

Jussi Pahkasalo

Betonin laadunvalvonta

Ilmamäärien mittaaminen betonista

Opinnäytetyö

Kevät 2018

SeAMK Tekniikka

Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma

SeAMK 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö:	Tekniikan yksikkö				
Tutkinto-ohjelma:	Rakennusalan työnjohto				
Suuntautumisvaihtoehto:	Talonrakennustekniikka				
Tekijä:	Jussi Pahkasalo				
Työn nimi:	Betonin laadunvalvonta				
Ohjaaja:	Olli Isopahkala				
Vuosi:	2018	Sivumäärä:	41	Liitteiden lukumäärä:	0

Vuoden 2017 tapahtumien johdosta monet rakennusliikkeet alkoivat kiinnittää enemmän huomiota betonin vastaanottotarkastuksiin ja erityisesti betonin ilmamääriin. Eräs rakennusliike tarjosi mahdollisuutta suorittaa laaduntarkkailua betonointi- työmaallaan. Suoritettu laadunvalvonta keskittyi erityisesti betonin ilmamäärien mittaamiseen. Ilmamäärien mittauksella pyrittiin havaitsemaan betonin siirron aikana tapahtuvaa ilmamäärän kasvua ja kartoittamaan, missä vaiheessa mahdollinen ilma olisi betonimassaan sekoittunut. Ilmamäärämittaus suoritettiin työmaalle saapuvalla betonille säiliöautosta sekä pumppuauton suorittaman siirron jälkeen. Ilmamäärien mittaamiseen käytetty laite oli Matest 54-C170/L, joka on EN 12350 -standardin mukainen mittauslaite. Mittaukset suoritettiin pistokokein satunnaisista eristä. Mittausten aikana haitallista ilmamäärän kasvua betonimassassa ei havaittu, joten betonointitöitä ei tarvinnut rakennustyömaalla keskeyttää laajempien tutkimuksien suorittamista varten.

Avainsanat: Betoni, Betonointi, Laadunvalvonta, Laadunhallinta, Rakennusaine

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology
Degree programme: Construction Site Management
Author: Jussi Pahkasalo
Title of thesis: Quality Management for Concrete Construction
Supervisor: Olli Isopahkala
Year: 2018 Number of pages: 41

Due to the events in 2017, many construction companies started paying more attention to quality control in concrete construction projects. The commissioner of this work was a construction company which wanted to have quality surveillance and testing at their concrete construction site. The main purpose of the tests was to measure the air volumes in the used concrete and to analyse if moving caused an uncontrollable increase in the amount of air in the concrete.

The air volumes were tested twice from each arriving batch, first straight from the concrete trucks to see if there was too much air in the concrete already when arriving to the construction site, and the second test was taken after the concrete had been pumped. The test samples were taken with the Matest 54-C170/l air volume tester, which is a device conform to the EN 12350 Standard. The measurements for air volumes were taken randomly from the arriving batches. During the test, slight increase in air volume was detected, but the amounts were so little that pausing the construction for further research was not necessary.

Keywords: concrete, concreting, quality control, construction material

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO.....	8
2 BETONI RAKENNUSMATERIAALINA.....	9
2.1 Betonin historiaa.....	9
2.2 Betonin käyttö.....	10
2.3 Betonin lujuus.....	10
2.4 Betonin osa-aineet.....	11
2.4.1 Vesi.....	11
2.4.2 Sementti.....	12
2.4.3 Kiviaines.....	13
2.4.4 Lisäaineet.....	13
3 BETONIMASSAN VALMISTUS.....	16
3.1 Betonimassan notkeus.....	16
3.2 Rakenteen suunnittelukäyttöikä.....	17
3.3 Betonin rasitusluokat.....	18
3.4 Betonin suhteitus.....	19
3.5 Suhteituksen keskeiset tekijät.....	20
4 BETONOINTI TYÖMAALLA.....	23
4.1 Betonin tilaaminen.....	23
4.2 Betonin vastaanotto.....	24
4.3 Työturvallisuus.....	24
4.4 Muottityö.....	24
4.5 Betonin siirtokalusto.....	25
4.6 Betonointi.....	26
4.7 Betonin jälkihoito.....	26
5 LAADUNVALVONTA.....	28

5.1 Betonin toimittajan suorittama laadunvalvonta.....	29
5.2 Laadunvalvonta työmaalla	29
5.2.1 Vastaanottotarkastus	30
5.2.2 Työnsuoritus.....	30
5.2.3 Puristuslujuus normikokein.....	31
5.2.4 Puristuslujuus rakennekokein.....	31
5.2.5 Ilmamäärämittaus.....	32
5.2.6 NDT.....	32
5.2.7 Kimmovasara	32
6 BETONIN ILMAMÄÄRÄMITTAUKSET JA TULOKSET	34
6.1 Ilmamäärien mittaaminen.....	35
6.2 Testitulokset.....	36
6.3 Testitulosten tulkinta	38
LÄHTEET	40

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Pantheonin kupoli	9
Kuvio 2. Betonin notkeus	17
Kuvio 3. Rasitusluokat 50 vuoden käyttöiällä	19
Kuvio 4. Ilmamäärämittari	34
Kuvio 5. Harjoitusmittaus tulokset	37
Kuvio 6. Betonissa havaitut ilmamäärät	38
Taulukko 1. Veden suurin sallittu kloridipitoisuus.....	11
Taulukko 2. Betonimassan notkeusluokitus	17

Käytetyt termit ja lyhenteet

RakMK	Suomen rakennusmääräyskokoelma.
SFS	Suomessa vahvistetun standardin merkintätapa.
EN	CEN:ssä vahvistettu, eurooppalainen standardi.
Rakeisuusluku	Normaaliseulasarjalta saatu lukuarvo, jolla määritetään kiviaineksen rakeisuus suhteitusta varten.
Suhteitus	Betonin osa-aineiden suhteiden määrittämistä.
Normaaliseulasarja	Suhteituksessa käytetty seulasarja, jolla määritetään kiviaineen rakeisuusluku.
Kiviaines	Betonin runkoaine, yleensä luonnonkiveä, kalliomurskaa tai murskattua betonia.
BY50	Suomen betoniyhdistys ry:n laatima normi betonirakenteille.
Rasitusluokka	Betonin ulkopuolisten rasitusten kestämiseen käytetty taulukkoarvo.

