14
5.3	Ilmapitoisuus	16
5.4	Raaka-aineiden punnitus	17
5.5	Suunnitteluikä	18
6	Toimitus ja sen vaikutus laatuun	19
6.1	Kuljetus	19
6.2	Purku	20
6.3	Pumppaustyö	20

7	Työmaan työvaiheet ja niiden vaikutus lopullisen tuotteen laatuun	21
7.1	Valu ja valunopeus	21
7.2	Tiivistys	22
7.3	Hierro	22
7.4	Jälkihoito	22
7.5	Lujuuden seuranta	23
8	Betonin laadunvalvonta	25
9	Haastattelututkimus betoniongelmista ja laadusta	28
9.1	Betonin lujuusongelmat ja suuret ilmamäärät	28
9.2	Betonimassan valmistuksen kriittiset kohdat	29
9.3	Betonin raaka-aineiden yhteensopivuus ja niiden käyttö	30
9.4	Jälkihoidon ja kovettumisajan vaikutus betonin laatuun	30
10	Testaukset betonimassan ilmamääristä ja betonin puristuslujuuksista	32
10.1	Betonimassan ilmamäärämittaukset, TAMK	32
10.2	Betonikuutioiden puristuslujuuskokeet C25/30, TAMK 1.2.2017	33
10.2.1	Tulosten tarkastelu	35
10.3	Betonikuutioiden puristuslujuuskokeet C35/45 P50 P-luku betoni, TAMK 10.5.-1.6.2017	36
10.3.1	Tulosten tarkastelu	38
10.4	Betonikuutioiden puristuslujuuskokeet, Contesta	39
10.4.1	Tulosten tarkastelu	39
11	Tutkimus massiivisten valujen työmaista	40
11.1	Betonintoimittajan ja työmaan yhteistyö	41
11.2	Työmaan betonoinnin käytännöt	41
11.3	Betonintoimittajan ja työmaan dokumentointi ja laadunvalvonta	42
12	Miten varmistetaan lujuuden kannalta hyvä lopputulos?	44
12.1	Suunnittelu	44
12.2	Betonimassan valmistus	44
12.3	Kuljetus, pumppaus ja valu	45
12.4	Työmaa	46
12.5	Valvonta	47
13	Pohdinta	48

Liitteet

Liite 1. Ilmamäärämittaukset

Liite 2. Puristuslujuuskokeet

Liite 3. Puristuslujuuskokeet P-luku betonille

Liite 4. Puristuslujuuskokeet Contesta

Liite 5. Tukes, PKS-rava kyselylomake

## Lyhenteet ja selitteet

Karbonatisoituminen	Betonin emäksisyyden lasku, kun betoni reagoi ilman hiilidioksidin kanssa
Korroosio	Materiaalin muuttuminen ympäristön vaikutuksesta käyttökeltottomaan muotoon.
Polymeeri	Molekyyli, jossa useat pienet molekyylit ovat liittyneet toisiinsa kemiallisin sidoksin
Stabilointi	Vakauttaminen
Tukes	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto

## 1 Johdanto

Syksyllä 2016 Turun sairaalatyömaalla tuli esille valuissa suuria ”rotankoloja”, joiden vuoksi rakenteiden lujuutta alettiin selvittää. Myös Tukes omalta osaltaan ryhtyi selvittämään asiaa. Tukesille perustettiin muutaman hengen betonitiimi.

Selvitysten edetessä minulle tarjoutui mahdollisuus tehdä betonin laatuongelmista opinäytetyö, jossa tilaajana on Tukes. Otin tehtävän ilomielin vastaan.

Tukesin toimesta teimme yhteistyössä Tampereen Ammattikorkeakoulun kanssa eri tavoin tehtyjä betonimassan koekuutioita, joista määritettiin puristuslujuutta sekä ilmamäärää. Teimme myös yhteistyössä Contestan kanssa näytesarjan betonimassan kuljetuksen ja pumppauksen vaikutuksesta massan ominaisuuksiin.

Työhön haastateltiin betoniteollisuuden ja suunnittelun asiantuntijoita. Vastauksia sähköpostihaastatteluun saatiin yhteensä 15 eri henkilöltä. Näistä vastauksista koottiin yhteenveto.

Työssä pohdittiin, millä keinoin päästään hyvänlaatuiseen rakenteeseen, joka vastaa käyttöikänsä ja käytettävyydeltään tilattua tuotetta.

### 1.1 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus

Tässä työssä käsitellään betonin valmistusta ja sitä millä keinoin varmistetaan, että lopputuloksena saadaan halutun lujuuden omaavaa betonia.

Työssä ei käsitellä betonin kuivumista, ei oteta kantaa käyttöikänsä eikä karbonatisoitumiseen. Ulkopuolelle on myös rajattu ilmamäärän säilyvyys, betonin kosteus, visuaaliset asiat, betonirakenteiden halkeilu ja kutistuma.



## 2 Valmisbetoni

### 2.1 Historia

Rooman Pantheon on yksi maailman tunnetuimista vanhoista betonirakenteista. Nykyisin käytettävän betonin käyttäminen alkoi, kun Portland-sementti keksittiin 1800-luvun alussa ja sen käyttö lisääntyi nopeasti 1900-luvulla. Alkujaan betonia käytettiin Suomessa valetuissa portaissa, jotka ovat vieläkin käytössä näissä vanhoissa kivitaloissa.

1800-luvun puolessa välissä aloitettiin raudoitusten kokeilu betonissa. Betonia kutsuttiin keinokiveksi, joka oli valettu muottiin ja jossa oli rautoja seassa. Tämä avasi aivan uudet mahdollisuuden suurien, avarien rakennusten suunnitteluun sekä siltojen rakentamiseen. Pariisin maailmannäyttelyn jälkeen tällaisesta rungon rakentamisesta levisi maailmanlaajuisesti vuonna 1900. Helsinkiin rakennettiin nopeasti sen ajan uutta betoniarkkitehtuuria ja -tekniikkaa olevia julkisia tunnettuja rakennuksia kuten Helsingin rautatieasema, Stockmann ja Eduskuntatalo.

1900-luvun alun teollistuminen ja kaupungistuminen Suomessa vaati rakentamista, mikä toteutettiin aluillaan olevan betonitekniikan avulla, sitä sovellettiin kaikilla rakentamisen alueilla. Betonin muokattavuus tarjosi uusia mahdollisuuksia, joita esimerkiksi Alvar Aalto hyödynsi töissään 1930-luvulla ja siitä eteenpäinkin.

Betonin käyttö lisääntyi tie- ja liikennerakentamisessa, vesi- ja viemärintijärjestelmien rakentamisessa sekä teollisuus- ja tuotantorakennusten rakentamisessa. Holvi- ja kaarisilloilla parannettiin liikenneyhteyksiä ja lähes suurin osa kaupunkien ja kuntien viemäroinneistä ja vesitorneista rakennettiin betonista.

Betonirakentamista kritisoitiin Suomessa 1960-70-luvulta lähtien. Maalta muutettiin kaupunkiin ja työpaikat keskittyivät kaupunkiin. Tämä vaati edullista ja nopeaa ja hyvin varusteltua rakentamista. Rakentamisella tyydytettiin perustarpeet. Ainoana ratkaisuna pidettiin elementtirakentamista suurien asuntomäärien saavuttamiseksi.

Betonin kehitystyö alkoi 1980-luvulla ja jatkui 1990-luvulle rakenteiden monimuotoisuutena. 1990-luvulla kehittyivät koko rakennuksen ominaisuudet, elinkaarikustannukset

sekä ympäristövaikutukset. Myös arkkitehtuurilla oli vaikutuksensa. Alettiin kilpailla ääneneristävyydellä, taloudellisuudella, kosteusteknisillä ominaisuuksilla sekä taloudellisuudella ja ulkonäöllä. [2.]

## 2.2 Raaka-aineet

Betonin raaka-aineita ovat vesi, sementti, runkoaine, seosaineet ja lisäaineet. Alla olevassa taulukossa on esitetty betonin raaka-aineet ja niiden vaatimukset esimerkiksi CE-merkintä.

Taulukko 1. Betonin raaka-aineet

Raaka-aine	CE-merkintä / vaatimukset	SFS-EN
Vesi	Juomavesikelpoinen vesi	
Sementti	x	197-1:2011
Runkoaine	x	12620:2002+A1:2008
Hidastimet	x	934-2:2009+A1:2012
Notkistimet	x	934-2:2009+A1:2012
Huokostimet	x	934-2:2009+A1:2012
Kiihdyttimet	x	934-2:2009+A1:2012
Pakkaslisäaineet	x	934-2:2009+A1:2012
Lentotuhka	x	450-1:2012
Granuloitu masuunikuona	x	15167-1:2006
Silika	x	13263-1:2005+A1:2009

### 2.2.1 Vesi

Tavallinen juomavesi soveltuu betonin valmistukseen. Betoniin ei sovellu humuspitoinen suovesi tai järvivesi, sillä nämä haittaavat sementin kovettumisreaktiota. Erityisesti sokereita sisältävää vettä on vältettävä, koska sokerit hidastavat tai jopa estävät betonin kovettumisen. [2.]

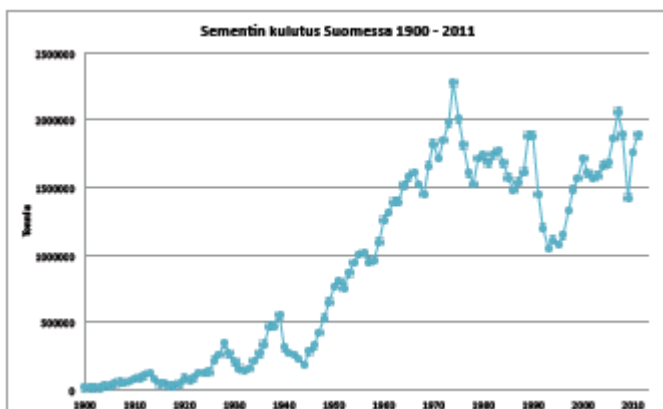
Veden ja sementin suhde vaikuttaa betonin lujuuteen. Tämä tarkoittaa betonissa olevan vesimäärän ja sementin painon suhdetta. Betonin työstettävyyys paranee veden lisäyksellä, mutta mitä enemmän vettä on, niin sitä enemmän se vaikuttaa lujuutta alentavasti. Tästä syystä lujuuden pitämiseksi on myös sementin määrää lisättävä.

”Pieni vesimäärä sementin määrään verrattuna takaa betonille sekä hyvän lujuuden että hyvän tiiviyyden.” [9.]

## 2.2.2 Sementti

Maailman yleisin sideaine on sementti. Sementin pääraaka-aine on kalkkikivi. Kalkkikiveä esiintyy lähes kaikkialla maailmassa. Sementtiklinkkeri koostuu pääasiassa viidestä maankuoren yleisimmistä alkuaineista: hapesta (O), piistä (Si), alumiinista (Al), raudasta (Fe) ja kalsiumista (Ca).

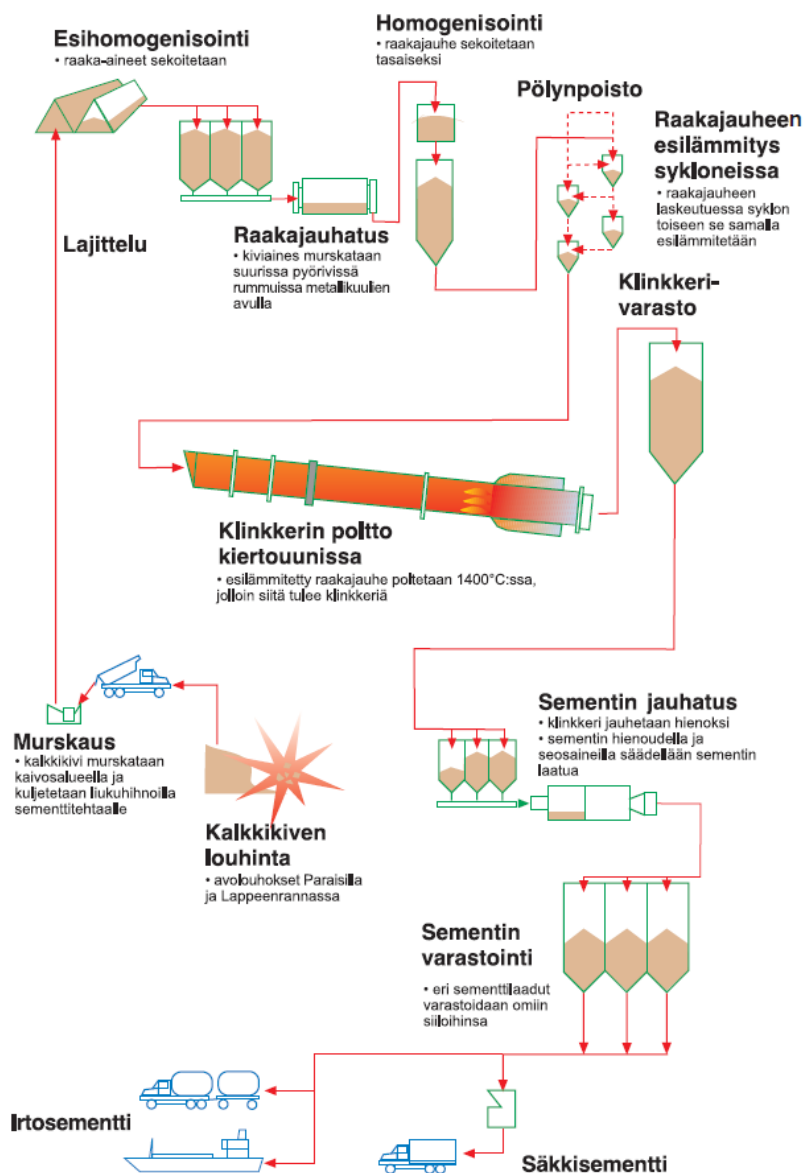
Suomen esiintyy valkoista tai harmaata kalkkikiveä. Nämä esiintymät palvelevat vielä satoja vuosia, vaikka sementin tuotanto lisääntyisi merkittävästi tämän päivän tasosta. Kaaviossa 1. on kuvattu sementin kulutusta Suomessa vuosina 1930-2010. [14, s. 9.]



Kaavio 1. Sementin kulutus Suomessa. [14, s. 11.]

Rakennussementti valmistetaan klinkkeristä, seosaineista ja kipsistä kuulamylyllä jauhamalla hienoksi jauheeksi. Kalkkikiveä ja granuloitua masuunikuonaa käytetään seosaineina. Kipsiä lisätään sementin sitomisajan säätämiseksi. Klinkkerin koostumuksella,

jauhatushienoudella ja seosaineiden suhteilla säädetään rakennussementtien ominaisuuksia. Seuraavalla sivulla kaaviossa 2. on kuvattu sementin valmistamista kuivamenetelmällä. [14, s.13.]



Kaavio 2. Sementin valmistaminen kuivamenetelmällä. [14, s.14.]

Sementti on hienorakenteinen hydraulinen sideaine, joka reagoi veden kanssa muodostaen lujan ja kestäväen lopputuotteen. Sementtiä käytetään pääasiassa betonin sideaineena, joka on maailman yleisimmän rakennusaineen. Sementin käytetään myös erilaisien laastien ja tasoitteiden sekä maaperän stabilointiin. [13.]

### 2.2.3 Runkoaine

Kiviaines on yleensä luonnonkiviainesta tai tänä päivänä murskattua luonnonkiviainesta. Kevytsoraa voidaan käyttää myös luonnonkiviaineksen sijasta. Kiviaineksen tulee olla CE-merkattua ja tarkastettua. [25.]

Runkoainetta on betonissa 60-80%. Runkoaineella on suuri merkitys betonin ominaisuuksiin. Yleisimmin käytetään graniittipohjaista kiviainesta. [25.]

### 2.2.4 Lisäaineet

Betonin lisäaineina käytetään polymeerejä, joilla säädellään esimerkiksi betonin notkeutta, ilmapitoisuutta tai kovettumisnopeutta. Lisäaineita käytetään etupäässä vaativiin olosuhteisiin tulevista betoneista. [4.]

#### 2.2.4.1 Hidastimet

Hidastimien avulla valaminen lämpimissäkin olosuhteissa on mahdollista. Hidastimilla betonin sitoutumisen alkua pidennetään. Niiden avulla betonin työstettävyyttä pitenee. Tällä varmistetaan betonin valaminen myös kuumissa olosuhteissa. Hidastimia käytetään erikoisbetonoinneissa, esim. liukuvaluissa sekä suurien yhtenäisten laattojen valuissa. [15.]

#### 2.2.4.2 Notkistin

Notkistimilla betonista saadaan helpommin valettavaa ja korkeampilaatuista. Notkistimilla voidaan päästä jopa 30 %:n vedenvähennykseen ja säilyttää betonin työstettävyyden ennallaan. Samalla voidaan vähentää sementtimäärää, koska veden vähennys kasvattaa myös lujuutta. Toisaalta taas pidettäessä sementtimäärä samana, voidaan alhai-

semmalla vesisementtisuhteella saavuttaa korkeampia lujuuksia. Tämä tekee mahdolliseksi hoikempien rakenteiden valmistamisen ja paremman pitkäaikaiskestävyyden. Notkistimien avulla kasvatetaan varhaislujuutta ja kutistuman hallinta helpottuu.

Itsetiivistyvien massojen valmistuksessa notkistimet ovat välttämättömiä. [18.]