1 JOHDANTO

Marraskuussa 2016 monissa betonirakenteissa havaittiin betonointitöiden keskeyttämiseen johtavia lujuusongelmia. Betonirakenteista otettiin tarkentavia tutkimuksia varten näytteitä, joilla betonin laatu varmistettiin. Lujuuden lisäksi betonista tutkittiin rakenteellista koostumusta ja kokonaisilmamäärää, joiden avulla betonin lujuudenkehitystä ja loppulujuutta pyrittiin selvittämään. Asiantuntijoiden lausunnon mukaan loppulujuus ei tule vastaamaan vaatimuksia. (Projektit 2016.)

Suurimmaksi tekniseksi syyksi betonin lujuusongelmiin todettiin liialliset ilmamäärät betonissa. Liikennevirasto teetti tutkimuksen, jossa havaittiin eri betonivalmistajien massoista tehdyissä koekappaleissa liiallista ilmamäärän nousua. (Uutiset 2016.)

Betonin laadunvalvonnassa on luotettu betoniasemien suorittamaan testaukseen, jolloin tuoreen betonimassan ilmapitoisuuksien kasvun aiheuttama lujuusalenema voivat jäädä huomioimatta. Ilmapitoisuuteen vaikuttavat tekijät betonin sekoituksen ja sitoutumisen välillä tulisi ottaa laadunvalvonnassa paremmin huomioon. (Kronlöf 2017, 1.)

Rakennusliike tarjosi mahdollisuutta tehdä ulkopuolista laadunvalvontaa ja testauksia työmaallaan. Tammikuussa 2017 aloitetuissa valutöissä käytettävästä betonimassasta tarkastettiin ilmamäärät ja pyrittiin havaitsemaan, aiheuttaako massan siirto haitallista ilmamäärän kasvua betonissa. Näytteitä otettiin pistokokeina betoniautosta, pumppuautosta ja betonin nostoastiasta, ja näistä saatuja tuloksia verrattiin betoniaseman ilmoittamiin tietoihin.

2 BETONI RAKENNUSMATERIAALINA

2.1 Betonin historiaa

Vanhimpana ja tunnetuimpana betonirakenteena voidaan pitää Rooman Pantheonin, jonka rakentamisessa on käytetty kreikkalaisilta perittyä kivirakentamisen taitoa ja uutta betonirakentamistapaa. Roomalaisessa betonissa käytettiin sideaineena kalkkia ja ns. potsolaania, joka on runsaasti piitä sisältävää tulivuoriturkua. Potsolaania oli saatavilla ainoastaan tietyiltä alueilta, joten betonin valmistustapa jäi unohduksiin. Portland-sementti keksittiin 1800-luvulla, jonka jälkeen betonia alettiin käyttää uudelleen ja 1900-luvulla betonin käyttö laajeni nopeasti. (Betoni [Viitattu 23.10.2017].)



Kuvio 1. Pantheonin kupoli
(Amos 2004).

2.2 Betonin käyttö

Betonia valmistetaan vuosittain 13 miljardia kuutiometriä, joten se on maailman käytetyin rakennusmateriaali. Monimuotoisuutensa vuoksi betonilla on useita pieniä ja suuria käyttökohteita. Betonista rakennetaan mm. sillat, padot, satamat, voimalaitokset ja useat muut infrarakenteet. Rakennusten perustuksissa ylivoimaisesti käytetyin rakennusmateriaali on betoni. Betonista valmistetaan myös erilaisia harkkoja, putkia, kattotiiliä ja ympäristötuotteita, kuten pihakiviä ja -laattoja sekä kalusteita. (Betoni [Viitattu 24.10.2018].)

2.3 Betonin lujuus

Betonin parhaimpia ominaisuuksia on sen erinomainen kyky kestää puristusta. Vesi-sementti-suhteella betonin puristuslujuutta kyetään säätämään. Peruseriaatteena käytetään, että mitä vähemmän käytetään vettä suhteessa sementtiin, sitä korkeampi puristuslujuus on. Kuitenkin betonissa tulee olla riittävästi vettä, että betoni kovettuu ylipäättään. Betoni ei juurikaan kestä vetorasituksia, joten tästä syystä betoniin asennetaan rauditus, joka voi olla harjaterästä, jännepunoksia tai erilaisia kuituja. (Betoni [Viitattu 25.10.2017].)

Lujuuden yksikkö betonille on megapascal (MPa) $1 \text{ MPa} = 1 \text{ MN/m}^2$. Vaikka betonin lujuuden kehitys jatkuu pitkään, sen lujuus arvostellaan 28 vuorokauden ikäisenä. Lujuutensa perusteella betonit jaetaan puristusluokkiin, jotka merkitään esimerkiksi C25/30. Merkintätavan ensimmäinen luku ilmaisee betonin lieriölujuuden, tässä tapauksessa 25 MPa. Jälkimmäinen luku on betonin kuutiolujuus 150 mm:n kuutiokappaleessa, tässä tapauksessa 30 MPa. Yleisimmät betoniteollisuudessa käytetyt lujuusluokat ovat C25/30...C50/60. Nykyinen merkintätapa on eurostandardien mukainen ja se on tullut käyttöön vuoden 2010 jälkeen. Vanha merkintä ilmaisi betonin lujuuden vain kuutiokappaleessa. Vanha merkintätapa ilmaistiin esimerkiksi K30. (Finnsementti [Viitattu 17.3.2017].)

Betonin lujuuteen vaikuttavat useat seikat:

- vesi-sementtisuhde
- sementin laatu ja -määrä
- kovettumislämpötila
- kiviaineksen laatu ja rakeisuus
- jälkihoito
- massan kovettumisikä
- seos- ja lisäaineet
- veden laatu
- massan tiiviys.

(Finnsementti [Viitattu 17.3.2017].)

2.4 Betonin osa-aineet

Betonissa käytetyt raaka-aineet ovat vesi, sementti ja kiviaines. Lisäksi betonissa voidaan käyttää useita erilaisia lisä- ja seosaineita, joilla betonin ominaisuuksia ja työstettävyyttä, kuten tiiviyyttä, lujuutta ja säilyvyyttä. Säätämällä osa-aineiden suhteita betonin ominaisuuksia voidaan muokata ilman lisäaineita, jolloin puhutaan betonin suhteituksesta. Osa-aineiden laatu ja seossuhteiden määrittäminen vaikuttavat valtavasti betonin ominaisuuksiin. (Suomen betoniyhdistys 2018, 24.)

2.4.1 Vesi

Betonin valmistukseen soveltuu juomakelpoinen vesi, mutta humuspitoiset suo- ja järvivedet eivät sovellu betoniin ja erityisesti on vältettävä vettä, jossa on pieniäkin määriä sokereita. Betonin käyttökohteesta riippuen vedessä sallitut kloridimäärät vaihtelevat. Humus häiritsee sementin kovettumisreaktiota ja sokerit hidastavat ja saattavat estää betonin kovettumisen tyystin. (Betoni [Viitattu 26.10.2017].)

Taulukko 1. Veden suurin sallittu kloridipitoisuus
(Suomen betoniyhdistys 2018).

Betonin käyttökohde	Suurin kloridipitoisuus (mg/l)
---------------------	--------------------------------

Jännitetty betonirakenne tai injektiolaasti	500
Raudoitettu betonirakenne	1000
Raudoittamaton betonirakenne	4500

Juomakelpoinen puhtaalta näyttävä luonnonvesi sekä vesijohtoverkosta otettu vesi soveltuvat betonin valmistukseen. Betonin valmistuksessa voidaan käyttää myös kierrätysvettä, joka on betoniteollisuuden prosessista talteen otettua vettä, jos sen soveltuvuus on ensin varmistettu. Pahalta haiseva tai maistuva vesi ei sovellu betonin valmistukseen ja lisäksi vesi ei saa vaahdota tai sisältää levää tai muita pieneliöitä. (Suomen betoniyhdistys 2018, 59.)

Sementin hydratoitumista vaikeuttavat myös öljyt ja rasvat, sillä ne voivat kiinnittyä sementtihiukkasten pinnalle ja estää kovettumisreaktion. Rasvat ja öljyt saattavat heikentää tartuntaa runkoaineisiin tai aiheuttaa ylimääräistä ilmaa betoniin. (Suomen betoniyhdistys 2018, 59.)

2.4.2 Sementti

Betonin sideaineena toimii sen tärkein osa-aine eli sementti, jonka pääraaka-aine on kalkkikivi. Sementtiä käytetään betonissa noin 200-400 kg kuutiometriä kohti, joka on 8-16 paino-%. Veden kanssa reagoidessaan sementti saa aikaan lujan mineraalin, ns. sementtikiven, joka sitoo raudoituksen ja betonin runkoaineen yhdeksi lujaksi paketiksi. Betonin ohella sementtiä käytetään erilaisten tasoitteiden ja laastien valmistukseen. (Betoni [Viitattu 26.10.2017].)

Sementti on epäorgaaninen hienoksi jauhettu materiaali, joka veden kanssa reagoidessaan muodostaa lujan ja kestävän lopputuotteen. Sementti kykenee reagoimaan veden kanssa niin veden alla kuin ilmassakin. Sementtikiveä kutsutaan myös sementtiliimaksi tai sementtipastaksi, ja tämä sementin ja veden reaktiotuote sitoo betonin muut ainesosat yhteen. Sementin kemiallisella koostumuksella on erityinen vaikutus betonin työstettävyyteen, lujuuden- ja lämmönkehitykseen sekä betonin säilyvyyteen. (Suomen betoniyhdistys 2018, 24.)

2.4.3 Kiviaines

Betonin tilavuudesta noin 70 % on kiviainesta eli ns. runkoainetta. Se koostuu tyypillisesti 0.02-16 mm:n kokoisista kivirakeista, ja runkoaineen karkeimman osan muodostaa murske, luonnonsora tai murskattu betoni ja hienomman hiekka. Runkoaineena käytetään pestyä kiviaineista, ettei kiviaineen pinnalle tarttunut pöly ja maa-aine häiritse betonin kovettumista ja tarttumista. (Betoni [Viitattu 26.10.2017].)

Kiviaineiden ominaisuuksilla on merkittävä vaikutus betoniin, koska runkoaineen tilavuusosuus betonissa on suuri. Koska betonin valmistukseen tarvitaan paljon kiviainesta, sen kustannukset eivät saa olla korkeat ja sitä tulee olla helposti ja riittävästi saatavilla. Betonin runkoaineena voidaan käyttää tavanomaista vulkaanista tai malmipitoista kiveä, yleisimmin Suomessa käytettävä kiviaines on graniittipohjaista. Hyvälaatuisen murskaamattoman kiviaineiden saanti on vaikeaa, joten murskatun kiviaineiden käyttö lisääntyy jatkuvasti. Vaikka Suomessa on hyvälaatuiset ja runsaat kiviainesvarannot, on kiviaineiden ottamislupa yleensä hankala saada. Betonin kannalta paras kiviaines saadaan hiekka- ja soramuodostumilta, joita ovat lukuiset harjualueet ja salpauselät. Näitä muodostumia halutaan kuitenkin suojella, koska pohjavedet muodostuvat kyseisillä alueilla tehokkaimmin. (Suomen betoniyhdistys 2018, 43.)

2.4.4 Lisäaineet

Jos betonin lisäaineet kuuluvat lisäainestandardin SFS-EN 934 piiriin, tulee niiden olla CE-merkittyjä. Lisäaineiden valmistaja vakuuttaa CE-merkinnällä, että tuotteen ominaisuudet ovat tuotestandardin tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaiset. (Suomen betoniyhdistys 2018, 61.)

Betonin lisäaineet ovat varta vasten betonin erilaisiin ominaisuuksiin vaikuttavia kemikaaleja, joita lisätään pieniä määriä. Lisäaineet parantavat ja/tai muuttavat betonin ominaisuuksia. Betonin lisäaineet mahdollistavat betonin ominaisuuksien muuttamisen käyttötarkoituksen mukaan. (Tuotteet [viitattu 17.3.2018].)

Betonin pumpattavuutta ja työstettävyyttä pyritään parantamaan notkistavilla lisäaineilla, jotka tehokkuutensa perusteella jaetaan notkistimiin tai tehonotkistimiin. Notkistimet ovat sementin ja veden välillä toimivia pinta-aktiivisia lisäaineita. Notkistimet mahdollistavat pienempien vesi- ja sementtimäärien käytön betonin työstettävyyden huonontumatta. Notkistavia aineita annostellaan 0.3-1 % sideaineen määrästä, mutta tavoitteista riippuen suuremmatkin annosmäärät ovat mahdollisia. (Suomen betoniyhdistys 2018, 62.)

Kun betonilta vaaditaan parempaa pakkasenkestävyyttä, se huokostetaan. Huokostamalla betonin ilmapitoisuus pyritään nostamaan 4-8 %:iin lisäaineen avulla. Lisäaineilla tehty huokostus stabiloi ilman betoniin tasaisesti sekoituksen aikana. Huokostinta lisätään betoniin 0.01-0.03 % sementtimäärästä ja sen tarkoituksena on luoda betoniin suojahuokosia, jotka ottavat jäätyvän veden aiheuttaman paineen vastaa. Huokostimet myös lisäävät betonin notkeutta ja työstettävyyttä ja vähentävät osa-aineiden erottumista (Suomen betoniyhdistys 2018, 63.)