#### 2.2.4.3 Huokostin

Huokostimella pienennetään betoniveden pintajännitystä ja muodostetaan betoniin tarvittava määrä ilmahuokosia sekoitettaessa betonia. Huokostin myös notkistaa voimakkaasti. Vettä erottuu vain vähän ja massa on tasalaatuista ja helposti tiivistettävissä. Huokostimen käyttö on olennaisen tärkeää pakkasenkestävässä betonin valmistuksessa. Eri käyttötarkoitukset ja eri raaka-aineyhdistelmät vaativat aina ennakkokokeita oikean huokostimen löytämiseen. [16.]

#### 2.2.4.4 Kiihdyttimet

Kiihdyttimet nopeuttavat betonin sitoutumista ja kovettumista. Ne myös nopeuttavat varhaislujuuden kehittymistä. Kiihdyttimien avulla mahdollistetaan nopea muottikierto sekä betonointi kylmemmällä säällä. Kiihdyttimien luokkia ovat kovettumista nopeuttavat kiihdyttimet, sitoutumista nopeuttavat kiihdyttimet sekä ruiskubetonikiihdyttimet. [17.]

#### 2.2.4.5 Pakkaslisäaineet

Pakkaslisäaineita käytetään talvella rakennettaessa, jolloin betoni voi jäättyä. Niiden avulla alennetaan veden jäätymispistettä niin, että betoni kestää jopa  $-15\text{ °C}$  pakkaslämpötilaa. Pakkaslisäaineita käytetään elementtien saumausvaluissa, valuharkkojen juotosvaluissa sekä erilaisissa korjaus- ja kiinnitysvaluissa. [20.]

#### 2.2.4.6 Muut lisäaineet

Muita betonimassaa lisättäviä lisäaineita ovat esimerkiksi kuivumiskutistumaa vähentävät notkistimet lattioille, jauhemaiset vesitiiviyyttä parantavat lisäaineet, alumiinipohjaiset paisutinaineet, synteettiset vaahdotusaineet kevytbetonin ja -laastin valmistukseen sekä vedenalaisten betonirakenteiden valun stabilointiaineet. [19.]

## 2.2.5 Seosaineet

### 2.2.5.1 Lentotuhka

”Lentotuhka syntyy kivihiilen palamistuotteena ja se erotetaan savukaasuista sähkö- tai letkusuodattimilla. Lentotuhka kerätään suodattimista voimalaitoksen varastosiiiloihin, joista se puretaan kuljetusvälineeseen hyötykäyttöä varten. Lentotuhkaa voidaan varastoida myös kasoissa, jolloin sen tekniset ominaisuudet poikkeavat siilovarastoidun tuhkan ominaisuuksista.”

Lentotuhka koostuu pääosin seuraavista mineraaleista:

- kvartsi, SiO<sub>2</sub>, 45-55%
- korundi, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 20-30%
- hematiitti, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 8-11%
- Kalsiumoksidi, CaO, 4-7%
- Magnesiumoksidi MgO, 3-5%
- Kaliumoksidi K<sub>2</sub>O, 1-2 %
- Natriumoksidi, Na<sub>2</sub>O, 0-2%. [8.]

Lentotuhkassa on myös raskasmetalleja, joista olennaisimpia ovat molybdeeni, kromi, arseeni, lyijy ja seleeni. Näitä raskasmetalleja on vähän ja raja-arvot pilaantuneille maille ylittävät harvoin. Lentotuhka on harmaata, mitä tummempaa se on, niin sitä enemmän se sisältää hiiltä. [8.]

### 2.2.5.2 Masuunikuona

Masuunikuonajauhetta valmistetaan jauhamalla granuloitua masuunikuonaa. Kuona kehittää sementtiklinkkerin lailla lujuutta, koska sen hydrauliset ominaisuudet syntyvät veden ja sementin reaktiossa tulevan kalsiumhydroksidin vaikutuksesta. Kuonan emäksisyys, lasimaisuusaste sekä kuonajauheen hienous vaikuttavat kuonan hydrauliseen aktiivisuuteen. Kuonan käytöstä on etua massiivisissa valuissa, koska se kehittää vähemmän lämpöä lujittuessaan. [10.]

”Sementillä aktivoituna masuunikuonajauhe reagoi veden kanssa muodostaen pysyvän ja lujan reaktiotuotteen. Käytettäessä sementin ja masuunikuonajauheen seosta sideaineena saadaan betonille monia hyviä ominaisuuksia:

- Kuonajauhe alentaa ja tasaannuttaa betonin lämmönkehitystä, joten se sopii hyvin massiivisiin rakenteisiin.
- Kuonajauhe vähentää lämpökäsittelystä aiheutuvaa betonin lujuska-  
toa.
- Kuonajauheen kovettumisreaktiot jatkuvat pitkään ja antavat betonille korkeat loppulujuudet.
- Kuonajauhe vaalentaa betonin väriä.
- Kuonajauhe tiivistää betonia ja hidastaa näin vieraiden aineiden tunkeutumista betonin sisään.

- Kuonajauhe parantaa betonin pakkassuolakestävyyttä.
- Kuonajauhe parantaa betonin kestävyyttä sulfaattikorroosiota vastaan.
- Kuonajauhe on edullinen sideainevaihtoehto.

Masuunikuonajauhetta käytettäessä on kuitenkin otettava huomioon, että:

- Betonin alkulujuudenkehitys hidastuu erityisesti alhaisissa lämpötiloissa ja
- Betoni vaatii pidemmän jälkihoidon.” [11.]

### 2.2.5.3 Silika

”Silika on mineraalinen seosaine. Silika on hapan, tulenkestävä yhdiste, jonka keskeinen ainesosa on piidioksidi. Silika tiivistää betonia ja sen tehokkuuskertoimen sementtiin verrattuna on moninkertainen. Sähköinen vastus nousee silikan vaikutuksesta, jolloin korroosion alkaminen viivästyy. Silika reagoi sementtireaktiossa vapautuvan kalsiumhydroksidin kanssa ja muodostaa sementtikiven kaltaista lisälujuutta antavaa reaktiotuotetta eli tiivistää betonia.” [24.]

## 3 Raaka-aineiden laatutekijät

### 3.1 Runkoaine

Runkoaineen tulee olla käyttötarkoitukseen sopivaa eikä se saa sisältää haitallisia aineita, jotka vaikuttavat valmiin tuotteen laatuun. Kiviaines ei saa olla rapautunutta, se ei saa sisältää roskia, savea, jätteitä eikä öljyjä. Seassa ei myöskään saa olla lunta, jäätä eikä jäisiä kivipaakkuja. Öljy saattaa haitata betonin reaktioita tai lisätä ilmaa betoniin.

Runkoaines ei saa myöskään sisältää klorideja yli 0,02 painoprosenttia.

Runkoainesta säilytetään yleisesti ulkona säiden armoilla. Jotta valmiin betonin vesimäärä tiedettäisiin tarkasti, tulisi myös käytettävän kiviaineksen kosteus olla tiedossa. Kosteuden vaihtelut näkyvät betoniin lujuuden vaihteluina. BY 201 sivut: 23-25

Huokoisia runkoaineita käytettäessä testataan aina niiden tiheys ja vedenimeytymiskyky. (B4, s.51)

Kiviaines määrää betonin värin ja kiviaineen rakeisuus vaikuttaa pinnan karkeuteen. [12.]



### 3.2 Sementti

Betoninormin mukaisesti betonin valmistukseen saa käyttää vain CE-merkattua sementtiä. Käytettävän sementin ominaisuuksiin vaikuttavat valmiin betonin lopullinen käyttökohde.

Sementti on hyvin hienojakoista ja imee itseensä kosteutta. Jo kolmen kuukauden varastoinnin aikana sementin lujuuden pudotus voi olla jopa 10%. Mitä hienompaa sementti on, niin sitä herkempää se on muutoksille.

”Lujuus on yksi sementin tärkeimmistä ominaisuuksista, mutta sementillä on myös muita ominaisuuksia, jotka vaikuttavat oleellisesti betonien ja laastien valmistukseen ja niiden ominaisuuksiin. Tällaisia ominaisuuksia ovat mm.:

- kemiallinen koostumus ja seosaineet,
- sementin reaktiot veden kanssa
- sitoutuminen, lujuudenkehitysnopeus
- hienous/vedentarve ja
- lämmönkehitys” [13.]

### 3.3 Vesi

Betonin valmistukseen kelpaa vesijohtovesi tai juomakelpoinen luonnonvesi. Vedessä ei tule olla klorideja 0,3% enempää.

Hydratoitumiseen vaikuttavat heikentävästi öljyt ja rasvat. [21, s. 46.]

### 3.4 Seosaineet

Lentotuhkan reaktiot hidastuvat alhaisissa lämpötiloissa. Tämä on otettava huomioon esimerkiksi talvibetonoinnissa. Lentotuhka vaikuttaa myös huokostamiseen vaikeuttaen tätä prosessia. [21, s. 43.]

Masuunikuona notkistaa betonia ja vähentää hydratoitumislämpöä. Masuunikuona kasvattaa myöhäislujuutta. Sen käyttö lisää virumaa ja karbonatisoitumisnopeutta. Se vaalentaa myös betonin väriä. Nämä asiat tulee ottaa huomioon masuunikuonaa käytettäessä. [21, s. 44.]

Silika lisää vedentarvetta, joten notkistimen käyttö silikan kanssa olisi suositeltavaa. Silika vaikuttaa betonin väriin tummentavasti. Silika lisää huomattavasti betonin lujuutta. Se parantaa myös betonin tiivyyttä, koossapysyvyyttä, kemiallista kestävyyttä ja vedenpitävyyttä. [21, s. 44.]

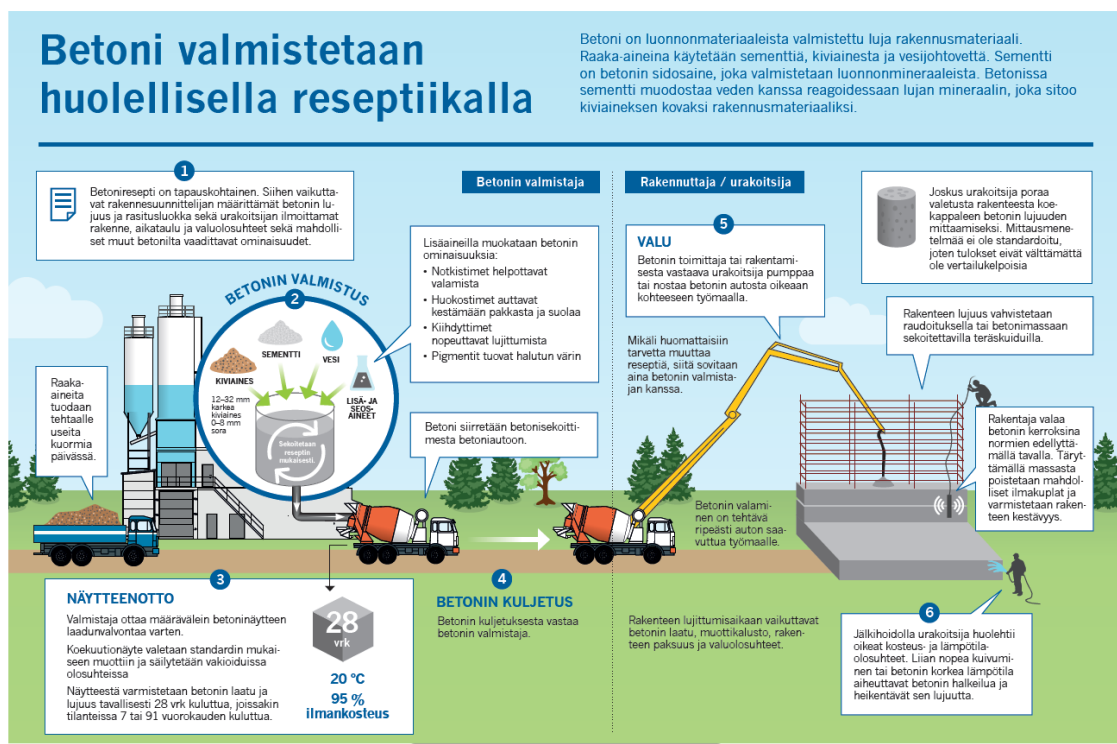
### 3.5 Lisäaineet

Lisäaineita käytetään aina ohjeiden mukaan. Betonin valmistajan tulee myös varmistua siitä, että käytettyjä lisäaineita voidaan käyttää keskenään. Myös betonimassaan lisäysjärjestyksellä on merkitystä lisäaineiden toimivuuteen. Nämä tekijät selvitetään ennakkokein. [21, s. 50.]

## 4 Betonin valmistus ja laadunvalvonta

Betonin valmistuksen laadunvalvonta voidaan jakaa neljään eri vaiheeseen: osa-aineiden laadunvalvonta, betonin koostumuksen laadunvalvonta, betonimassan laadunvalvonta sekä kovettuneen betonin laadunvalvonta.

Alla olevassa kuvassa 1 on esitetty betonin valmistuksen eri vaiheet.



Kuva 1. Betonin valmistus [1.]

Betonin valmistuksessa ennakkokokein tutkitaan aineiden ominaisuuksia sekä mitataan betonimassan ja kovettuneen betonin ominaisuuksia.

Ennakkokokeilla selvitetään, millä betonimassan reseptillä saavutetaan betonin halutut ominaisuudet. Ennakkokokeissa selvitetään puristuslujuutta, vedenpitävyyttä ja pakkasenkestävyyttä. Ennakkokokeita tehdään niin paljon, että saadaan luotettavat arvot betonimassan ominaisuuksista.

Betonimassan laatua valvotaan myös valmistuksen aikana kelpoisuuden toteamiseksi jokaisesta valmistuserästä. Valmistuserästä otetaan betonimassaa, josta valetaan koekuutiot ja näistä määritetään lujuudenkehitys. Koekuutioiden määrä riippuu valmistetun betonimassan määrästä.

Betonin kelpoisuus todetaan normikokein tai poikkeuksellisesti rakennekokein. Näissä kokeissa voidaan määrittää puristuslujuuden lisäksi tiheys, pakkasenkestävyys ilmahuokosten suhteen, vedenpitävyys sekä muita mahdollisia ominaisuuksia. [1.]

## 5 Valmisbetonin valmistuksessa vaikuttavat tekijät ja ominaisuudet

Betonimassa tulee valmistaa sellaisella sekoittimella, jolla saadaan aikaiseksi tasainen massa, jossa osa-aineet ovat jakautuneet tasaisesti. Massaa sekoitetaan niin kauan, että betonimassa näyttää tasalaatuiselta. [22, s. 66.]

### 5.1 Suhteitus

Suhteituksella tarkoitetaan betonin osa-aineiden määriä ja niiden yhteensovittamista niin, että saadaan halutuilla ominaisuuksilla olevaa betonia. Ominaisuuksiin kiinnitetään huomiota sekä betonimassan että kovettuneen betonin osalta. Tavoitteita ovat:

- lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet
- säilyvyysominaisuudet
- soveltuvuus rakentamisen olosuhteisiin [21, s. 93.]

Suomessa käytetään kahta eri suhteitusmenetelmää, Nykäsen menetelmä ja Vuorisen menetelmä. Nykäsen menetelmää käytetään lähinnä talonrakentamisessa ja Vuorisen menetelmää vaativimmissa kohteissa, jotka vaativat pakkasenkestävyyttä ja vedenpitävyyttä.

Suhteituksessa tulee ottaa huomioon pakkasenkestävyys. Tällöin vesi-sementtisuhde ei voi ylittää arvoa 0,6. [21, s. 93.]

### 5.2 Notkeus

Betonimassan notkeuden määrittää rakenteen mitat, raudotteiden määrä ja koko, kuljetus sekä tiivistystavat. Pääperiaatteena pidetään, että ahtaisiin paikkoihin notkeaa massaa ja väljiin jäykempää massaa. [28.]

Betonyön onnistumiseen ja kovettuneen betonin ominaisuuksien saavuttamiseen vaikuttavat betonimassan ominaisuudet sekä massan valinta. Rakennesuunnittelijan, työmaan ja valmisbetonin toimittajan kanssa yhteistyössä valitaan käyttötarkoitukseen sopivin betonimassa.

Rakennesuunnittelija määrittää betonilta vaadittavat ominaisuudet. Määritettäviä asioita ovat:

- lujuus- ja rakenneluokka
- rasitusluokka
- suojaavan betonipeitteen paksuus
- toleranssit ja pintaluokka.

Pitkäikäinen ja toimiva rakenne saadaan rasitusluokkien kautta. Ympäristöolosuhteet määrittävät rasitusluokan. Luokkia on kaikkiaan 18, jotka jaetaan viiteen eri kokonaisuuteen: Ei korroosio tai syöpymisrasitusriskiä, karbonatisoitumisesta aiheutuva korroosio, klorideista aiheutuva korroosio, jäätymis-sulamisrasitus ja kemiallinen rasitus.

Alla olevassa taulukossa on esitetty eri rakenteissa käytettävien betonien notkeuksia.

Taulukko 2. Betonin massoja [3.]