Lisäaineilla voidaan pitkittää betonin työstöaikaa ja siirtää sitoutumista myöhemmäksi. Hidastimia käytetään, jos betonin kuljetusmatkat ovat pitkiä, halutaan välttää työsaumoja tai pidentää muokkausaikaa lämpimällä säällä. Normaalisti hidastimia annostellaan betoniin 0.2-2 % sideaineen määrästä. (Suomen betoniyhdistys 2018, 64.)

Betonin sitoutumista ja kovettumista voidaan nopeuttaa kiihdyttimillä, joita käytetään muotipurun ja betonin jäätymslujuuden saavuttamisen nopeutukseen. Kiihdyttimien käyttö on vähentynyt ja se on korvattu helpommin hallittavilla menetelmillä, kuten kuumalla vedellä, alhaisella vesi-sementtisuhteella ja pikasementillä. (Suomen betoniyhdistys 2018, 64.)

Betoniin on olemassa muitakin lisäaineita, joista eniten käytetty on jäätymsenkestoä parantavat aineet. Betonin kutistumista voidaan pienentää ja estää erilaisilla lisäaineilla, kun halutaan vähentää halkeilua ja parantaa vesitiiveyttä, tai betonia voidaan paisuttaa, kun halutaan vähentää työsaumojen määrää tai tehdä jopa saumattomia rakenteita. Betoniin voidaan sekoittaa erilaisia

jauhemaisia väripigmenttejä tai raudoituksen osittain korvaavia teräs- tai polymeerikuituja. (Suomen betoniyhdistys 2018, 65.)

3 BETONIMASSAN VALMISTUS

Kun tarvitaan suuria, tukevia ja turvallisia rakenteita, jotka ovat yhteydessä veteen tai maahan, käytetään rakentamisessa betonia. Betonin edullinen hinta, kosteuden kesto, lujuus, jäykkyys, turvallisuus sekä mukavuus ovat perusta sen suosiolle rakennusmateriaalina. (Betoni [Viitattu 25.3.2018].) Suomessa käytetään suurimmaksi osaksi valmisbetonia, joka on teollisesti tuotettua ja toimitetaan etenkin paikallavalurakentamisen tarpeisiin. (Betoni [Viitattu 27.3.2018]). Betoni valmistetaan sekoittamalla osa-aineet yhteen ja sen ominaisuuksia voidaan muunnella osa-aineiden suhteita muuttamalla tai erilaisilla lisäaineilla (Betoni [Viitattu 26.3.2018]). Sujuva betonivalu ja betonirakenteen pitkä käyttöikä ovat mahdollisia, kun betonin laatu valitaan oikein. Väärin valittu betonilaatu on yleensä syy betonirakenteen nopealle vaurioitumiselle. (Anttila 2003, 407.)

Vaatimukset ominaisuuksiin raekoon, notkeuden, lisäaineiden sekä lujuudenkehitysnopeuden suhteen tulevat valukohtaisesti työmaalta. Työmaan valitsemat siirto- ja työmenetelmät voivat aiheuttaa vaatimuksia betonin koostumukselle, toisaalta viranomais määräykset saattavat rajoittaa työmaan valintamahdollisuuksia, esimerkiksi vesimäärärajoitukset vaativissa rasisluokissa heikentävät betonin pumpattavuutta. (Mantila 2014.)

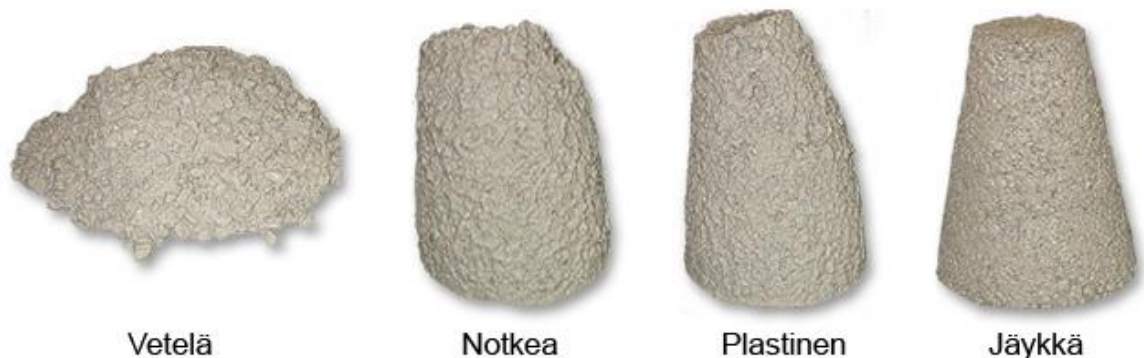
3.1 Betonimassan notkeus

Lähtökohtaisesti käytettävä betonimassa tulisi olla mahdollisimman jäykkää, mikäli siirtotapa, työmenetelmät ja valmistettava rakenne sen sallivat. Jäykkyyteen vaikuttaa niin rakenteen mitat kuin raudoitustiheyskin, mutta yksittäiset hankalasti valettavat kohdat eivät saa aiheuttaa liian notkean tai hienorakeisen betonimassan käyttöä koko rakenteessa. (Mantila 2014, 512.)

Taulukko 2. Betonimassan notkeusluokitus
(Rakentajainkalenteri 2014).

Notkeusluokka	Painuma, cm	Sanallinen kuvaus	Tyyppirakenne
F6 (S5))*	Itsetiivistyvä	Vaikeasti tiivistettävät
S4	16-21	Nesteytetty	Ahtaat
S3	10-15	Vetelä	Ohuet laatat
S2	5-9	Notkea	Suosittelun perusnotkeus
S1	1-4	Jäykkä	Kovabetonilattia
-	0-1	Maakostea	Laatoitusala

Betoni kutistuu kovettuessaan ja mitä notkeampaa massa on, sitä enemmän kutistumista tapahtuu, samalla erottumisriski betonissa kasvaa ja sitoutumisaika pitenee. Kun betonointi vaatii notkeaa betonia, käytetään lisäaineella notkistettua betonimassaa, jossa lisävesi on korvattu lisäaineella. Tehonotkistettua ja nesteytettyä betonia käytetään esimerkiksi tiheästi raudoitetuissa rakenteissa, jolloin muottien tiiveys ja kestävyys tulee varmistaa. (Mantila 2014, 512.)



Kuvio 2. Betonin notkeus
(Finnsementti 2018).

3.2 Rakenteen suunnittelukäyttöikä

Jokaisella rakennuksella on jokin suunnittelukäyttöikä, mikä betonirakenteissa vaikuttaa betonin suhteituksen osa-aineiden raja-arvoihin ja BY50:n ohjeilla

betonipeitteisiin. Pidemmät käyttöiät tiukentavat suhteituksen raja-arvoja ja kasvattavat betonipeitteiden vahvuuksia. RakMK B4:ssä on taulukkoarvot 50 vuoden käyttöiälle ja betoninormissa BY50 taulukkoarvot löytyvät 50 ja 100 vuoden käyttöiälle. Pidemmän käyttöiän myötä laadunvalvonnan määrä kasvaa ja laatukriteerit kiristyvät, joiden myötä myös rakennuskustannukset kasvavat. (Anttila 2003, 409.)

3.3 Betonin rasitusluokat

Valmis betonirakenne on sijainnista riippuen alttiina erilaisille ympäristörasituksille. Kyseiset rasitukset tulee ottaa betonimassan valinnassa huomioon, että betonirakenne kestäisi suunnitellusti mahdolliset kloridi-, kemikaali- ja pakkasrasitukset. Sijainnista riippuen kullekin betonirakenteelle arvioidaan rasitusluokka, joka merkitään rakennuspiirustuksiin. Rasitusluokkien avulla saadaan raja-arvot betoninsuhteutuksille, kuten lujuusluokalle, vesi-sementtisuhteelle, vähimmäissementtimäärälle, sekä tarvittaessa betonin ilmamäärälle. Vesi-sementtisuhteen, sementtimäärän sekä ilmamäärän raja-arvot on määritelty säilyvyyden takia, eikä lujuusluokkavaatimus siten liity vesi-sementtisuhteeseen. Usein rasitusluokkien asettama raja-arvo vesi-sementtisuhteelle onkin määräävä, jolloin betonin suhteituksen lujuustaso määräytyy rasitusluokan, eikä lujuusluokan mukaan. (Anttila 2003, 408.)

	Rasitusluokat																	
	Ei korroosion tai rasituksen vaara	Karbonatisoitumisen aiheuttama korrosio				Kloridien aiheuttama korrosio						Jääditys-sulatus-rasitus				Aggressiiviset kemialliset ympäristöt		
						Merveksi			Kloridit muusta kuin merivedestä									
X0	XC 1	XC 2	XC 3	XC 4	XS1	XS 2	XS 3	XD 1	XD 2	XD 3	XF 1	XF 2	XF 3	XF 4	XA 1	XA 2	XA 3	
Suurin vlt-suhte		0,90	0,90	0,60	0,60	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,60	0,55	0,50	0,45	0,50	0,45	0,40
Vähimmäislujuusluokka	C12/15	C20/25	C20/25	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45					C30/37	C35/45	C40/50
Vähimmäisemäntimäärä (kg/m ³)	---	160	160	250	250	300	320	320	300	300	320	270	300	300	340	300	320	330
muu vaatimus												2)	2)	2)	2)			
Minimimäärävaatimus (#16)												4,0 %	4,0 %	4,0 %	5,0 %			

1) Rasitusluokissa XF1-XF4 emäntimäärävaatimus koskee betonia, jonka kiviaineksen ylämääräraja on 16 mm. Kiviaineksen ylämäärärajan ollessa 12 mm vaatimusta korotetaan 0,5 %-yksikköä ja 8 mm 1,0 %-yksikköä.
2) Lisäksi kepposuuvaatimukset taulukon F.4-F1 mukaan

Kuvio 3. Rasitusluokat 50 vuoden käyttöiällä (Elementtisuunnittelu 2018).

3.4 Betonin suhteitus

Kun betonilta vaaditaan tiettyjä ominaisuuksia, pyritään sen osa-aineet yhdistelemään niin, että tuore betonimassa ja kovettunut betoni täyttävät nämä ominaisuudet, tällöin puhutaan betonin suhteituksesta. (Suomen betoniyhdistys 2018, 155).

Ainesosien seossuhteita määritettäessä noudatetaan betonin perusyhtälöä.

$$\frac{Q_s}{\rho_s} + \frac{Q_k}{\rho_k} + \frac{Q_v}{\rho_v} + Q_i = 1000 dm^3 \quad (1)$$

(Suomen betoniyhdistys 2018, 156.)

Jossa:

Q _s on sementtimäärä	[kg/bet m ³]
Q _k on runkoainemäärä	[kg/bet m ³]
Q _v on vesimäärä	[kg/bet m ³]
Q _i on ilmamäärä	[l/bet m ³]
ρ _s on sementin tiheys	[kg/m ³]
ρ _k on runkoaineen tiheys	[kg/m ³]

ρ_v on veden tiheys [kg/m³]

Yleensä oletetaan että:

Q_i on 20l/m³ (ilmapitoisuus 2 %)

ρ_s on 3100 kg/m³

ρ_k on 2680 kg/m³

ρ_v on 1000 kg/m³

3.5 Suhteituksen keskeiset tekijät

Puristuslujuutensa perusteella betoni jaetaan lujuusluokkiin, joka on rakennesuunnittelijan määrittelemä valmistettavan betonirakenteen nimellisljuus. Betonin lujuusluokka on valmistuksen perustana, ja suhteituksen tarkoituksena on varmistaa, että lujuusluokka ja muut vaaditut ominaisuudet saavutetaan. (Suomen betoniyhdistys 2018, 160.)

Betonirakenteiden nimellisljuus perustuu arvosteluiässä saatuihin koetuloksiin. Betonin puristuslujuusarvot vaihtelevat normaalihajonnan mukaan, koska ainesosien laadussa, työn suorituksessa ja olosuhteissa on aina eroavaisuuksia. Vaikka tehtäisiin kaksi samanlaista betonimassaa käyttäen samoja menetelmiä, määriä ja laitteita, voidaan niiden välillä havaita lujuusero. Tämän vuoksi betonin suhteituksessa käytetään tavoitelujuutta, joka on nimellisljuutta selvästi korkeampi. (Suomen betoniyhdistys 2018, 160.)

Laadukkaassakin tuotannossa tavoitelujuus on noin 20 % nimellisljuutta korkeampi. Tällä varmistetaan, että betonin puristuslujuustuloksista vain vähäinen osa alittaa vaaditun nimellisljuuden. Tavoitelujuus on työnaikana tavoiteltava keskimääräinen betonin puristuslujuus. Tavoitelujuus lasketaan tavoitelujuuskertoimella, jonka arvo jatkuvassa tuotannossa on vähintään 1,2. Alkuvaiheen tuotannossa tavoitelujuuskertoimen on oltava huomattavasti korkeampi. (Suomen betoniyhdistys 2018, 161.)