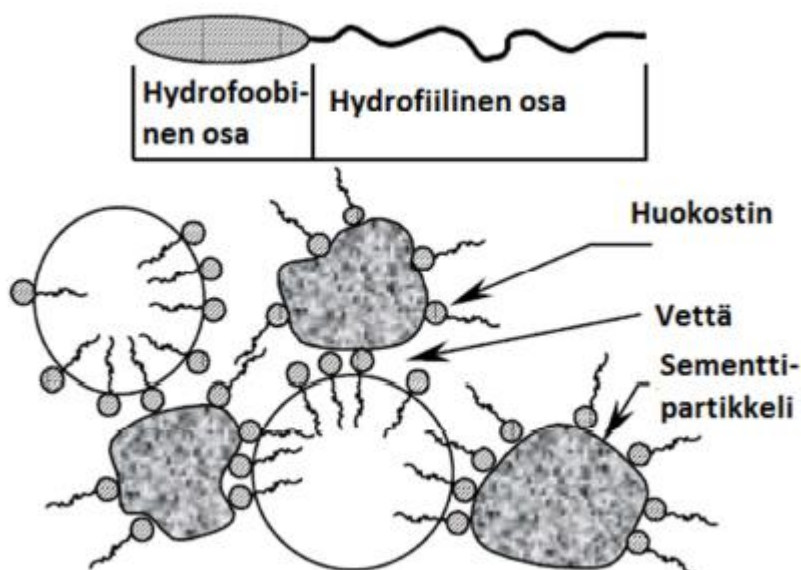
Rakenne	Lujuus-luokka	Suurin raekoko mm	Notkeus sVB
Perustukset	K30 (C25/30)	16, 32	Notkea (S2)
Maanvarainen	K25 (C20/25)	16	Vetelä (S3), Notkea (S2), laatta erillinen, pintavalu
-autotallin laatta	K45 (C35/45)	16	Notkea (S2), autotallin lattiassa tarvitaan kulutuskestävyyttä sekä kykyä kestää auton renkaista tulevaa tiesuolaa
<b>pintabetonilattiat</b>			
-30-50mm	K25 (C20/25)	8, 12	Vetelä (S3)
-50-80mm	K25 (C20/25)	16	Notkea (S2)
kelluvat lattiat (>40mm)	K25 (C20/25)	8, 12, 16	Vetelä (S3), Notkea (S2)
SEINÄT JA	K25 (C20/25)	16	Notkea (S2)
PILARIT			Sisätiloissa olevat seinät ja pilarit
ULKONA OLEVAT RAKENTEET	K37 (C30/37)	8, 12, 16, 32	Notkea (S2), Käytettävä säänkestäviä betonilaatuja

### 5.3 Ilmapitoisuus

Jos betonimassassa ei käytetä huokostinta, niin ilmamäärän oletetaan olevan 2 % (20l/m<sup>3</sup>). [28.]

Huokostettua betonia käytetään pakkasenkestävyyden parantamiseksi. Huokostimia on käytetty valmisbetonissa jo yli 60 vuoden ajan. Varsinaisesti niiden käyttö kuitenkin alkoi 1970-luvulla, kun huomattiin niiden vaikutus betonin pakkasenkestävyyteen. Huokostimia käytettäessä tulee kuitenkin ottaa huomioon se, että ilmamäärän lisäys heikentää aina lujuutta. Yhden prosentin ilmamäärän nosto heikentää lujuutta noin viisi prosenttia. Tämä on otettava huomioon sementti- ja vesimääriä laskettaessa. [16.]

Huokostimet ovat pinta-aktiivisia, jotka myös notkistavat betonimassaa. Huokostimien avulla saadaan betonimassaan keinotekoisesti ilmahuokosia. Veden jäätyessä se laajenee. Nämä keinotekoiset ilmahuokokset toimivat betonissa jäätyvän veden pakotilana. Alla olevassa kuvassa on esitetty huokosten muodostuminen betonimassassa. [16.]



Kuva 2. Ilmahuokosten syntyminen betonissa [16.]

#### 5.4 Raaka-aineiden punnitus

Raaka-aineiden punnitukseen tulisi käyttää tyyppihyväksyttyä vaakaa, joka on kalibroitu ja vakautettu. Tarkastetussa vaaka-astiasse on tyyppikilpi ja määräaikaisvakauserkki, jossa tarkastuksen kuukausi ja vuosi merkittynä. [26.]

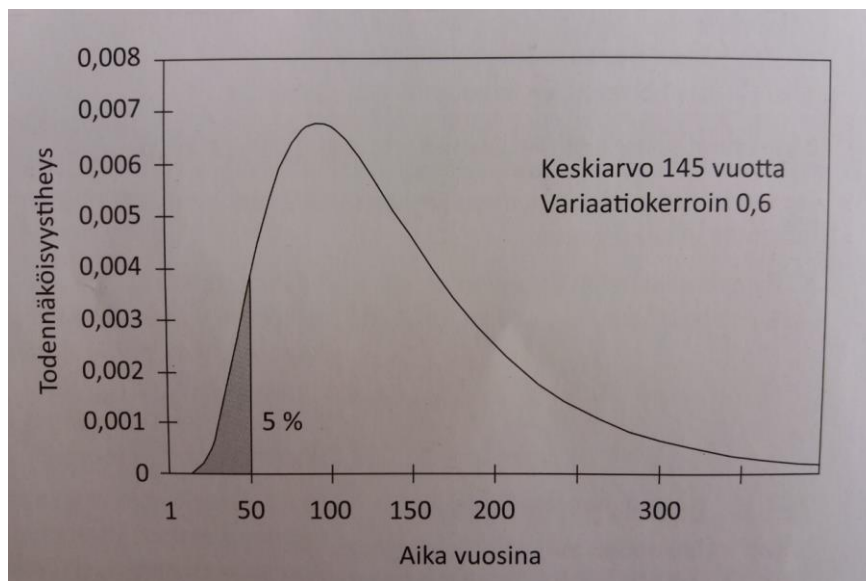
Vesi punnitaan joko vaaka-astiassa tai läpivirtausmittarilla. Vettä annostellaan aluksi noin 90% ja loppu vesi annostellaan lisävetenä betonimassan notkeuden mukaan. Notkeutta mitataan sekoittimen ottaman tehon mukaan. [21, s. 256.]

Sementin punnitukseen käytetään vaaka-astiaa. Runkoaine punnitaan joko vaaka-astialla tai hihnavaa'alla. [21, s. 256.]



## 5.5 Suunnitteluikä

Suunnitteluikä tarkoittaa ajanjaksoa, jolla betonin ominaisuudet säilyvät vaaditulla tasolla sillä edellytyksellä, että rakennetta pidetään kunnossa. Varmuustasona pidetään 95%, jolloin esimerkiksi suunnittelukäyttöikä ollessa 50 vuotta, voi 5% vaurioitua ennen 50 vuotta. Mutta taas toisaalta osa rakenteista voi kestää jopa 300 vuotta. Alla kaaviossa 3 on esitetty esimerkki käyttöiän jakaumasta. [22, s. 15.]



Kaavio 3. Esimerkki käyttöiän jakautumakäyrästä suunnitteluikä ollessa 50 vuotta. [22, s. 15.]

## 6 Toimitus ja sen vaikutus laatuun

### 6.1 Kuljetus

Lastausvaiheessa betonimassan kuljettajan tulee varmistua betonimassan oikeellisuudesta. Kuljettaja saa betonimassan valmistajalta kuormakirjan, josta selviää muun muassa valmistajan ja ostajan tiedot, betonimassan määrä, lujuus- ja rasitusluokat, kiviaineksen ylänimellisraja ja mahdollinen tiheysluokka. Kuormakirjasta käy ilmi myös varmennustodistuksen myöntäneen toimielimen tunnus. [22, s. 68.]

Betoniauto tulee varustaa autosekoittimella ja pyörintäsäiliöllä, jotta voidaan varmistua betonimassan tasainen laatu myös purkupaikalla. Betoniauto tulisi varustaa myös mittaja annostelulaitteilla, jotta mahdolliset työmaalla tapahtuvat lisäaineiden lisäykset onnistuvat asianmukaisesti. Tapahtuvista lisäyksistä tulisi pitää kirjaa. Yleensä tämä lisäys on kiellettyä, mutta joissain tapauksissa tämä tulee kyseeseen, kun betonimassan notkeus halutaan tietylle tasolle. Tästä tulee aina olla merkintä kuormakirjassa.

Veden lisääminen on kiellettyä, ellei betonimassan valmistaja ole siitä erityisesti ohjeistanut. Betonimassan valmistaja vastaa aina veden lisäyksestä. Lisäys on aina kirjattava kuormakirjaan.

Alla esitetty osa-aineiden annostelussa sallitut poikkeamat. [22, s. 67.]

Taulukko 3. Valmisbetonin osa-aineiden poikkeamat. [22, s. 67.]

Osa-aine	Sallittu poikkeama <sup>a)</sup>
Sementti Vesi Kiviainesten kokonaismäärä Seosaineet, joita käytetään > 5 % sementin massasta	± 3 % vaaditusta määrästä
Lisä- ja seosaineet, joita käytetään ≤ 5 % sementin massasta	± 5 % vaaditusta määrästä

<sup>a)</sup> Poikkeama on tavoitearvon ja mitatun arvon erotus.

Kuljetusmatkat pyritään pitämään lyhyinä, koska varsinkin notkeat massat pyrkivät erottumaan kuljetuksen aikana. Tällaisten betonimassojen kohdalla on tärkeää sekoittaa massa työmaalla tasalaatuiseksi ennen pumppausta. [21, s. 267.]

## 6.2 Purku

Betonimassa puretaan työmaalla joko suoraan autosta, pumppuautoon tai työmaan vastaanottosiiloihin. Betonimassa voidaan siirtää autosta myös suoraan kourua pitkin muotiin.

Pumppua käytettäessä betonimassa siirretään sekoittimella varustettuun pumppuautoon. Pumppuauton puomin ulottuvuudenvaihtelevat 11-17 m vaakasuunnassa ja 16-21m pystysuunnassa. Valuteho vaihtelee 10-40 m<sup>2</sup>/h. [21, s. 269.]

## 6.3 Pumppaustyö

Pumppaus aloitetaan aina mahdollisimman etäisestä kohdasta. Näin ei tarvitse kesken betonoinnin lisätä pumppuun voitelemattomia lisäputkia. Tällä vältetään myös putkiston tuen ottaminen tuoreen betonimassan päältä. [21, s. 275.]

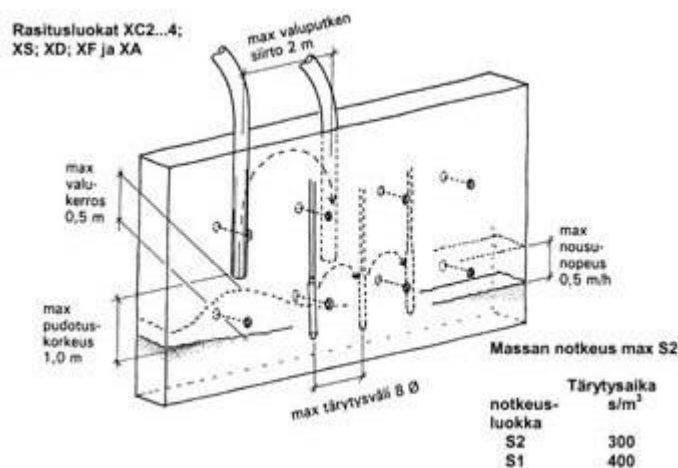
## 7 Työmaan työvaiheet ja niiden vaikutus lopullisen tuotteen laatuun

### 7.1 Valu ja valunopeus

Betonimassa pyritään siirtämään kasteltuun tai öljytyyn muottiin niin, että se pysyy tasalaatuisena ja täyttää muorin kauttaaltaan. Valu tapahtuu mahdollisimman alhaalta pumpattaessa ja suoraan alaspäin iskeytymättä, jotta massa ei erotu. Pudotuskorkeus voi olla enintään 1 m. Massa valutetaan keskelle, ei muottiseinää pitkin.

Korkeissa rakenteissa valukerroksen paksuus saa olla enintään 50 cm, jotta massa ei aiheuta liikaa painetta muotteihin ja jotta tiivistys onnistuisi hyvin. [5.]

Vaakarakenteiden valussa valetaan kaistoittain ja tasataan korkoon oikolaudalla. Tärytin valitaan raudoitusten mukaan. Sen on mahdollista massaan yläraudoitusten välistä jokaisesta kohdasta. Tärytintä pidetään pystysuorassa. Ohuissa laatoissa korkeintaan 45° kulmassa. Tärytys suoritetaan 400-600 mm ruuduissa. [5.]



Kuva 4. Betonoinnin raja-arvoja [5.]

Luvussa 11 on Tukesin tekemä tutkimus massiivisten valujen työmaista ja työmaiden käytännöistä sekä puutteista.

## 7.2 Tiivistys

Betonimassa tiivistetään täryttämällä sauvatäryttimellä. Tärytyksen tulee ulottua aina aikaisemman valun valukerrokseen n. 150 mm matkalta. Tärytyksessä vältetään osumista muotteihin ja raudoitteisiin, jotta ilmahuokokset eivät kerääntyisi muottien ja raudoitteiden pintaan. Tiivistystä helpottaa massan notkistaminen. Myös notkea massa on tärytettävä, mutta jäykempää vähemmän.

Tärytys tulee tapahtua n. 400 mm välein ja tärytys kestää 15-20 sekuntia. Pystyrakenteiden yläosien valussa tulee olla tarkkana, koska niissä oleva ilma poistuu hitaammin ja vaikeammin. Jälkitärytyksellä tiivistetään betonimassaa tehokkaasti ja se edistää lisäksi erottuneen veden poistumista sekä sulkee varhaishalkeamia. [5.]

## 7.3 Hierto

Valun pinta voidaan hiertää, kun betoni alkaa sitoutua ja kovettumisen alkuaikana pinnalle muodostunut vesi imeytyy takaisin betoniin. Hierrossa betonin pintaosa tiivistyy, huokoisuus vähenee, parannetaan pinnan lujuutta ja kulutuksenkestävyyttä. Pintaa voidaan hiertää useaan kertaan. Tämä riippuu halutusta pinnasta. [5.]

## 7.4 Jälkihoito

Jälkihoidolla varmistetaan, että betoni säilyttää sille suunnitellut ominaisuudet. Tämä varmistetaan suojaamalla ja lämmittämällä valua. Esimerkiksi lattiavaluissa jälkihoidolla estetään pinnan liian nopea kuivuminen. [22, s. 72.]

”Muita vaurioihin vaikuttavia tekijöitä ovat mm.:

- alhainen ulkoilman suhteellinen kosteus
- voimakas auringonpaiste
- tuuli

- viileä betoni (hidas sitomisreaktio, pitkä kosteuden haihtumisaika)
- lämmin betonimassa ja kylmä/kuiva ilma
- silikajauheen käyttö (vähentää vedenerottumista)
- lentotuhkan ja masuunikuonan runsas käyttö (hidastaa sitomisreaktiota)
- runsas notkistimien käyttö (voi hidastaa betonin sitomisreaktiota alhaisissa lämpötiloissa)” [22, s. 72.]

Jälkihoito voidaan tehdä kastelemalla betonia, käyttämällä tähän tarkoitettua jälkihoitoainetta, jättämällä muotit kauemmaksi aikaa paikalleen, eristämällä esim. soluvuovilla ja käyttämällä peitteitä. [22, s. 72.]

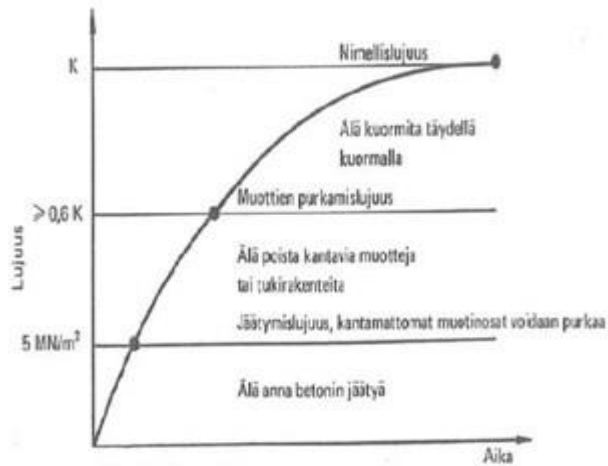
## 7.5 Lujuuden seuranta

Voimakkaimpina betonin lujuuden kehitykseen vaikuttavat sementin määrä ja betonin lämpötila. Betonirakentamisessa lujuudenkehityksen hallinta on taloudellisuuden perusta. Siitä saatavat hyödyt ovat työmaiden keskeisimpiä tavoitteita. Näitä hyötyjä ovat:

- ”Muottien purkulujuuden saavuttaminen suunnitellussa aikataulussa
- Betonivalujen optimaalinen suojaus ja lämmitys
- Betonirakenteen laatu etenkin talvikautena
- Betonitöiden työturvallisuus.” [7.]

Ensisijaisesti betonin lujuus todetaan siinä mitattujen lämpötilojen avulla. Lämpötilaa voidaan mitata joko perinteisillä lämpömittareilla, joilla lämpötila mitataan betonissa olevista putkista tai sitten elektronisella mittarilla, joka mittaa lämpötilan betoniin asetetuista antureista.

Tietynlaisen koostumuksen omaavan betonin lujuutta voidaan arvioida kypsyytlaskelmien ja käyrien avulla, jotka perustuvat kovettumislämpötilaan ja -aikaan. Näitä menetelmiä on kaksi, karkeampi Nykäsen kypsyytlaskelma ja tarkempi Sadgroven menetelmä. Lujuutta voidaan arvioida myös koekappaleiden avulla, jotka on säilytetty samassa olosuhteessa kuin rakenne tai sitten luotettavasti poraamalla rakenteesta koekappaleita. Alla olevassa kuvassa on esitetty betonin lujuuden kehitys kaaviona. [7.]



Kaavio 5. Betonin lujuuden kehitys. [7.]

Betonin lujuuden kehittymistä voidaan seurata myös erilaisilla tietokoneohjelmilla, joihin syötetään työmaalla mitatut lämpötilat. Tällä mahdollistetaan luotettava varmistus rakenteiden lujuudesta tietyinä ajankohtana. Jatkuvan seurannan mahdollistavat betoniin asennettavat dataloggerit. [7.]