Betonin koostumusta määritettäessä ensimmäisenä lasketaan suhteituslujuus, joka saadaan kertomalla tavoitelujuus suhteituslujuuskertoimella.

Suhteituslujuuskertoimen arvo on riippuvainen käytettävästä sementistä ja sen koestuslujuudesta. Sementin koestuslujuus varmistetaan toimittajalta, mutta jos koestuslujuutta ei tunneta, voidaan sen olettaa olevan sama kuin sementin lujuusluokan. Suhteituslomakeessa oletetaan sementin koestuslujuudeksi 42,5 MN/m². Suhteituslujuus on apusuure, jonka avulla suhteitusmonogrammia käyttäen voidaan tunnettua sementtiä käytettäessä muuttaa tavoitelujuus vesi-sementtisuhteeksi. (Suomen betoniyhdistys 2018, 161.)

Betonissa käytettävän runkoaineen on oltava ainakin kahta riittävän erilaista kiviaineslaatua, jotta saavutettaisiin betonin kannalta hyvä ja käyttökelpoinen rakeisuus. Sopivat kiviainekset valitaan normaalisti rakeisuuskäyrän avulla. Normaaliseulasarjan ohjeläpäisyarvot määritetään rakeisuusohjeella ja näitä arvoja pidetään kiintopisteinä, jotka toteutuessaan tuottavat betonin lujuuden kannalta tehokkaan lopputuloksen. Tällöin runkoaineen suuremmat rakeet ja hienoaines ovat parhaassa mahdollisessa tasapainossa. Ohjearvoja määritettäessä on tunnettava käytettävän kiviaineen maksimiraekoko eli ylänimellisraja ja betonin suhteituslujuus. (Suomen betoniyhdistys 2018, 162.)

Rakeisuusohjeen läpäisyarvoissa oletetaan, ettei käytetty kiviaines sisällä sepeliä eli kalliomurskaa. Jos käytettävä kiviaines sisältää sepeliä, on ohjearvojen tulosta korotettava sepelimäärästä riippuen. Murskatun kiviaineksen vaippapinta on luonnonkiveen verrattuna karkea ja suuri. Vaikka suhteitusmonogrammi ottaa sepelin ja hienoaineksen aiheuttamat lisääntyneet vesi- ja sementtimäärät huomioon, on pienirakeisen runkoaineen osuuden lisäys tehtävä ilman monogrammia. (Suomen betoniyhdistys 2018, 167.)

Kiviaineksen oletettu tiheys saattaa poiketa oletetusta niin paljon, että betonin koostumus ja ominaisuudet muuttuvat. Suhteitusmonogrammin antamat arvot kiviaineksen tiheyden suhteen on vain suuntaa antava, mutta tarkka arvo saadaan monogrammin tilavuus arvo janalta. (Suomen betoniyhdistys 2018, 167.)

Tavalliselle sementille suhteitusmonogrammi soveltuu sellaisenaan, mutta betonin sideaine voi sementin lisäksi olla silikaa, masuunikuonaa tai lentotuhkaa. Nämä mineraalit toimivat sementin tavoin ja betonin valmistuksessa onkin mahdollista käyttää kaikkia seosaineita yhtä aikaa sideaineen kanssa. Seosaineiden

suhteellinen osuus määritetään kunkin aineen tehokkuuskertoimen avulla. Useissa käyttökohteissa voidaan harkita sementin osittaista korvaamista jollain muulla sideaineella. (Suomen betoniyhdistys 2018, 167.)

Lisäaineiden käyttö on otettava suhteituksessa huomioon. Erityisesti huokostus vaikuttaa kovettuneen betonin ja betonimassan ominaisuuksiin. Huokostimella tuotetut huokokset korvaavat osittain betonimassan hienoaineksiä, jolloin hienoaineksen määrää suhteituksessa voidaan vähentää. Huokostin samalla vaikuttaa betonin vedentarpeeseen sekä sementti- ja kiviainesmääriin. Notkistimilla voidaan parantaa betonimassan muokattavuutta kuitenkin heikentämättä betonin lujuutta. Lisäaineita voidaan käyttää myös veden määrän vähentämiseen, jolloin myös betonin lujuus paranee. Notkistimen vaikutus vaihtelee riippuen lisäainetuotteesta ja betonin hienoainemäärästä, siksi betonimassan koostumusta on vaikea hallita ilman ennakkokokeita, mutta suhteituksella saadaan suuntaa antavat lähtötiedot. (Suomen betoniyhdistys 2018, 169.)

4 BETONOINTI TYÖMAALLA

Työmaalla betonimassalta vaaditut ominaisuudet ovat valukohtaiset ja vaikuttavat tuoreen massan ominaisuuksiin sekä rakenteen lujuudenkehitysnopeuteen olosuhteista riippuen. Työmaan valitsevat työtavat ja siirtomenetelmät saattavat aiheuttaa vaatimuksia betonimassan koostumukselle. Viranomais määräykset saattavat rajoittaa valintamahdollisuuksia työmaalla. (Mantila 2014, 510.)

4.1 Betonin tilaaminen

Betonin suunniteltu ja täsmällinen toimitus on eräs edellytys häiriöttömälle ja onnistuneelle betonoinnille. Tämän edellytyksenä on, että betonin tilaus on hoidettu ajallaan ja betonin toimittajalle on annettu tarvittavat tiedot käyttökohteesta, käyttötarkoituksesta ja toimitusajankohdasta. Betonimassan tilaus suositellaan tekemään viimeistään edellisenä päivänä klo 14:00 mennessä ja markkinatilanteesta riippuen esimerkiksi pumppuauton varausaika on noin viikon. (Mantila 2014, 520.)

Valmisbetonia tilattaessa mainittavia asioita:

- asiakkaan nimi ja laskutusosoite
- tilaajan nimi ja puhelinnumero
- työmaan osoite, puhelinnumero ja yhdyshenkilö
- betonimäärä m³
- betonin tyyppi ja käyttötarkoitus
- betonin lujuusluokka, suunnitteluikä ja rasitusluokat
- XF2- ja XF4-rasitusluokissa noudatettava ohjeistus
- mahdolliset suunnitelmissa esitetyt vaatimukset
- notkeus ja maksimiraekoko
- toimituksen aloitusajankohta
- toimitusvauhti m³/tunti ja tiedossa olevat tautot
- toimituskalusto
- purkutapa ja arvioitu kuorman purkuaika.

(Mantila 2014, 520.)

4.2 Betonin vastaanotto

Betonimassan saapuessa työmaalle sille tehdään vastaanottotarkastus, jossa tarkastetaan, että betonierä on tilauksen mukainen. Samalla betonimassalle suoritetaan silmämääräinen tarkastus raekoon, notkeuden ja mahdollisen erottumisen tarkastamiseksi. Havaitut virheet ja puutteet ilmoitetaan välittömästi betonitehtaalle. (Mantila 2014, 521.)

4.3 Työturvallisuus

Betoni on voimakkaasti emäksinen aine, mikä on muistettava muiden työturvallisuustoimenpiteiden lisäksi. Väärä käsittelytapa saattaa aiheuttaa kemiallisia palovammoja, jotka voivat syntyä vaatteiden alle ilman kipua. Betonointityöhön osallistuvien osapuolten tulee tuntea betonin käsittelyyn liittyvät vaaratekijät ja noudattaa turvallista käsittelytapaa. (Mantila 2014, 511.)

4.4 Muottityö

Valmis betonirakenne kertoo laadullaan muottityön huolellisuudesta ja ammattitaidosta. Muottityön laatu syntyy tapahtumaketjusta, jossa osallisena on muottien paikalleen mittaus ja asennus. Muottien kunto ja tukitelineet tarkastetaan aina ennen betonointityön aloittamista. (Valmisbetoni [Viitattu 17.3.2018].)

Muottityön laadunvarmistamiseen vaikuttavat mm:

- muottityön huolellisuus
- muottien työmaa-aikainen huolto
- muotiniirrotusaineet
- varaukset ja kiinnitykset
- muottien käsittely ja varastointi
- työsaumat
- työturvallisuus.

Muotit voidaan purkaa vasta, kun suunnitelmien mukainen muotinpurkulujuus on saavutettu. Betonin lujuuden kehitystä voidaan seurata lämpötilojen avulla, joiden perusteella betonin lujuus voidaan laskea. Muottien purun yhteydessä muotit puhdistetaan ja viat korjataan tai vialliset poistetaan käytöstä. (Valmisbetoni [Viitattu 17.3.2018].)

Monimuotoinen suunnittelu ja nopea teollinen tuotanto ovat mahdollisia kehittyneen ja nykyaikaisen muottitekniikan ansiosta. Hyvällä suunnittelulla nykyistä muottitekniikkaa voidaan hyödyntää ja samalla luodaan pohja onnistuneelle lopputulokselle. Betonointityötä suunniteltaessa on syytä miettiä, mikä muottijärjestelmä on työn toteutumisen kannalta paras vaihtoehto. Muottijärjestelmiä on useita erilaisia ja kaikilla on omat hyvät puolensa. (Valmisbetoni [Viitattu 17.3.2018].)

4.5 Betonin siirtokalusto

Työmaalle betoni toimitetaan erikokoisilla pyörintäsäiliöillä varustetuilla kuorma-autoilla, jossa on varustuksena valukouru tai siirtokuljetin. Valupaikan sijainnista riippuen betoni voidaan purkaa suoraan muottiin tai työmaan siirtovälineisiin. Valukourussa betonimassa luistaa omalla painollaan ja betoni voidaan saattaa lähelle maanpintaa tai sen alla toteutettaviin betonivaluihin, jotka ovat korkeintaan 3-6 m:n päässä autosta. Siirtokuljettimella varustetulla autolla kuormaa voidaan purkaa myös ylöspäin, noin 10-14 m:n päähän autosta, mutta auton saatavuus on varmistettava etukäteen. (Mantila 2014, 520.)

Pidempiin tai korkeammalle tapahtuviin siirtoihin voidaan käyttää nosturia ja nostoastiaa. Nostoastia on työmaalla melko yleinen näky. Nostoastialla betonia voidaan siirtää nosturin avulla, mutta yleisempää on betonipumpun käyttö, koska mahdollinen nosturi on usein varattu muihin nostoihin. (Mantila 2014, 520.)

Allassäiliöautolla tai normaaleilla lava-autoilla voidaan kuljettaa maakosteita betonimassoja. Nykyään allassäiliöautoja on vähän käytössä, joten saatavuus on varmistettava betonin toimittajalta. (Mantila 2014, 520.)

Betoniauto on lastattuna erittäin raskas ja tämä tulee ottaa työmaalla huomioon. Työmaalle johtavan tien tulee olla tarpeeksi kestävä ja leveä sekä esteetön 3,4-3,9 m:n korkeuteen asti, eikä ajotien kaltevuus saa olla yli 10 %, jonka lisäksi ajotien on oltava talvella hiekoitettu. Tilavaatimukset ovat kalusto- ja kuormakohtaisia. (Mantila 2014, 520.)

4.6 Betonointi

Paikallavalun käyttö näköbetonipinnoissa on kasvamassa, vaikka puhtasvaluissa vaadittua hyvää lopputulosta betonipinnalta pidetään yleisesti epätodennäköisenä. Betonirakenteen muottia vasten valettu pinta määritetään BY40-ohjeen mukaisesti betonipinnan laatuluokkaan. (Pahkala 2001, 517.)

Kylmä sää hidastaa betonin lujuuden kehitystä merkittävästi. Jos tuore betoni pääsee jäätymään, se ei koskaan lujitu kunnolla. Betonimassa on pidettävä riittävän lämpöisenä, kunnes se saavuttaa ns. jäätymlujuutensa, joka on 5 MPa. (Finnsementti [Viitattu 18.3.2018].)

Betoni saatetaan muotin pohjalle, eikä sitä roiskita ympäriinsä. Betonivalu tehdään mahdollisimman matalalta ja suoraan alaspäin ja muotti täytetään 30-50 cm:n kerroksina. Kerrosten välissä betonimassa tiivistetään huolellisesti, jotta betoni täyttää muotin, ympäröi betoniteräkset ja samalla ylimääräinen ilma saadaan pois massasta. (Finnsementti [Viitattu 18.3.2018].)

4.7 Betonin jälkihoito

Betonin kovettuminen vaatii kosteutta ja kuivuessaan betonirakenne kutistuu ja saattaa haljeta. Halkeilun minimoimiseksi ja hyvän betonirakenteen saavuttamiseksi tuore betonivalu on jälkihoidettava, jolloin betonin pinta suojataan ja pyritään pitämään kosteana. Käytettävät jälkihoitotoimenpiteet riippuvat betonirakenteen koosta ja muodosta, käytetystä betonilaadusta sekä ympäröivistä olosuhteista. (Betoni [Viitattu 28.3.2018].)