## 8 Betonin laadunvalvonta

Betonin valmistukseen käytetään aina CE-merkattuja materiaaleja. Valmisbetonin vaatimustenmukaisuutta valvoo valmistajan lisäksi myös ulkopuolinen taho.

Betoninormeissa sanotaan, että ”betonimassan laatua valvotaan sekä massan valmistuksen että betonoinnin aikana. Betonimassan notkeutta ja vaadittaessa ilmapitoisuutta sekä muita ominaisuuksia valvotaan sopivaa mittaustapaa käyttäen. Koekappaleita tehtäessä mitataan betonimassan notkeus, lämpötila ja pakkasenkestävän betonin ilmamäärä. Betonin lujuuskehitystä seurataan esimerkiksi lämpötilamittausten tai koekappaleiden avulla. Menetelmiä käytetään suunnitelmien edellyttämän lujuuden varmistamiseen sekä tarvittaessa muun muassa jäätymislajuuden, muottien purkamislajuuden ja jännitetyjen rakenteiden jännitysajankohdan määrittämisessä.” [22.]

Standardin SFS EN 206, Betoni, ominaisuudet, valmistus ja vaatimustenmukaisuus mukaan:

1. ”Ominaisuuksien mukaisen betonin ja koostumuksen mukaisen betonin koostumus ja osa-aineet valitaan ottaen huomioon valmistusmenetelmä ja betonirakenteiden toteuttaminen siten, että betonimassa ja kovettunut betoni täyttävät niille määritellyt notkeus-, tiheys-, lujuus- ja säilyvyysvaatimukset.
2. Valmistaja valitsee osa-aineiden tyypit ja luokat siten, että niiden soveltuvuus määritelyihin ympäristöolosuhteisiin tunnetaan käyttöpaikalla voimassa olevien sääntöjen mukaisesti, jos betonin määrittelyssä ei ole niistä yksityiskohtaisia vaatimuksia.
3. Betoni on suhteitettava siten, että minimoidaan betonimassan kiviaineksen ja veden erottuminen, ellei määrittelyssä ole esitetty toisin.
4. Ominaisuuksien mukaisen betonin raja-arvot on määriteltävä vähimmäis- tai enimmäisarvoina. Koostumuksen mukaisen betonin koostumus on määriteltävä tavoitearvoina.
5. Standardoitujen koostumuksen mukaisten betonien koostumus sekä soveltuviksi osoitettujen osa-aineiden tyyppien ja luokkien luettelo on määriteltävä käyttöpaikalla voimassa olevissa säännöissä. Näiden koostumuksien on täytettävä standardin kohdassa A.5 esitetyt alkutestien hyväksymisehdot.” SFS-EN 206 s. 31

”Vaatimustenmukaisuuden valvonta kattaa betonille etukäteen asetettuihin vaatimuksiin perustuvat toimenpiteet ja päätökset, joiden avulla tarkistetaan, että betoni on määrittelyn mukaista. Vaatimustenmukaisuuden valvonta on laadunvalvonnan olennainen osa.

Vaatimustenmukaisuuden valvontaan käytettäviä betonin ominaisuuksia ovat ne, joita mitataan asianmukaisilla testauksilla käyttäen standardien mukaisia menetelmiä. Rakenteen mitoista, valtavasta, tiivistyksestä, jälkihoidosta ja ympäristöolosuhteista johtuu, että rakenteissa olevan betonin ominaisuuksien todelliset arvot voivat poiketa näistä testaustuloksista.

Näytteenotto- ja testaussuunnitelman sekä vaatimustenmukaisuuden ehtojen on oltava standardin kohdan 8.2 Ominaisuuksien mukaisen betonin vaatimustenmukaisuuden valvonta tai 8.3 Koostumuksen mukaisen betonin mukaan lukien standardoidun koostumuksen mukaisen betonin vaatimustenmukaisuuden valvonta mukaisia. Näitä määräyksiä sovelletaan myös elementtituotteiden valmistuksessa käytettävään betoniin, ellei ko. tuotestandardi sisällä vastaavia määräyksiä. Betonin määrittelijän mahdollisesti vaatimasta suuremmasta näytteiden määrästä on sovittava etukäteen. Valmistaja ja määrittelijä sopivat erikseen näytteenotto- ja testaussuunnitelmasta, testausmenetelmistä ja vaatimustenmukaisuuden ehdoista niiden ominaisuuksien osalta, joita nämä kohdat eivät kata.



Näytteenotto vaatimustenmukaisuustestejä varten suoritetaan sellaisessa paikassa, että olennaiset ominaisuudet ja betonin koostumus eivät merkittävästi muutu näytteenottoaikan ja betonin toimituspaikan välillä. Vedellä kyllästymättömästä kiviaineksesta valmistetun kevytbetonin näytteet on otettava toimituspaikalla.

Jos laadunvalvontatellit ovat samoja kuin vaatimustenmukaisuuden valvonnassa vaadittavat testit, laadunvalvontatellit voidaan ottaa huomioon vaatimustenmukaisuuden arvioinnissa. Valmistaja voi käyttää vaatimustenmukaisuuden arvioinnissa myös toimitettua betonia koskevia muita tietoja.

Vaatimustenmukaisuuden ehtojen perusteella päätetään vaatimustenmukaisuudesta tai vaatimusten-vastaisuudesta. Vaatimustenvastaisuus voi johtaa jatkotoimenpiteisiin valmistus- ja rakennuspaikalla.” [23, s. 46-47.]

Jos betoni ei ole vaatimusten mukainen, on valmistajan ryhdyttävä toimenpiteisiin. Valmistajan tulee tarkastaa testaustulokset ja jos niissä havaitaan virheitä, tulee valmistajan ryhtyä toimenpiteisiin virheiden poistamiseksi. Valmistaja on myös pidettävä laadunvalvontamenettelyjä koskeva johdon katselmus. Valmistajan on myös ilmoitettava vaatimustenvastaisuudesta määrittelijälle ja käyttäjälle, jotta betonin käytöstä ei aiheudu vahinkoja. Kaikki toimenpiteet on kirjattava ylös. [23, s. 56.]

Alla olevassa taulukossa on esitetty laadunvalvontatiedot, jotka tulee kirjata.

Taulukko 4. Kirjattavat laadunvalvontatiedot [23, s. 58.]

<b>Aihe</b>	<b>Tietojen kirjaaminen ja muu dokumentointi</b>
Määrittelyn mukaiset vaatimukset	Sopimuksen mukainen määrittely tai vaatimusten yhteenvedo
Osa-aineet	Toimittajien nimet, tuotteiden alkuperä ja suoritustasoilmoitus
Veden testaus (ei vaadita talousvedeltä)	Näytteenottopäivämäärä ja -paikka Testaustulokset
Osa-aineiden testaus	Päivämäärä ja testaustulokset
Betonin koostumus	Betonin kuvaus Tiedot annoksen tai kuorman osa-ainemääristä (esim. sementtimäärä) Vesi-sementtisuhte Kloridipitoisuus Betoniperheen jäsenen tunnus
Betonimassan testaus	Näytteenottopäivämäärä ja -paikka Sijainti rakenteessa, jos se tiedetään Notkeus (käytetty menetelmä ja tulokset) Viskositeetti, jos se sisältyy betonin määrittelyyn Erottumiskestävyys, jos se sisältyy betonin määrittelyyn Läpäisykyky, jos se sisältyy betonin määrittelyyn Tiheys, jos se sisältyy betonin määrittelyyn Kuitumäärä, jos se sisältyy betonin määrittelyyn Betonin lämpötila, jos se sisältyy betonin määrittelyyn Ilmamäärä, jos se sisältyy betonin määrittelyyn Testatun betoniannoksen tai -kuorman tilavuus Testattavien koekappaleiden lukumäärä ja tunnuksat Vesi-sementtisuhte, jos se sisältyy betonin määrittelyyn
Kovettuneen betonin testaus	Testauspäivämäärä Koekappaleiden tunnus ja ikä Tiheyden ja lujuuden testaustulokset Erityishuomiot (esim. koekappaleen epätavallinen murtokuvio)
Vaatimustenmukaisuuden arviointi	Vaatimustenmukainen/vaatimustenvastainen betonin määrittelyjen perusteella
Lisävaatimukset valmisbetonille	Ostajan nimi Betonityön sijaintipaikka, esim. rakennustyömaa Testauksiin liittyvien kuormakirjojen numerot ja päivämäärät Kuormakirjat
Lisävaatimukset elementtibetonille	Ao. tuotestandardissa voidaan vaatia lisätietoja tai muita tietoja

## 9 Haastattelututkimus betoniongelmista ja laadusta

Osana tätä opinnäytetyötä tehtiin sähköpostihaastattelu, jossa haastateltiin betonialan asiantuntijoita. Kysymyksillä kartoitettiin sitä, mitkä seikat heidän mielestään vaikuttavat betonimassan lujuuteen ja ilmapitoisuuteen, mitkä ovat betonin valmistuksen kriittiset ajankohdat, raaka-aineiden yhteensopivuutta sekä mikä merkitys on betonin jälkihoidolla ja kovettumisajalla lopullisen rakenteen laatuun.

Haastatteluun saatiin 15 betonialan asiantuntijan vastausta. Alla on koottuna luvuissa 9.1-9.4 yhteenvedot asiantuntijoiden vastauksista.

### 9.1 Betonin lujuusongelmat ja suuret ilmamäärät

Betonin lujuuteen ja ilmamääriin vaikuttavat useat eri tekijät. Haastateltavien asiantuntijoiden mielestä betonirakenteiden lujuuteen vaikuttavat työmaan puutteellinen laadunvalvonta, puutteellinen/huolimaton betonointi ja jälkihoito sekä puutteellinen tiivistys. Työn toteutuksen aikataulut vaikuttavat lopputulokseen. Pitkät betonimassan odotusajat sekä kiireellä tehty valu heikentävät laatua ja voivat vaikuttaa lujuuteen. Osa lujuusongelmista voi selittyä näytteenoton virheistä, huonosti tehdyistä koekappaleista ja porakappaleiden käsittelyn ja tulosten analysoinnin virheistä.

Lujuusongelmia voi aiheuttaa liian tiheä raudoitus, jolloin betonimassa ei täytä koko muottia tasaisesti. Valu- ja tiivistysaukkojen puutteet ja liian suuri betonimassan pudotuskorkeus vaikuttavat heikentävästi laatuun ja lujuuteen. Myös kustannustehokas betonimassan valmistus vaikuttaa valmiin rakenteen laatuun. Betonimassa valmistetaan normien mukaan muttei se kestä mahdollisia virheitä koko ketjussa suunnittelusta työmaalle saakka, koska kaikki vaiheet tehdään juuri ja juuri sääntöjen sallimissa rajoissa.

Jotkin lisäaineet saattavat aiheuttaa betonin lujuusongelmia, kuten myös liian lyhyt betonimassan sekoitusaika. Myös raaka-aineiden yhteensopimattomuus voi aiheuttaa ongelmia sekä suuret seosainemäärät voivat hidastaa lujuuden kehitystä.

Betonimassan notkistaminen työmaalla voi alentaa betonin lujuutta sekä toimitetun betonin lämpötila vaikuttaa lujuuden kehitykseen.

Betoni asemalla massaan jäänyt ilmapotentiaali voi kasvaa kuljetuksen ja työmaan toiminnan aikana. Ja näin osaltaan vaikuttaa betonirakenteen ilmamäärään ja sitä kautta lujuuteen.

## 9.2 Betonimassan valmistuksen kriittiset kohdat

Kriittisinä kohtina pidettiin joltain osin kaikkia betonin valmistuksen vaiheita. Alla on kerrottuna asiantuntijoiden mielestä tärkeimmät kohdat.

Tärkein ja kriittisin kohta betonin valmistuksessa on oikean betonin valinta. Betoniaseman ohjeiden ja suunnittelijoiden mukaan saadaan valittua oikea betoni oikeaan kohteeseen. Suunnittelussa on otettava myös betonin valettavuus huomioon.

Yhtenä kriittisenä kohtana haastattelussa tuli esille raaka-aineiden laatu, niiden tasalaatuisuus, lämpötila ja kosteus. Massan sekoitus tulisi olla tehokasta ja riittävää.

Kriittisenä kohtana pidettiin myös yhä enenevässä määrin suhteitusta, koska betonimassan työstettävyyden vaatimukset ovat kasvaneet ja kiviaineksen laatu (murskatun kiviaineksen) on tehnyt suhteituksesta vaikeampaa. Tärkeänä pidettiin myös vesi-sementti-suhteen hallintaa ja sen mittausta.

Kuljetusauton pitää olla puhdas lastattaessa betonimassaa autoon. Likaa, jäätä tai vettä sisältävä auto vaikuttaa massan laatuun ja koostumukseen. Kuljetuksen aikana ilmamäärä voi lisääntyä ja kuljetuksen aikana betonimassaan lisättävä vesi tai notkistin vaikuttavat myös laatuun ja koostumukseen.

Kriittisenä kohtana pidettiin myös rakennekoekappaleiden valmistusta ja testausta. Kappaleet voidaan valmistaa virheellisesti sekä testata virheellisesti. Myös työmaiden koekappaleiden valmistuksessa nähtiin ongelmia. Esimerkiksi koekappaleiden ylimääräisellä tiivistyksellä saadaan massassa olevaa ilmamäärää pienemmäksi.

Kuljetusaikojen ja odotuksien aikojen pidentyessä massan laatu heikentyy ja työstettävyys voi muuttua. Jälkihoito hoidetaan mahdollisesti huonosti, lämpötilaa ei seurata, vibraus on puutteellista tai mahdotonta tiheän raudoituksen takia ja muotit puretaan liian aikaisin.

### 9.3 Betonin raaka-aineiden yhteensopivuus ja niiden käyttö

Epäpuhtaiden raaka-aineiden käyttö heikentää valmiin rakenteen laatua. Saattaa ilmetä lujuusongelmia sekä odottamattomia halkeiluja. Raaka-aineiden säilyvyydestä tulee huolehtia. Vanhentuneiden raaka-aineiden ominaisuudet saattavat muuttua aineen vanhetessa esimerkiksi vaahdonestoaineiden teho heikkenee.

Eri raaka-aineiden yhteensopivuus tulee selvittää eri pitoisuuksille ja niiden käyttäytymisen eri betonimassan resepteissä. Nämä tulee selvittää ennakkokokein. Esimerkiksi nesteyttimien ja huokostimien yhteensopivuudella on merkittävä vaikutus valmiiseen betoniin.

Myös kiviaineksien yhteensopivuudella on iso vaikutus betonin kaikkiin ominaisuuksiin.

### 9.4 Jälkihoidon ja kovettumisajan vaikutus betonin laatuun

Jälkihoidolla ja kovettumisajalla on merkittävä vaikutus betonin lujuuteen ja ennen kaikkea sen säilyvyyteen (betonin pakkasen ja suola-pakkasrasituksen kestävyys). Jälkihoito vaikuttaa sula-pakkaskestävyyteen ja siinäkin pinnanrapautumiseen. Jälkihoidolla (lämmitys ja tasainen kosteus) taataan betonin lujuudenkehitys ja kulutuksenkestävyys sekä hallitaan halkeilua.

Liiallinen lämmönkehitys voi aiheuttaa betonin halkeilua ja lujuuskatoa. Kylmissä olosuhteissa kovettumisaika on merkittävä tekijä. Kylmässä lujuudenkehitys hidastuu, tosin lopulujuus on sitä korkeampi, mitä matalammassa lämpötilassa betoni on kovettunut. Ongelmia tulee, jos lämpötilan vaikutusta ei oteta huomioon.

Ongelmana pidetään työmaan vähäistä lämpötilan nousua ja lämpötila eroja eri kohdassa rakennetta. Betonitöitä ei dokumentoida, valvonta eikä laadunvalvontaa suoriteta tarpeeksi, jotta varmistutaan lopputuloksen onnistuminen. Työmaan huono toiminta voi heikentää jopa 15% vaadittua betonin 28 vuorokauden lujuutta.

Betonilaattaa ei saa kuormittaa liian aikaisin, koska kuormitus heikentää rakennetta ja aiheuttaa esimerkiksi halkeamia.

## 10 Testaukset betonimassan ilmamääristä ja betonin puristuslujuuksista

### 10.1 Betonimassan ilmamäärämittaukset, TAMK

Tukes halusi selvittää Tampereen ammattikorkeakoulun rakennuslaboratorion mittauspalvelun kanssa, kuinka paljon testaajalla on merkitystä betonimassan sisältävään ilmamäärään.

Testeissä tiivistettiin massaa sekä tärypöydällä että tärysauvalla. Betonilaborantin tekemien testien perusteella tärysauvalla päästiin luotettavampaan tulokseen, joten opiskelijoiden tekemät testit tehtiin tärysauvalla.

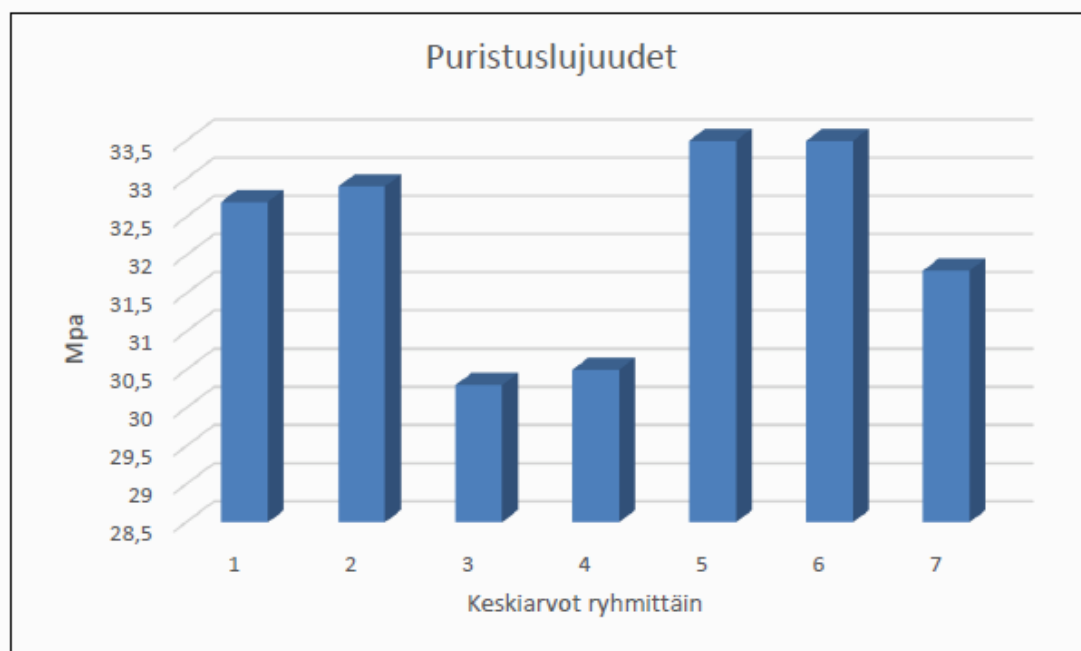
Betonilaborantin tekemänä betonimassan ilmamääräksi saatiin 4%. Kolmen eri vuosikurssin opiskelijaa tärytti betonimassan tärysauvalla ja mittasivat sen jälkeen betonimassan ilmamäärän ilmamäärämittarilla Testing nro 635. Alla olevasta taulukosta 4 nähdään mitatut ilmamäärät. Tämän perusteella voidaan päätellä, että testin suorittajalla on merkitystä ilmamäärämittausten tekemisessä. Tulosten välinen hajonta oli jopa 35%. Testausselostus liitteessä 1.

Taulukko 5. Ilmamäärämittaukset. (Liite 1.)

Testi	Mittaaja	Tiivistys tärypöydällä Ilmamäärä %	Tiivistys sauvalla Ilmamäärä %	Huomioita
1.	Betonilaborantti	5,6	4,0	Tärypöydän teho heikko ja sauvan oikea
2.	2. luokan opiskelija		3,7	Betonia tiivistetty liikaa Pieniä työvirheitä
3.	3. luokan opiskelija		2,6	Betonia tiivistetty liikaa Pieniä työvirheitä
4.	4. luokan opiskelija		2,7	Betonia tiivistetty liikaa Pieniä työvirheitä

## 10.2 Betonikuutioiden puristuslujuuskokeet C25/30, TAMK 1.2.2017

Tukes selvitti Tampereen ammattikorkeakoulun rakennuslaboratorion mittauspalvelun kanssa myös betonimassan C25/30 puristuslujuuksien eroja, kun koekappaleita työstettiin seitsemällä eri tavalla. Tarkat tulokset ovat liitteessä 2. Testejä tehtiin testistandardin mukaisesti sekä sitä muunnellen. Alla olevasta kaaviosta 6 nähdään, että koekappaleiden tekotavalla on jonkin verran merkitystä saatuun puristuslujuuden arvoon. Puristuslujuudet vaihtelivat välillä 30,3 MPa – 33,5 MPa. Puristuslujuuden vaihtelut olivat 8,7% suurimman ja pienimmän arvon välillä.



Kaavio 6. Puristuslujuudet. (Liite 2.)



## Koekappaleet 1 - 24

- Valettu 01.02.2017
- Betoni C25/30, max rae 16 mm, notkeus S2, Plus-sementti, 28 d
- Tuoreen betonin lämpötila 23,1 °C ja notkeus 50 mm (S2)
- Koekappaleiden säilytys 1.2–2.2.2017 muovin alla, tilan lämpötila 20,7°C ja Rh 24,8%
- 02.02.2017 -> säilytys vedessä, lämpötila 18 °C
- Puristuslujuuden testaus 23.02.2017, ikä 22 d
- Kuormitusnopeus testissä oli 13,5 KN/s.

Koekappaleita 1-3 (palkki 1, 32,7 MPa) tiivistettiin tärysauvalla kahdessa kerroksessa 15s/kerros. Koekappaleita ei jälkitärytetty. Koekappaleiden pinta liipattiin 1,5h kuluttua. Näytteitä säilytettiin vedessä 21 vuorokautta.

Koekappaleita 4-6 (palkki 2, 32,9 MPa) tiivistettiin tärysaunalla ja asetettiin aiemmin kuivumaan. Näytteet käsiteltiin samoin kuin näytteet 1-3, mutta niitä säilytettiin vedessä 19 vuorokautta.

Koekappaleiden 7-9 (palkki 3, 30,3 MPa) käsittely tehtiin standardin ohjeiden mukaan. Koekappaleet tiivistettiin kahdessa kerroksessa 15s/kerros. Jälkitärytystä ei suoritettu ja liippaus tehtiin heti. Koekappaleita säilytettiin vedessä 21 vuorokautta.

Koekappaleita 10-12 (palkki 4, 30,5 MPa) tiivistettiin tärypöydällä. Tiivistys suoritettiin kahdessa eri kerroksessa 15s/kerros. Koekappaleet liipattiin 1,5 tunnin kuluttua ja säilytettiin vedessä 21 vuorokautta.

Koekappaleita 13-15 (palkki 5, 33,5 MPa) tiivistettiin tärypöydällä koko ajan tiivistäen viiden minuutin ajan. Jälkitärytystä ei suoritettu ja liippaus tehtiin 1,5 tunnin kuluttua. Näytteitä säilytettiin vedessä 21 vuorokautta.

Koekappaleita 16-18 (palkki 6, 33,5 MPa) tiivistettiin tärysauvalla koko ajan viiden minuutin ajan. Jälkitärytystä ei suoritettu ja liippaus tehtiin 1,5 tunnin kuluttua. Näytteitä säilytettiin vedessä 21 vuorokauden ajan.

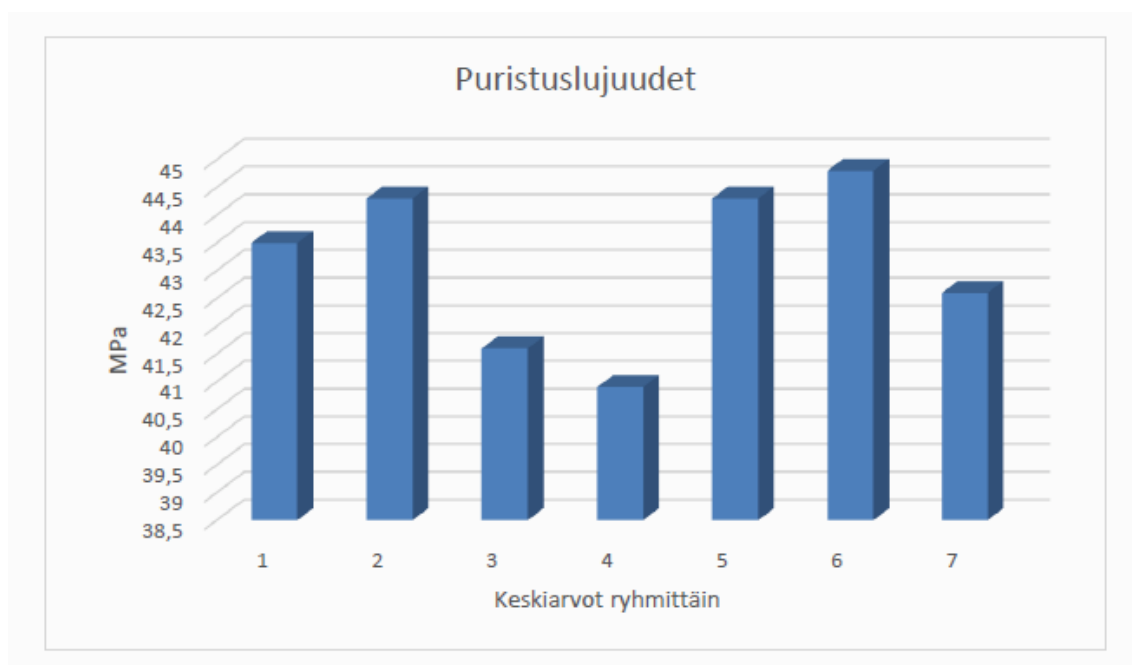
Koekappaleita 19-24 (palkki 7, 31,8 MPa) tiivistettiin tärysauvalla kahdessa kerroksessa 15s/kerros. Jälkitärytys suoritettiin 1,5 tunnin kuluttua tärypöydällä ja liipattiin tämän jälkeen. Näytteitä säilytettiin vedessä 21 vuorokauden ajan.

#### 10.2.1 Tulosten tarkastelu

Kuten tuloksista nähdään, koekappaleiden erilaisella käsittelyllä on vaikutusta lopulliseen puristuslujuuteen. Standardin mukaisella koekappaleen testauksella saatiin testausten alin puristuslujuus 30,3 MPa. Tulos osoittaa sen, että testausta manipuloimalla saadaan parempia puristuslujuuden tuloksia.

### 10.3 Betonikuutioiden puristuslujuuskokeet C35/45 P50 P-luku betoni, TAMK 10.5.-1.6.2017

Tampereen ammattikorkeakoulun rakennuslaboratorion mittauspalvelut tekivät puristuslujuustestauksia myös P-luku betonille seitsemällä eri tavalla testausstandardia mukailleen. Puristuslujuudet vaihtelivat välillä 40,9 MPa – 44,8 MPa. Puristuslujuuden vaihtelut olivat 8,7%. Alla olevassa kaaviossa 7 on esitetty mitatut puristuslujuudet. Kuten kaaviosta nähdään, niin puristuslujuudet vaihtelivat jonkin verran. Tulokset ovat kokonaisuudessaan liitteessä 3.



Kaavio 7. Puristuslujuudet P-luku betonissa. (Liite 3.)

## Koekappaleet 1 – 24

-Valettu 10.05.2017

-Betoni C35/45 P50, max rae 16 mm, notkeus S3, Plus-sementti, 28 d

-Tuoreen betonin lämpötila 19,0 °C, notkeus 108 mm (S3) ja ilmamäärä 6,8%

-Koekappaleiden säilytys 10.5 – 11.5.2017 muovin alla, tilan lämpötila 22,1 °C ja Rh 23,4 %

-11.05.2017 -> säilytys vedessä, lämpötila 21 °C

-Puristuslujuuden testaus 01.06.2017, ikä 22 d

-Kuormitusnopeus testissä oli 13,5 KN/s.

Koekappaleita 1-3 (palkki 1, 43,5 MPa) tiivistettiin tärysauvalla kahdessa kerroksessa 15s/kerros. Jälkitärytystä ei suoritettu ja liippaus tehtiin 1,5 tunnin kuluttua. Näytteitä säilytettiin vedessä 21 vuorokautta.

Koekappaleita 4-6 (palkki 2, 44,3 MPa) tiivistettiin tärysauvalla kahdessa kerroksessa 15s/kerros. Jälkitärytystä ei suoritettu ja liippaus tehtiin 1,5 tunnin kuluttua. Näytteitä säilytettiin vedessä 19 vuorokautta.

Koekappaleiden 7-9 (palkki 3, 41,6 MPa) käsittely tehtiin standardin ohjeiden mukaan. Koekappaleita tiivistettiin tärysauvalla kahdessa kerroksessa 15s/kerros. Jälkitärytystä ei suoritettu ja liippaus tehtiin heti. Näytteitä säilytettiin vedessä 21 vuorokautta.

Koekappaleita 10-12 (palkki 4, 40,9 MPa) tiivistettiin tärypöydällä kahdessa kerroksessa 15s/kerros. Jälkitärytystä ei suoritettu ja liippaus tehtiin 1,5 tunnin kuluttua. Näytteitä säilytettiin vedessä 21 vuorokautta.

Koekappaleita 13-15 (palkki 5, 44,3 MPa) tiivistettiin tärypöydällä koko ajan tiivistäen 5 minuutin ajan. Jälkitärytystä ei suoritettu ja liippaus tehtiin 1,5 tunnin kuluttua. Näytteitä säilytettiin vedessä 21 vuorokautta.

Koekappaleita 16-18 (palkki 6, 44,8 MPa) tiivistettiin tärysauvalla koko ajan tiivistäen 5 minuutin ajan. Jälkitärytystä ei suoritettu ja liippaus tehtiin 1,5 tunnin kuluttua. Näytteitä säilytettiin vedessä 21 vuorokautta.

Koekappaleita 19-24 (palkki 7, 42,6 MPa) tiivistettiin tärysauvalla kahdessa kerroksessa 15s/kerros. Jälkitärytys suoritettiin 1,5 tunnin kuluttua tärypöydällä ja liippaus tehtiin 1,5 tunnin kuluttua. Näytteitä säilytettiin vedessä 21 vuorokautta.

### 10.3.1 Tulosten tarkastelu

P-luku betonin koekappaleiden testejä muuntelemalla päästiin täysin samaan suuntaisiin tulokseen kuin normaalilla betonilla. Standardin mukaisesti tehdyn koekappaleen puristuslujuudet olivat alempia kuin muulla tavoin käsiteltyjen. Korkeimpaan puristuslujuuden arvoon päästiin tiivistämällä koekappaletta tärysauvalla koko ajan. Heikoimpaan puristuslujuuden arvoon päästiin tärypöydällä.

#### 10.4 Betonikuutioiden puristuslujuuskokeet, Contesta

Tukes teetti yhteistyössä Contestan kanssa Savonlinnassa Laitsalmen siltatyömaalla puristuslujuuskokeet betonimassalle. Tutkimuksessa selvitettiin kuljetuksen ja pumppauksen vaikutusta betonimassan puristuslujuuteen ja ilmamäärään. Tutkimuksen aikana mitattiin myös ilmamäärät, mutta valitettavasti tulokset hävisivät tutkimuksen aikana. Ilmamäärät eivät kuitenkaan vaihdelleet merkittävästi.

Alla olevassa taulukossa on esitetty koekappaleiden tulokset.

Taulukko 6. Koekappaleiden murtovoima, puristuslujuus ja tiheys. (Liite 4.)

Koekappaleen tunnus	Lujuus- ja rakenneluokka	Valmistuspvm	Ikä d	Koetuspvm	Murtovoima kN	Puristuslujuus MPa	Tiheys kg/m <sup>3</sup>
C2	-	24.8.2017	28	21.9.2017	1238	55,0	2310
C28	-	24.8.2017	28	21.9.2017	1243	55,2	2320
C31	-	24.8.2017	28	21.9.2017	1222	54,3	2330
C17	-	24.8.2017	28	21.9.2017	1323	58,8	2350
C29	-	24.8.2017	28	21.9.2017	1236	54,9	2340
C7	-	24.8.2017	28	21.9.2017	1273	56,6	2360
Betoniasema 1	-	24.8.2017	28	21.9.2017	1414	62,8	2360
Betoniasema 2	-	24.8.2017	28	21.9.2017	1403	62,4	2390
Betoniasema 3	-	24.8.2017	28	21.9.2017	1412	62,8	2350

##### 10.4.1 Tulosten tarkastelu

Puristuslujuudeksi mitattiin betoniasemalla 62,7 MPa, betoniautosta 56,8 MPa ja pumpun päästä sillan kannelta 54,8 MPa. Tulosten perusteella voidaan todeta, että kuljetus ja pumppaus vaikuttavat merkittävästi puristuslujuuden laskuun, vaikka kuljetusmatkan pituus oli korkeintaan 15 min. Puristuslujuus laski betoniasemalta pumpun päähän 12,6%. Tähän on voinut vaikuttaa esimerkiksi betonin erottuminen tai koekappaleiden huono jälkihoito.

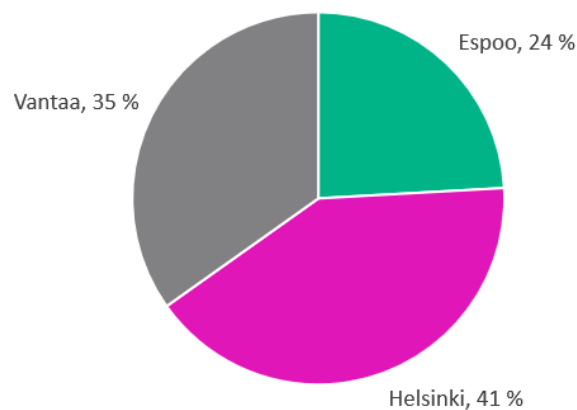
Otanta oli hyvin pieni, ainoastaan kolme koekappaletta jokaisessa vaiheessa. Tutkimus antoi kuitenkin viitteitä, että betonin lujuus voi laskea merkittävästi kuljetuksen aikana.

## 11 Tutkimus massiivisten valujen työmaista

Jo lähes kaksi vuotta on kulunut tapahtumien alusta. Asiantuntijat, betoniasemat ja työmaat olivat 2016 ihmeissään, mistä betonin huono laatu johtui. Kun ensimmäinen työmaa, jossa ilmeni ongelmia betonin kanssa, tuli julkisuuteen, niin hetken päästä niitä tuli lisää ja yhtäkkiä niitä olikin jo monta.

Tukes (Laura Lakua) teki omalta osaltaan tutkimuksia ja otimme lähempään tarkasteluun isoimmat työmaat ja niissä tapahtuvat massiiviset valut. Tämä työ tehtiin yhteistyössä pääkaupunkiseudun rakennusvalvontojen kanssa. Tietoja kerättiin työmaan ja betonitoimittajan yhteistyökäytännöistä, työmaan betonoinnin tavoista ja ohjeistuksista sekä betonoinnin dokumentoinnista ja laadunvarmistuksesta. Vastauksia saatiin 111 kappaletta. Liitteessä 5. kyselylomake. [27.]

### Vastaukset kaupungeittain (lokakuu 2017)



Kaavio 8. Vastaukset kyselyyn kaupungeittain. [27.]

Betonia toimitettiin tutkimuksen työmaille kuudelta eri toimittajalta, 21 eri asemalta. Yleisin käytetty betoni oli C30/37. Massat vaihtelivat välillä C 25/30-C40/50.

### 11.1 Betonitoimittajan ja työmaan yhteistyö

71% työmaiden betonivaluista tehdään ilman valmisbetonitoimittajan konsultointia tai parempaa tietämystä valuolosuhteista ja -paikasta. [27.]

### 11.2 Työmaan betonoinnin käytännöt

Työmaista 20% suorittivat betonivalut ilman vaatimustasojen mukaista vastaavaa betonityönjohtajaa. Vastaava betonityönjohtaja oli nimetty 80% työmaista. [27.]

Työmaalla oli lisätty viidessä eri kohteessa betonimassaan vettä, notkistinta tai huokostinta betonoinnin aikana joko työmiesten tai betoniaseman käskystä. [27.]

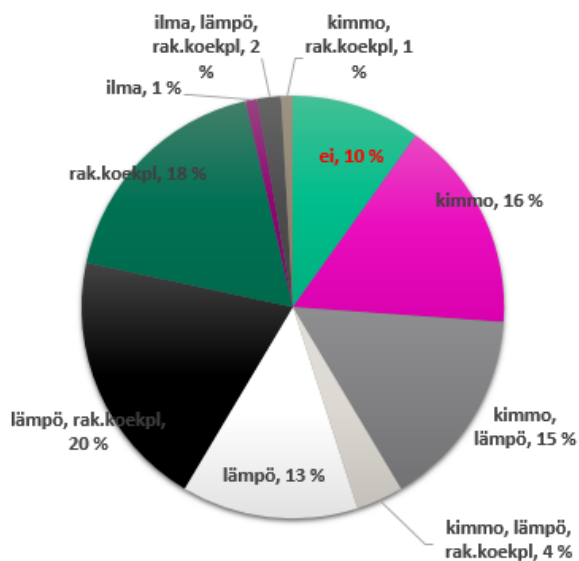


### 11.3 Betonitoimittajan ja työmaan dokumentointi ja laadunvalvonta

Tutkimuksessa ja Tukesin valvonnassa on tullut esille, että poikkeamia ei juurikaan kirjata betoniasemilla. Liian ”hyvä” lopputuote on myös poikkeama. Poikkeamat ohitetaan napin painalluksella. Poikkeamien kirjaaminen luo pohjan laatu-/toimintajärjestelmän oikeanlaiselle käytölle. Poikkeamiin tulee reagoida ajoissa ja reagointiin tulee olla toimintaohjeet. [27.]

Alla olevaan kaavioon on koottu työmaan laadunvalvonnan seurannat.

## Laadunvalvonnan seuranta



Yhteensä:

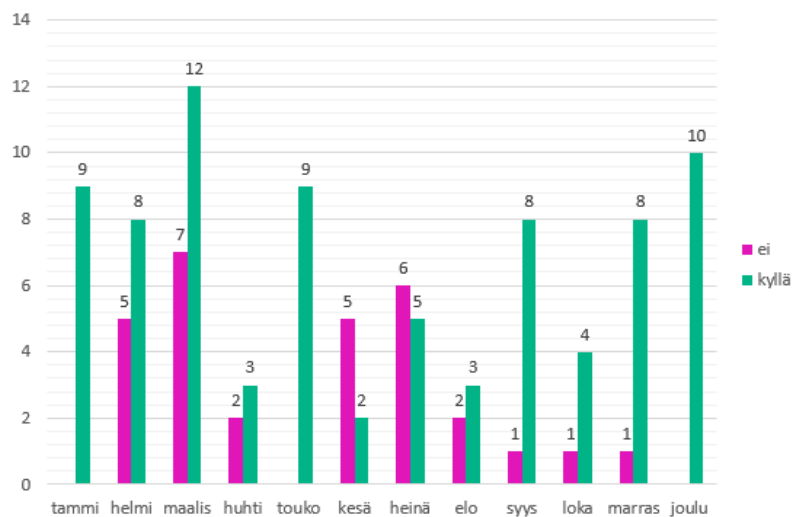
- Lämpötilan seuranta 54%
- Rakennekoekappaleet 45%
- Kimmovasaratesti 36%
- Ilmamäärämittaus 3%
- *Ei mitään* 10%

Betonoitu 9000 m<sup>3</sup>

Kaavio 9. Työmaan laadunvalvonnan seuranta. [27.]

Kyselyn tuloksista käy ilmi, että hyvin monia laadunvarmistuksen toimenpiteitä jätetään tekemättä.

Osa valaista tehtiin ilman minkäänlaista jälkihoitoa, 27%. Yleisin jälkihoito oli kastelu ja peittäminen. Alla olevassa kaaviossa on esitetty työmaiden jälkihoidot. [27.]



Kaavio 10. Jälkihoito vuonna 2017 tutkituissa kohteissa. [27.]

## 12 Miten varmistetaan lujuuden kannalta hyvä lopputulos?

Hyvään lopputulokseen päästään ainoastaan varmistamalla jokaisessa vaiheessa aina suunnittelusta kovettuneeseen betoniin saakka, että työ tehdään vaatimusten mukaan laadusta tinkimättä.

Suomessa on yli 40 vuoden ajan ollut käytössä kolmannen osapuolen valvonta betonteollisuudessa. Valmisbetoni itsessään ei ole CE-merkitty rakennustuote vaan kolmas osapuoli myöntää valmistajalle kansallisena tuotehyväksyntämenettelynä varmennustodistuksen. Tällä menettelyllä osoitetaan rakennustuotteen olevan säännösten mukainen.

### 12.1 Suunnittelu

Suunnittelija määrittelee kuhunkin betonirakenteeseen vaaditun betonin. On tärkeää, että otetaan huomioon tulevan valmiin rakenteen käyttö ja vallitsevat ympäristöolosuhteet valamisen hetkellä. Sääolosuhteet vaikuttavat betonin lujuuden kehitykseen. Lämpötilan lasku tulee ottaa huomioon. Lujuuden kehitykseen voidaan vaikuttaa valitsemalla sopiva betonilaatu käyttämällä esimerkiksi rapid-sementtiä tai kasvattamalla lujuusluokkaa.

Suunnittelijan tulee määritellä tulevan rakennuksen käyttöikä. Vaativimmissa kohteissa käyttöiällä on suuri merkitys. Pitkä käyttöikä ja vaativa ympäristöluokka nostavat betoniluokkaa. Näissä rakenteissa tulee käyttää alhaista vesi-sementtisuhdetta, jolloin sementtimäärä nousee korkeaksi. Tällainen massa on hankalaa työstää ja halkeilun riski kasvaa suurilla sementtipitoisuuksilla sekä suuren lämmöntuoton vuoksi.

### 12.2 Betonimassan valmistus

Laadukkailla CE-merkityillä raaka-aineilla, hyvillä resepteillä ja täsmällisellä työllä varmistetaan, että lopullinen valmis betonimassa on käyttökohteeseen sopivaa. Kolmas osapuoli valvoo betoniin käytettäviä materiaaleja betonitehtaalla sekä tehtaan laadunvalvontaa, sen tiheyttä ja betonimassan valmistusta.

Betonin valmistuksessa havaitaan ajoittain poikkeamia, jotka voivat johtua esimerkiksi vaa'an annosteluvirheestä. Tukesin tekemien tutkimusten aikana on havaittu, ettei poikkeamia kirjata ylös ja ne sivuutetaan napin painalluksella. Kolmannen osapuolen tarkastuksissa poikkeamia ei kuitenkaan valmistajien mukaan ole ollut. Tämä käytäntö tulisi muuttaa niin, että kirjaus olisi pakollista pienimmissäkin poikkeamissa, jotka vaikuttavat lopulliseen tuotteeseen. Poikkeamien johdosta tulee ryhtyä korjaaviin ja ehkäiseviin toimenpiteisiin. Myös korjaavat toimenpiteet tulee kirjata ylös.

Betonimassan valmistuksessa tulisi käyttää selkeää varmuuskerrointa, jota käytännössä ei ole. Betonin valmistus on optimoitu liian lähelle tavoitelujuutta. Tämä on riski, koska virheisiin ei ole mahdollisuutta.

Betonimassan valmistajan tulisi aina ennen massiivisia valuja tehdä betonimassan ennakkokokeita. Ennakkokokeilla määritellään lopullinen betonimassan resepti, jolla saavutetaan kovettuneen betonin halutut ominaisuudet. Olisiko mahdollista, että ennakkokokeet tulisivat pakollisiksi aina tehtäessä massiivisia valuja?

### 12.3 Kuljetus, pumppaus ja valu

Tukesin tekemissä tutkimuksissa on osoitettu, että kuljetuksella on jonkin verran vaikutusta betonimassan lujuuteen sitä heikentävästi, mutta ilmamäärään kuljetus ei juurikaan vaikuttanut. Tukesin tutkimus huomioon ottaen betonimassan valmistajan tulisi aina valmistaa loppulujuudeltaan lujempaa betonia kuin on tilattu. Tämä koskee sekä normaalia että P-luku betonia.

Betonimassan valmistaja voisi osana massan valvontaa ottaa massanäytteitä myös kuljetuksen jälkeen, pumpun päästä. Verrata massan käyttäytymistä kuljetuksen aikana ja säätää reseptejä sen mukaan. Näin betonivalmistajan laadunvalvonta ulottuisi työmaalle saakka, kun nykyään se suurimmaksi osaksi päättyy betoniasemalle.

Betonimassan valmistajan vastuu loppuu pumppaukseen. Olisiko mahdollista, että betonin valmistaja vastaisi myös kuljetuksen ja pumppauksen lisäksi valamisesta? Olisiko valmis kovettunut rakenne näin laadultaan parempaa, kun vastuutahoja olisi vain yksi?

Betonimassan valmistajalla on kaikkein paras tuntemus massan ominaisuuksista ja sen käyttäytymisestä esimerkiksi kuljetuksen ja valamisen aikana. Jos betonimassan valmistaja vastaisi myös valamisesta, niin tällä tavoin myös kolmannen osapuolen tarkastus olisi mahdollista ulottaa myös valamiseen, jälkihoitoon ja valmiiseen kovettuneeseen rakenteeseen.

Betoniaseman tekemään laadunvalvontaan voisi yhdistää myös betonimassan ilmapitoisuuden mittauksen varsinkin huokoistetuilla betoneilla. Ilmamäärämittaukset suoritetaan betoniasemalla, mutta myös työmaalla, pumpun päästä. Ilmamäärämittauksen tulos saadaan heti käyttöön. Betoniasema voi reagoida heti, jos poikkeamia havaitaan. Tällä toimenpiteellä varmistetaan, että betonimassa ei sisällä ylimääräistä ilmaa, joka vaikuttaa valmiin kovettuneen betonin puristuslujuuteen.

#### 12.4 Työmaa

Työmaalla voidaan varmistua laadukkaasta työstä monella eri tapaa. Lähtökohtana on, että jokaisella työmaalla tulee olla betonityönjohtaja. Betonityönjohtajan nimeäminen tulisi olla edellytys työmaan aloittamiselle. Betonityönjohtajaksi nimetyn henkilön tulisi olla henkilö, joka fyysisesti valvoo betonitöiden suorittamista.

Työmailla tulisi ottaa käytännöksi työmaakoekappaleiden valaminen, jonka suorittaa siihen koulutettu henkilö. Työmaakoekappaleet tulisi säilyttää samoissa olosuhteissa kuin valettava rakenne. Näin varmistetaan betonin kuivuminen ja lujuuden kehitys samoissa olosuhteissa kuin tuleva rakenne.

Työmaalla tulee varmistua, että rakenne valetaan ja tiivistetään huolellisesti ja että valettua rakennetta jälkihoidetaan ohjeiden mukaan.

Olisiko mahdollista, että valmiille rakenteelle tehdään kimmovasaratestatukset? Kimmovasaralla tehtäessä valmista rakennetta ei tarvitse rikkoa. Tuloksena saadaan suuntaa antava rakenteen lujuus. Testauksia tehdään useampi ja näistä lasketaan lujuuden keskiarvo. Kimmovasaralla tehtävät lujuusmittaukset tulisi ottaa työmailla käytännöksi. Työn suorittaisi koulutettu työmaan henkilökunta.

## 12.5 Valvonta

Betoniaseman toimintaa valvoo akkreditoidut tarkastuslaitokset (kolmas osapuoli). Aiemmissä kappaleissa esitettiin, että betonimassan valmistajan olisi mahdollista vastata myös betonimassan valusta. Näin kolmannen osapuolen valvonta ulottuisi työmaankin työsuorituksiin.

Toisaalta, jos valamisen suorittaisi urakoitsija, olisiko siltikin mahdollista ottaa käytännöksi myös työmaalle kolmannen osapuolen tarkastus. Kolmas osapuoli valvoisi sekä työn suoritusta että työmaan laadunvalvontaa.

Tukes valvoo betonimassaan käytettäviä CE-merkittyjä raaka-aineita sekä kovettunutta betonia. Kuitenkaan Tukesilla ei ole toimivaltaa valvoa valmista rakennetta työmaalla.

Rakennusvalvontaviranomaisen laatii lupapäätökset ja hyväksynnät sekä suorittaa rakentamiseen liittyvät katselmukset ja tarkastukset.

Kuka valvoo, että lopullinen kovettunut rakenne on turvallinen? Olisiko tämäkin mahdollista sisällyttää kolmannen osapuolen tarkastukseen? Olisiko mahdollista, että ulkopuolinen taho valvoisi valmistuvien rakenteiden laatua puolueettomasti?

### 13 Pohdinta

Tukesin työni ja tämän tutkimuksen myötä olen saanut huomata, että betonin valmistusketjussa aina betoniasemalta kovettuneeseen betoniin, on huomattavan paljon kohtia, jotka vaikuttavat valmiin kovettuneen rakenteen laatuun. Alan tulisi kehittää kaiken kattava laadunvalvontaketju. Tähän laadunvalvontaan osallistuisivat betoniasemat, kuljetusyrittäjät, urakoitsijat sekä ulkopuoliset valvovat tahot esimerkiksi kolmas osapuoli. Laatujärjestelmän avulla pienten poikkeamien kautta opitaan käsittelemään isoja ongelmia.

Tässä työssä selvitettiin tutkimusten kautta monia eri kohtia, jotka ovat tärkeitä ottaa huomioon. Kuljetus vaikuttaa jossain määrin lopulliseen lujuuteen, mutta ei juurikaan ilmamäärään. Testauksien tekijällä ja sillä että noudatetaan testiohjeita, voi olla suurikin merkitys lopulliseen testitulokseen.

Betonialan asiantuntijat ovat huolestuneita kyseisistä seikoista. Nämä tulivat esille haastattelututkimuksessa. Työmaan laadunvalvonta on puutteellista ja betonimassa voi joutua odottamaan pitkään ennen valua. Ongelmia aiheuttavat jotkin lisäaineet sekä tiheät raudoitukset.

## Lähteet

- 1 Betoniteollisuus Ry. Betoni rakennusmateriaalina. Verkkodokumentti. [<https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/>]. Luettu 20.4.18
- 2 Betoniteollisuus Ry. Betonin valmistus. Verkkodokumentti. [<http://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-valmistus/>]. Luettu 15.5.17
- 3 Betoniteollisuus Ry. Betonityypit ja oikean betonin valinta. Verkkodokumentti. [<http://betoni.com/koti-betonista/rakennustapavaihtoehdot/paikallavalu/betonityypit-ja-oikean-betonin-valinta/>]. Luettu 13.10.17
- 4 Betoniteollisuus Ry. Lisäaineet. Verkkodokumentti. [<http://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/lisaaineet/>]. Luettu 15.6.17
- 5 Betoniteollisuus Ry. Valmisbetoni. Betonointi. Verkkodokumentti. [<http://www.valmisbetoni.fi/toteutus/betoniteknologia/betonointi/>]. Luettu 1.5.18
- 6 Betoniteollisuus Ry. Valmisbetoni. Historia. Verkkodokumentti. [<http://www.valmisbetoni.fi/paikallavalurakentaminen/historia/>]. Luettu 15.5.17
- 7 Betoniteollisuus Ry. Valmisbetoni. Lujuuden kehitys. Verkkodokumentti. [<http://www.valmisbetoni.fi/toteutus/betoniteknologia/lujuuden-kehitys/>]. Luettu 27.6.18
- 8 Finn Ash-Power Oy. Verkkodokumentti. [<http://www.ashpower.fi/tietoa.html>]. Luettu 14.8.17
- 9 Finnsementti Oy. Betonin lujuus riippuu vesi-sementtisuhteesta. Verkkodokumentti. [<http://www.finnsementti.fi/tietoa-betonista/tietoa-betonista-pienrakentajalle-ja-rautakauppiaille/betonin-lujuus-riippuu-vesi-sementtisuhteesta/>]. Luettu 15.5.17
- 10 Finnsementti Oy. Masuunikuona. Verkkodokumentti. [<http://www.finnsementti.fi/tuotteet/seosaineet-ja-silikajauheet/masuunikuonajauhe-kj400/>]. Luettu 21.8.17
- 11 Finnsementti Oy. Masuunikuonajauhe. Verkkodokumentti. [[http://www.finnsementti.fi/fsproductdb/files/test/kj400\\_1\\_04092016\\_174128.pdf](http://www.finnsementti.fi/fsproductdb/files/test/kj400_1_04092016_174128.pdf)]. Luettu 21.8.17



- 12 Finnsementti Oy. Pesubetonin suhteitus. Verkkodokumentti. [<http://www.finnsementti.fi/tuotteet/pintahidastimet/pesubetonin-suhteitus>]. Luettu 13.10.17
- 13 Finnsementti Oy. Sementti. Verkkodokumentti. [<http://www.finnsementti.fi/sementti>]. Luettu 13.6.17
- 14 Finnsementti Oy. Suomalainen sementti. Verkkodokumentti. [[http://www.finnsementti.fi/files/pdf/FS\\_Suomalainen\\_sementti\\_kirjanen\\_071112.pdf](http://www.finnsementti.fi/files/pdf/FS_Suomalainen_sementti_kirjanen_071112.pdf)]. Luettu 13.6.17
- 15 Semtu Oy. Hidastimet. Verkkodokumentti. [<https://www.semtu.fi/fi/tuotteet/betonin-lisa-aineet/hidastimet>]. Luettu 15.6.17
- 16 Semtu Oy. Huokostimet. Verkkodokumentti. [<https://www.semtu.fi/files/1514/0420/1037/Huokostimet-info-2014.pdf>]. Luettu 1.11.17
- 17 Semtu Oy. Kiihdyttimet. Verkkodokumentti. [<https://www.semtu.fi/fi/tuotteet/betonin-lisa-aineet/kiihdyttimet>]. Luettu 15.6.17
- 18 Semtu Oy. Notkistimet. Verkkodokumentti. [<https://www.semtu.fi/fi/tuotteet/betonin-lisa-aineet/notkistimet-2-2>]. Luettu 15.6.17
- 19 Semtu Oy. Muut lisäaineet. Verkkodokumentti. [<https://www.semtu.fi/fi/tuotteet/betonin-lisa-aineet/muut-lisaeaineet>]. Luettu 15.6.17
- 20 Semtu Oy. Pakkaslisäaineet. Verkkodokumentti. [<https://www.semtu.fi/fi/tuotteet/betonin-lisa-aineet/pakkaslisaeaineet>]. Luettu 15.6.17
- 21 Suomen Betoniyhdistys Ry. BY 201. 2001.
- 22 Suomen Betoniyhdistys Ry. BY 65. 2016.
- 23 Suomen Standardisoimisliitto SFS. Betoni. Määrittely, Ominaisuudet, Valmistus ja Vaatimustenmukaisuus. SFS-EN 206. 2014.
- 24 Tekniikka ja Talous. Eeva Törmänen. Silika pitää betonin nuorena. Verkkodokumentti. [<http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/rakennus/2005-02-10/Silika-pit%C3%A4%C3%A4-betonin-nuorena-3281372.html>]. Luettu 26.9.17

- 25 Tiehallinto. Siltojen korjaus. 2007. Verkkodokumentti.  
[[http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio1/s1201\\_2007.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio1/s1201_2007.pdf).] Luettu 5.9.17
- 26 Tukes. Mittauslaitteet. Verkkodokumentti.  
[<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Mittauslaitteet/Mittauslaitteiden-hyvaksynta-vaakaaminen-merkinnat-ja-kaytto/>.] Luettu 20.4.18
- 27 Vaasan Rakennusmestarit ja-insinöörit AMK ry. Betoni\_1. Verkkodokumentti.  
[[https://www.rkl.fi/vaasa/ajankohtaista/fi\\_FI/Koulutukset/\\_files/.../Betoni.pdf](https://www.rkl.fi/vaasa/ajankohtaista/fi_FI/Koulutukset/_files/.../Betoni.pdf).] Luettu 13.10.17

## Ilmamäärämittaukset TAMK



Rakennuslaboratorio

## ILMAMÄÄRÄMITTAUKSET 13.6.2017

13.6.2017

RAKENNUSLABORATORION MITTAUSPALVELU

## Ilmamäärämittaukset 13.6.2017

### Tilaaaja

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes)  
Laura Lakua  
Yliopistonkatu 38  
33100 Tampere

### Tutkimus

AT-ryhmä, tuoreen betonin ilmamäärämittaukset

### Testeissä käytetyt laitteet

-Ilmamäärämittari Testing nro 635, 5 litraa. Kalibroitu 3.2.2017.  
-Tärysauva PNU 25  
-Tärypöytä VTP 600.

### Ilmamäärämittaukset

-Testit 13.06.2017  
-Betoni C35/45 P50, max rae 16 mm, notkeus S2, Plus-sementti  
-Tuoreen betonin lämpötila 23,2 °C.

Taulukko 1. Ilmamäärämittaukset

Testi	Mittaaja	Tiivistys tärypöydällä Ilmamäärä %	Tiivistys sauvalla Ilmamäärä %	Huomioita
1.	Betonilaborantti	5,6	4,0	Tärypöydän teho heikko ja sauvan oikea
2.	2. luokan opiskelija		3,7	Betonia tiivistetty liikaa Pieniä työvirheitä
3.	3. luokan opiskelija		2,6	Betonia tiivistetty liikaa Pieniä työvirheitä
4.	4. luokan opiskelija		2,7	Betonia tiivistetty liikaa Pieniä työvirheitä



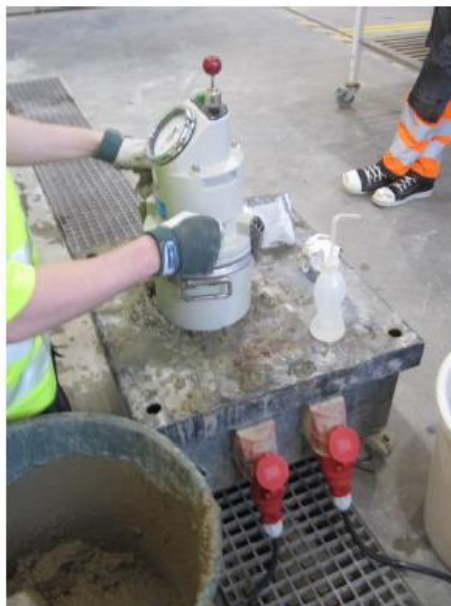
1. Ilmamäärämittari



2. Betonin tiivistäminen 1. kerros



3. Betonin tiivistäminen 2. kerros



4. Ilmamäärämittaus

Tampereella, 13. kesäkuuta 2017

**Hannu Kauranen**  
Koulutuspäällikkö  
Rakentaminen ja teknologia

**Kati Orjala**  
Laboratoriainsinööri  
Rakennuslaboratorio

---

5/5

Kuntokatu 3  
33520 TAMPERE

Puh. (03) 245 2111

## Puristuslujuuskokeet TAMK



Rakennuslaboratorio

## PURISTUSLUJUUSKOKKEET 1.2.2017

10.3.2017

RAKENNUSLABORATORION MITTAUSPALVELU



## Puristuslujuustestit 23.2.2017

### Tilaja

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes)  
Jukka Lepistö  
Kalevantie 2  
33100 Tampere

### Tutkimus

AT-ryhmä, betonin koekuutiot

### Testeissä käytetyt laitteet

- Puristuslujuustestit tehtiin ELE ADR Auto 2000 betonipuristimella.  
Kalibroitu 19.5.2016.
- Lämpötilamittaukset tehtiin Flir E60 lämpökameralla. Kalibroitu 11.12.2015
- Koekappaleiden tiivistykset tehtiin tärysauvalla PNU 25
- Koekappaleiden tiivistykset tehtiin tärypöydällä VTP 600
- Koekappaleen paino mitattiin Radweg vaalla.

### Koekappaleet 1 - 24

- Valettu 01.02.2017
- Betoni C25/30, max rae 16 mm, notkeus S2, Plus-sementti, 28 d
- Tuoreen betonin lämpötila 23,1 °C ja notkeus 50 mm (S2)
- Koekappaleiden säilytys 1.2 – 2.2.2017 muovin alla, tilan lämpötila 20,7 °C ja Rh 24,8 %
- 02.02.2017 -> säilytys vedessä, lämpötila 18 °C
- Puristuslujuuden testaus 23.02.2017, ikä 22 d
- Kuormitusnopeus testissä oli 13,5 KN/s.

#### Koekappaleiden 1 - 3 puristuslujuudet

Tiivistys tärysauvalla  
-Tiivistys: 2 kerroksessa, 15s/kerros, tärysauvalla  
-Jälkitärytys: Ei  
-Liippaus: 1,5 h kuluttua  
-Säilytys vedessä 21 d

#### Tulokset

Taulukko 1. Puristuslujuudet

Näytteen tunnus	Rakenne	Lämpötila [°C]	Murtokuorma [KN]	Puristuslujuus [Mpa]	Paino (g)	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )
1.	150 mm kuutio	18,4	730,1	32,5	7904	2342
2.	150 mm kuutio	18,4	736,9	32,8	7912	2344
3.	150 mm kuutio	18,4	735,6	32,7	8014	2375

Keskiarvo: 32,7 Mpa

#### Koekappaleiden 4 - 6 puristuslujuudet

Tiivistys tärysauvalla, aiemmin kuivumaan  
-Tiivistys: 2 kerroksessa, 15s/kerros, tärysauvalla  
-Jälkitärytys: Ei  
-Liippaus: 1,5 h kuluttua  
-Säilytys vedessä 19 d

#### Tulokset

Taulukko 2. Puristuslujuudet

Näytteen tunnus	Rakenne	Lämpötila [°C]	Murtokuorma [KN]	Puristuslujuus [Mpa]	Paino (g)	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )
4.	150 mm kuutio	20,3	759,2	33,7	7981	2365
5.	150 mm kuutio	20,0	737,9	32,8	7972	2362
6.	150 mm kuutio	20,0	726,6	32,3	7886	2337

Keskiarvo: 32,9 Mpa

#### Koekappaleiden 7 - 9 puristuslujuudet

Standardin mukainen  
-Tiivistys: 2 kerroksessa, 15s/kerros, tärysauvalla  
-Jälkitärytys: Ei  
-Liippaus: Heti  
-Säilytys vedessä 21 d

#### Tulokset

Taulukko 3. Puristuslujuudet

Näytteen tunnus	Rakenne	Lämpötila [°C]	Murtokuorma [KN]	Puristuslujuus [Mpa]	Paino (g)	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )
7.	150 mm kuutio	18,3	712,7	31,7	8038	2382
8.	150 mm kuutio	18,4	667,2	29,7	7912	2344
9.	150 mm kuutio	18,3	664,1	29,5	7880	2335

Keskiarvo: 30,3 Mpa

#### Koekappaleiden 10 -12 puristuslujuudet

Tiivistys tärypöydällä  
-Tiivistys: 2 kerroksessa, 15s/kerros, tärypöydällä  
-Jälkitärytys: Ei  
-Liippaus: 1,5 h kuluttua  
-Säilytys vedessä 21 d

#### Tulokset

Taulukko 4. Puristuslujuudet

Näytteen tunnus	Rakenne	Lämpötila [°C]	Murtokuorma [KN]	Puristuslujuus [Mpa]	Paino (g)	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )
10.	150 mm kuutio	18,5	680,0	30,2	7874	2333
11.	150 mm kuutio	18,4	695,2	30,9	7925	2348
12.	150 mm kuutio	18,5	683,4	30,4	7937	2352

Keskiarvo: 30,5 Mpa

#### Koekappaleiden 13 - 15 puristuslujuudet

Pitkä tiivistys tärypöydällä  
-Tiivistys: koko ajan tiivistäen, 5 min, tärypöydällä  
-Jälkitärytys: Ei  
-Liippaus: 1,5 h kuluttua  
-Säilytys vedessä 21 d

#### Tulokset

Taulukko 5. Puristuslujuudet

Näytteen tunnus	Rakenne	Lämpötila [°C]	Murtokuorma [KN]	Puristuslujuus [Mpa]	Paino (g)	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )
13.	150 mm kuutio	18,5	722,2	32,1	7907	2343
14.	150 mm kuutio	19,3	782,8	34,8	8041	2383
15.	150 mm kuutio	18,5	753,1	33,5	8011	2374

Keskiarvo: 33,5 Mpa

#### Koekappaleiden 16 - 18 puristuslujuudet

Pitkä tiivistys tärysauvalla  
-Tiivistys: koko ajan tiivistäen, 5 min, tärysauvalla  
-Liippaus: 1,5 h kuluttua  
-Jälkitärytys: Ei  
-Säilytys vedessä 21 d

#### Tulokset

Taulukko 6. Puristuslujuudet

Näytteen tunnus	Rakenne	Lämpötila [°C]	Murtokuorma [KN]	Puristuslujuus [Mpa]	Paino (g)	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )
16.	150 mm kuutio	18,6	736,2	32,7	7971	2362
17.	150 mm kuutio	18,5	745,2	33,1	8011	2374
18.	150 mm kuutio	18,7	780,2	34,7	7947	2355

Keskiarvo: 33,5 Mpa

### Koekappaleiden 19 - 24 puristuslujuudet

#### Jälkitärytys

- Tiivistys: 2 kerroksessa, 15s/kerros, tärysauvalla
- Jälkitärytys: 1,5 h kuluttua tärypöydällä
- Liippaus: 1,5 h kuluttua
- Säilytys vedessä 21 d

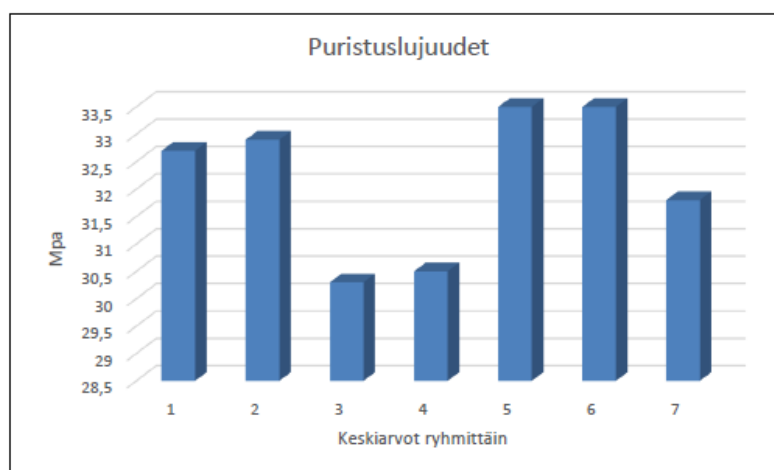
#### Tulokset

Taulukko 7. Puristuslujuudet

Näytteen tunnus	Rakenne	Lämpötila [°C]	Murtokuorma [KN]	Puristuslujuus [Mpa]	Paino (g)	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )
19.	150 mm kuutio	18,4	727,8	32,4	7954	2357
20.	150 mm kuutio	18,7	715,3	31,8	7999	2370
21.	150 mm kuutio	18,5	716,3	31,8	8024	2377
22.	150 mm kuutio	18,6	690,9	30,7	7946	2354
23.	150 mm kuutio	18,7	725,1	32,2	7954	2357
24.	150 mm kuutio	18,7	717,8	31,9	7938	2352

Keskiarvo: 31,8 Mpa

Tulokset ryhmittäin lasketulla keskiarvolla.



6/12



1. Painuman mittaus



2. Painuman mittaus



3. Koekappaleen tiivistys tärysauvalla kahdessa kerroksessa



4. Koekappaleen tiivistys tärysauvalla kahdessa kerroksessa



5. Koekappaleen tiivistys tärypöydällä



6. Pinnan hierto





7. Valmis koekappale



8. Koekappaleen punnitseminen



9. Koekappaleen puristus



10. Puristetut koekappaleet

Tampereella, 10. maaliskuuta 2017

**Hannu Kauranen**  
Koulutuspäällikkö  
Rakentaminen ja teknologia

**Kati Orjala**  
Laboratorioinsinööri  
Rakennuslaboratorio

**Marko Harjumäki**  
Projekti-insinööri  
Rakennuslaboratorio

---

12/12

Kuntokatu 3  
33520 TAMPERE

Puh. (03) 245 2111

## Puristuslujuuskokeet TAMK



Rakennuslaboratorio

## PURISTUSLUJUUSKOKEET 10.5.-1.6.2017

5.6.2017

RAKENNUSLABORATORION MITTAUSPALVELU

## Puristuslujuustestit 1.6.2017

### Tilaaaja

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes)  
Jukka Lepistö  
Kalevantie 2  
33100 Tampere

### Tutkimus

AT-ryhmä, betonin koekuutiot, P-luku betoni

### Testeissä käytetyt laitteet

- Puristuslujuustestit tehtiin ELE ADR Auto 2000 betonipuristimella. Kalibroitu 23.5.2017.
- Lämpötilamittaukset tehtiin Flir E60 lämpökameralla. Kalibroitu 11.12.2015
- Koekappaleiden tiivistyksen testaus tehtiin tärysauvalla PNU 25
- Koekappaleiden tiivistyksen testaus tehtiin tärypöydällä VTP 600
- Koekappaleen paino mitattiin Radwag vaa'alla. Kalibroitu 22.5.2017.

### Koekappaleet 1 - 24

- Valettu 10.05.2017
- Betoni C35/45 P50, max rae 16 mm, notkeus S3, Plus-sementti, 28 d
- Tuoreen betonin lämpötila 19,0 °C, notkeus 108 mm (S3) ja ilmamäärä 6,8%
- Koekappaleiden säilytys 10.5 – 11.5.2017 muovin alla, tilan lämpötila 22,1 °C ja Rh 23,4 %
- 11.05.2017 -> säilytys vedessä, lämpötila 21 °C
- Puristuslujuuden testaus 01.06.2017, ikä 22 d
- Kuormitusnopeus testissä oli 13,5 KN/s.

#### Koekappaleiden 1 - 3 puristuslujuudet

Tiivistys tärysauvalla  
-Tiivistys: 2 kerroksessa, 15s/kerros, tärysauvalla  
-Jälkitärytys: Ei  
-Liippaus: 1,5 h kuluttua  
-Säilytys vedessä 21 d

#### Tulokset

Taulukko 1. Puristuslujuudet

Näytteen tunnus	Rakenne	Lämpötila [°C]	Murtokuorma [KN]	Puristuslujuus [Mpa]	Paino (g)	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )
1.	150 mm kuutio	20,7	985,3	43,8	7761	2306
2.	150 mm kuutio	20,8	964,6	42,9	7692	2287
3.	150 mm kuutio	21,0	987,9	43,8	7729	2290

Keskiarvo: 43,5 Mpa

#### Koekappaleiden 4 - 6 puristuslujuudet

Tiivistys tärysauvalla, aiemmin kuivumaan  
-Tiivistys: 2 kerroksessa, 15s/kerros, tärysauvalla  
-Jälkitärytys: Ei  
-Liippaus: 1,5 h kuluttua  
-Säilytys vedessä 19 d

#### Tulokset

Taulukko 2. Puristuslujuudet

Näytteen tunnus	Rakenne	Lämpötila [°C]	Murtokuorma [KN]	Puristuslujuus [Mpa]	Paino (g)	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )
4.	150 mm kuutio	21,1	1012	44,6	7701	2265
5.	150 mm kuutio	21,0	981,9	43,4	7699	2271
6.	150 mm kuutio	21,0	1010	44,9	7697	2285

Keskiarvo: 44,3 Mpa

**Koekappaleiden 7 - 9 puristuslujuudet**

Pinnat heti

-Tiivistys: 2 kerroksessa, 15s/kerros, tärysauvalla

-Jälkitärytys: Ei

-Liippaus: Heti

-Säilytys vedessä 21 d

Tulokset

Taulukko 3. Puristuslujuudet

Näytteen tunnus	Rakenne	Lämpötila [°C]	Murtokuorma [KN]	Puristuslujuus [Mpa]	Paino (g)	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )
7.	150 mm kuutio	20,9	936,9	41,6	7689	2278
8.	150 mm kuutio	21,1	950,2	42,1	7692	2278
9.	150 mm kuutio	21,0	924,4	41,0	7730	2289

Keskiarvo: 41,6 Mpa

**Koekappaleiden 10 -12 puristuslujuudet**

Tiivistys tärypöydällä

-Tiivistys: 2 kerroksessa, 15s/kerros, tärypöydällä

-Jälkitärytys: Ei

-Liippaus: 1,5 h kuluttua

-Säilytys vedessä 21 d

Tulokset

Taulukko 4. Puristuslujuudet

Näytteen tunnus	Rakenne	Lämpötila [°C]	Murtokuorma [KN]	Puristuslujuus [Mpa]	Paino (g)	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )
10.	150 mm kuutio	20,6	938,6	41,7	7673	2280
11.	150 mm kuutio	20,6	918,4	40,7	7748	2293
12.	150 mm kuutio	20,6	904,4	40,2	7690	2285

Keskiarvo: 40,9 Mpa

#### Koekappaleiden 13 - 15 puristuslujuudet

Pitkä tiivistys tärypöydällä  
-Tiivistys: koko ajan tiivistäen, 5 min, tärypöydällä  
-Jälkitärytys: Ei  
-Liippaus: 1,5 h kuluttua  
-Säilytys vedessä 21 d

#### Tulokset

Taulukko 5. Puristuslujuudet

Näytteen tunnus	Rakenne	Lämpötila [°C]	Murtokuorma [KN]	Puristuslujuus [Mpa]	Paino (g)	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )
13.	150 mm kuutio	20,8	934,0	41,2	7731	2276
14.	150 mm kuutio	21,4	1054	46,8	7938	2354
15.	150 mm kuutio	21,4	1010	45,0	7836	2333

Keskiarvo: 44,3 Mpa

#### Koekappaleiden 16 - 18 puristuslujuudet

Pitkä tiivistys tärysauvalla  
-Tiivistys: koko ajan tiivistäen, 5 min, tärysauvalla  
-Liippaus: 1,5 h kuluttua  
-Jälkitärytys: Ei  
-Säilytys vedessä 21 d

#### Tulokset

Taulukko 6. Puristuslujuudet

Näytteen tunnus	Rakenne	Lämpötila [°C]	Murtokuorma [KN]	Puristuslujuus [Mpa]	Paino (g)	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )
16.	150 mm kuutio	21,0	1003	44,5	7859	2330
17.	150 mm kuutio	21,1	1020	44,8	7885	2315
18.	150 mm kuutio	21,0	1017	45,0	7862	2323

Keskiarvo: 44,8 Mpa



### Koekappaleiden 19 - 24 puristuslujuudet

#### Jälkitärytys

- Tiivistys: 2 kerroksessa, 15s/kerros, tärysauvalla
- Jälkitärytys: 1,5 h kuluttua tärypöydällä
- Liippaus: 1,5 h kuluttua
- Säilytys vedessä 21 d

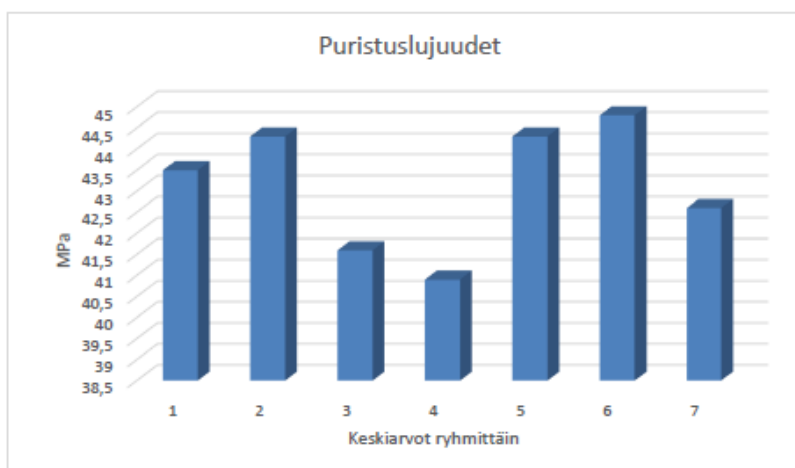
#### Tulokset

Taulukko 7. Puristuslujuudet

Näytteen tunnus	Rakenne	Lämpötila [°C]	Murtokuorma [KN]	Puristuslujuus [Mpa]	Paino (g)	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )
19.	150 mm kuutio	21,0	956,6	42,5	7835	2323
20.	150 mm kuutio	21,4	963,6	42,8	7806	2316
21.	150 mm kuutio	21,5	955,6	42,5	7806	2318
22.	150 mm kuutio	21,6	944,5	42,0	7782	2312
23.	150 mm kuutio	21,5	943,3	42,0	7793	2318
24.	150 mm kuutio	21,6	982,5	43,6	7849	2329

Keskiarvo: 42,6 Mpa

Tulokset ryhmittäin lasketulla keskiarvolla.





1. Painuman mittaus



2. Koekappaleen tiivistys tärypöydällä



3. Koekappaleen tiivistys tärysauvalla



4. Koekappaleet ennen pintojen hiertoa



5. Pinnan hierto



6. Puristamattomat koekappaleet

Tampereella, 05. kesäkuuta 2017

**Hannu Kauranen**  
Koulutuspäällikkö  
Rakentaminen ja teknologia

**Kati Orjala**  
Laboratoriainsinööri  
Rakennuslaboratorio

**Marko Harjumäki**  
Projekti-insinööri  
Rakennuslaboratorio

---

10/10

Kuntokatu 3  
33520 TAMPERE

Puh. (03) 245 2111

## Puristuslujuuskokeet Contesta

### CONTESTA

Jaakko Roinisto

Tutkimuslaskutus 21200578-001 1(2)

22.9.2017

Turvallisuus ja kemikaliovirasto

#### Jakelu

laura.lakua@tukes.fi

Yliopistokatu 38  
33100 TAMPERE

#### Rakennustyö

Laitsalmen silta, Savonlinna

#### Rakenneosa

#### Tilaus

23.8.2017 / Laura Lakua

#### Koekappaleet

6 kpl kuutioita 150 x 150 x 150 mm.

### SFS-EN 12390-3 KOVETTUNEEN BETONIN TESTAUS. OSA 3: KOEKAPPALEIDEN PURISTUSLUJUUS.

#### Koetulokset sekä tilaajan ilmoittamat lähtötiedot:

Koekappaleen tunnus	Lujuus- ja rakenneluokka	Valmistus-pvm	Ikä d	Koetuspvm	Murtovoima kN	Puristuslujuus MPa	Tiheys kg/m <sup>3</sup>
C2	-	24.8.2017	28	21.9.2017	1238	55,0	2310
C28	-	24.8.2017	28	21.9.2017	1243	55,2	2320
C31	-	24.8.2017	28	21.9.2017	1222	54,3	2330
C17	-	24.8.2017	28	21.9.2017	1323	58,8	2350
C29	-	24.8.2017	28	21.9.2017	1236	54,9	2340
C7	-	24.8.2017	28	21.9.2017	1273	56,6	2360
Betoniasema 1	-	24.8.2017	28	21.9.2017	1414	62,8	2360
Betoniasema 2	-	24.8.2017	28	21.9.2017	1403	62,4	2390
Betoniasema 3	-	24.8.2017	28	21.9.2017	1412	62,8	2350

#### Testauslaitoksen ilmoittamat lisätiedot:

Testaus on suoritettu standardin mukaisesti lukuun ottamatta erikseen ilmoitettavia poikkeamia standardimenetelmästä. Normilieriön ja särmältään 100 mm kuution lujuustulokset on muunnettu vastaamaan 150 mm normikuution tuloksia By65, Betoninormit 2016 taulukon 5.1 mukaisesti. Puristuslujuus ja tiheys on laskettu koekappaleen nimellismittojen mukaan. Koekappaleet tasoitettiin hiomalla. Koestettuja kappaleita säilytetään 5 arkipäivää raportoinnin jälkeen.

#### Tilaajan ilmoittamat lisätiedot:

Betoniasema 1, 2 ja 3 = Kuormakirja 13102598. Kappaleet C2, C28 ja C31 otettu pumpusta, kappaleet C17, C29 ja C7 otettu autosta.

Contesta Oy, www.contesta.fi, Y-tunnus 1712699-6

Porraskuja 1, 01740 Vantaa, puh. (09) 2525 2425, fax. (09) 2525 2426

Varastokuja 1, 21600 Parainen, puh. 0207 430 620, fax. 0207 430 621

© Contesta Oy. Tämä asiakirjan osittainen julkaiseminen on sallittu vain Contesta Oyn antaman kirjallisen luvan perusteella.

Testatulokset päivitetään ajoaikaan testarullille näkyville. Testarulliin liittyvät mittauspöytämuutokset ilmoitetaan pyydettäessä.

---

**CONTESTA OY**  
Hyväksytty koetuslaitos



Jaakko Roinisto  
Laatija



Viveca Lindqvist  
Tarkastaja

Tämä tutkimusselostus on allekirjoitettu  
sähköisesti 21.9.2017.

---

Contesta Oy, [www.contesta.fi](http://www.contesta.fi), Y-tunnus 1712699-6

Porraskuja 1, 01740 Vantaa, puh. (09) 2525 2425, fax (09) 2525 2426

Varastokuja 1, 21600 Parainen, puh. 0207 430 620, fax. 0207 430 621

© Contesta Oy. Tämän asiakirjan osittainen julkaiseminen on sallittu vain Contesta Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella.  
Tulokset ovat voimassa ainoastaan testatulle näytteelle. Testaukseen liittyvät mittauspöytäkirjat ilmoitetaan pyydettyinä.

## Tukes, PKS-rava kyselylomake



Helsingin kaupunki  
Rakennusvalvontavirasto



1 (3)

**Yhteistyössä pääkaupunkiseudun rakennusvalvontavirastojen kanssa Turvallisuus- ja kemikaalivirasto pyytää seuraavia tietoja työmailta:**

## 1 Työmaan tiedot

Kohde \_\_\_\_\_  
 Rakennuslupatunnus \_\_\_\_\_  
 Valupäivä \_\_\_\_\_  
 Betonin toimittaja / asema \_\_\_\_\_  
 Valettava rakenneosaa \_\_\_\_\_  
 Yhteyshenkilö, puh.nro \_\_\_\_\_

Onko työmaalle nimetty kohteen laajuuden edellyttämän vaatimustason mukainen vastaava betonityönjohtaja  Kyllä  Ei

Onko betonityönjohtajalle nimetty varamies (jos työmaalla nimetty betonityönjohtaja)  Kyllä  Ei

## 2 Valu

Betonille asetetut laatu- ja lujuusvaatimukset \_\_\_\_\_

Valun koko (m3) ja päämitat \_\_\_\_\_

Kuljetuksen tai valun aikana lisätty seosaineita  Kyllä  Ei  
 Tuote ja määrä \_\_\_\_\_

Betoniasemalle annettu ohjeistus työmaalta  Kyllä  Ei

Betonin toimittaja antanut ohjeita betonin käsittelystä  Kyllä  Ei  
 tai jälkihoidosta  Kyllä  Ei

Lisää mahdolliset ohjeistukset lähetettäviin asiakirjoihin.

Onko jälkihoidettu  Kyllä  Ei  
 Miten \_\_\_\_\_

## 3 Työnaikainen laadunvalvonta

Onko pidetty ja dokumentoitu aloituskokous/-kokouksia betonitoimittajan kanssa  
 Kyllä  Ei jos kyllä, mitä on erityisesti sovittu

Onko betonivaluista tehty kirjallinen betonointisuunnitelma  
 Kyllä  Ei

Onko betonivaluista tehty kirjallinen betonointipöytäkirja  
 Kyllä  Ei

Turvallisuus- ja  
kemikaalivirasto

Helsingin rakennusvalvontavirasto  
Siltasaarencatu 13  
00530 Helsinki

Espoon rakennusvalvontavirasto  
Kirkkojärventie 6 B  
02770 Espoo

Vantaan rakennusvalvontavirasto  
Kielotie 20 C  
01300 Vantaa



Betonimassan ilmamäärä mitattu kuljetuksen jälkeen	<input type="checkbox"/> Kyllä	<input type="checkbox"/> Ei
Tulos _____		
pumpkauksen/levityksen jälkeen	<input type="checkbox"/> Kyllä	<input type="checkbox"/> Ei
Tulos _____		
Kimmoasara-testi	<input type="checkbox"/> Kyllä	<input type="checkbox"/> Ei
Tulos _____		
Betonimassan lämpötilan seuranta	<input type="checkbox"/> Kyllä	<input type="checkbox"/> Ei
Tulos _____		
Rakennekoekappaleita	<input type="checkbox"/> Kyllä	<input type="checkbox"/> Ei
Kappalemäärä _____		

Mikäli on otettu, näiden tulokset (mm. lujuus, tiheys ja ilmamäärä) voidaan esittää erillisellä asiakirjalla.

Ovatko työmaan betonikuormakirjat ja pumppaustyöilmoitukset arkistoitu  
 Kyllä  Ei

Onko kuormakirjoihin ja pumppaustyöilmoituksiin tehty vastaanottokuitaus  
 Kyllä  Ei

#### 4 Asiakirjat

Asiakirjat pyydetään toimittamaan sähköisinä koottuna työmaittain osoitteeseen rakennustuote@tukes.fi. Mikäli useampi tieto ilmenee yksittäisestä asiakirjasta, ei tietoja tarvitse eritellä.

- Aloituskokouksen pöytäkirja (betonointiin liittyvä)
- Betonointisuunnitelma
- Kuormakirjat (1 kpl / betonilaatu ja aina jos massa on lisätty seosainetta kuljetuksen aikana / jälkeen)
- Betonointipöytäkirja (by 401), tai muu vastaava laadunvalvontapöytäkirja
- Suhteitusraportti (jos tiedossa)
- Betonimassan lämpötila ja ilmamäärä tehtaalla (jos tiedossa)
- Työmaan ja/tai betonitoimittajan ohjeistukset



Helsingin kaupunki  
Rakennusvalvontavirasto



3 (3)

## 5 Lisätiedot

Tämä lomake ja siinä edellytetyt liitteet on toimitettava TUKES:lle seuraavien betonivalujen osalta:

1. Uudet valut: Arvosteluerittäin niiden betonitoimitusten osalta, joista valmistetaan laadunvarmistussuunnitelman mukaiset työmaan koekappaleet mm. puristuslujuuden ja tiheyden määrittämistä varten.
2. Aiemmin valetut rakenteet: Yhdet asiakirjat arvosteluerää kohden. Lisäksi niiden betonirakenteiden osalta, joista otetaan ja tutkitaan rakennekoekappaleita sekä niiden betonirakenteiden osalta, joissa asiantuntijatarkastuksen yhteydessä havaitaan puutteita betonin lujuudessa.

Arvosteluerät on esitetty tarkemmin asiantuntijan laatimassa kohdekohtaisessa betonin lujuuden laadunvarmistussuunnitelmassa.

**Huom.** Esimerkiksi suhteutukseltaan, sideainekoostumukseltaan tai lisäaineiltaan erilaiset massat kuuluvat eri arvostelueriin. Mikäli kuljetuksen tai valun aikana betoniin lisätään seosaineita, kuuluu betoni eri arvosteluerään kuin betoni, johon kyseisiä seosaineita ei lisätä.