Jotta halkeilun määrä saataisiin mahdollisimman vähäiseksi, tulee jälkihoitotoimenpiteet aloittaa välittömästi betonoinnin jälkeen. Normaalilla rakennebetonilla lyhin jälkihoito aika on yleensä kolme vuorokautta. Korkeampien rasisluokkien betonien, joilta vaaditaan pakkasen-, kulutuksen- tai kemiallisen rasisuksen kestävyttä, jälkihoitoaika on vähintään seitsemän vuorokautta. Betonipinta, joka on muottia vasten, säilyttää kosteuden itsellään, mutta avoimet pinnat on kastettava valun jälkeisinä päivinä. Betonipinnan kastelua ei voida käyttää talviolosuhteissa, sillä vesi jäähdyyttää betonipintaa ja lisää halkeilun riskiä. Jos tavoitteena on aikainen pinnoittaminen ja on käytetty nopeasti kuivuvaa betonilaatua, ei tällöinkään pinnan kastelua kannata käyttää jälkihoitomenetelmänä. (Betoni [Viitattu 28.3.2018].)

Betonipinnan huolellinen peittäminen esimerkiksi muovilla on itsessään hyvä jälkihoitomenetelmä. Tällöin pintaa ei tarvitse kastella, koska betonista haihtuva vesi tiivistyy betonipinnan ja muovin väliin. Betonipinta pitää peittää heti valun jälkeen, kun betoni kestää kävelemisen. Tämän lisäksi suojapeitteen saumat pitää teipata tai muuten estää tuulen pääsy peitteen ja betonipinnan väliin. Suurin etu betonipinnan peittämisellä on sen suojaus sateelta, koska kun betonipinnalle ei kerry vesipeitettä, se kuivuu nopeammin pinnoituskosteuteen. (Betoni [Viitattu 28.3.2018].)

5 LAADUNVALVONTA

Valmisbetonin tuotehyväksynnässä noudatetaan ns. varmennustodistusmenettelyä, koska betonistandardia SFS-EN 206 ei ole harmonisoitu ja valmisbetoni ei kuulu CE-merkintämenettelyyn. Varmennustodistusmenettelyssä hyväksytyt toimitukset myöntää varmennustodistuksen betonin valmistajalle ja suorittaa tuotannon kelpoisuuden valvontaa. Betoniaseman asiakkaan tehtävä on tarkistaa, että betonin toimittajalla on hyväksytyt varmennustodistukset. (Mantila 2014, 521.)

Tilaaaja voi edellyttää työmaalla suoritettavia laadunvalvontatoimenpiteitä, kuten ilmamäärämittauksia. Näissä tapauksissa tilaajan kanssa sovitaan laadunvalvontamenettelyt, käytettävät laitteet ja näytteen ottajat ja kuinka usein näytteitä otetaan. (Mantila 2014, 521.)

Koska työmaalla ei yleensä ole laboratoriotiloja vastaavia säilytysmahdollisuuksia koekappaleille, ei lujuuskoekappaleita yleensä työmaalla ole tarpeellista tehdä ja koekappaleiden teko saattaa olla jopa harhaanjohtavaa. (Mantila 2014, 521.)

Betonin lujuudenkehitystä voidaan seurata lämpötilojen avulla. Lämpötilojen rekisteröintiin on olemassa automaattisia laitteita, joilla lujuuden kehityksen arvioiminen on tarkempaa. (Mantila 2014, 521.)

Eurooppalaiset standardit ovat yleensä pakollisia ja niitä noudatetaan Suomessa betonirakentamisessa nykyään laajasti. Betonirakentamisessa tärkein standardi on betonin ominaisuudet kattava SFS-EN 206-1, jonka ohella tärkeitä standardeja ovat mm. betonin testausstandardin sarjat SFS-EN 12350, 12390, sekä työnsuoritusstandardi SFS-EN 13670. Tärkein suomalainen viranomaisnormi on Suomen rakennusmääräyskokoelma, sen osio B4 viittausmenettelyllä vahvistaa standardin SFS-EN 206-1 käytettäväksi Suomessa ja sisältää sen kansallisen liitteen. (Anttila 2003, 407.)

Laadunvalvontaa suoritettaessa kaikki koetulokset merkitään muistiin, jotka arkistoidaan ja säilytetään. Valmisbetonin valmistusta koskevat laadunvalvonta-asiakirjat säilytetään vähintään kolme vuotta ja muut laadunvalvonta-asiakirjat

säilytetään vähintään vuoden rakennuksen käyttöönotosta laskien. (Ympäristöministeriö 2001, 51.)

5.1 Betonin toimittajan suorittama laadunvalvonta

Betonin valmistaja osoittaa standardien mukaisilla testeillä, että asiakkaan vaatimat kovettuneen betonin ominaisuudet saavutetaan. Käytettävissä olevien raaka-aineiden ja asiakkaan vaatimusten perusteella betonin toimittaja valitsee tuotteiden koostumuksen. Betonimassan laatu on betonin toimittajan vastuulla myös työmaalla massan purkuvaiheeseen asti. (Mantila 2014, 511.)

Valmisbetoniaseman käyttämät materiaalit ovat CE-merkittyjä, minkä lisäksi betoniaseman tuotteilla suoritetaan jatkuvaa laadunvalvontaa. Valmisbetoniasemilla suoritetaan tarkastuskäyntejä kahdesti vuodessa, joiden aikana laadunvarmistuksesta tarkastetaan mm. lujuuden, ennakkokokeiden, materiaalien, sekä muiden testauksien taso. Lisäksi tarkastuskäynneillä tarkastetaan annostelulaitteiden tarkkuus ja kalibrointi, tuotantotilojen, laboratorion ja laboratoriolaitteiden kunto sekä henkilökunnan pätevyydet. Myös valmistuksen, toiminnan sekä raportoinnin ja muistiinpanojen kokonaistaso arvioidaan käyntien aikana. (Ahokas 2017, 3.) Jos valmisbetonin ja betonielementtien valmistajan laadunvalvonta on ympäristöministeriön hyväksymän tarkastuksen suorituksen alainen, kutsutaan valmistusta tarkastetuksi. (Ympäristöministeriö 2001, 51).

5.2 Laadunvalvonta työmaalla

Valmistuksen laadunvalvonnalla varmistetaan betonirakenteiden kelpoisuus, jolloin betonin valmistuksesta, betonoinnista ja jälkihoitokäsittelystä tehdään laadunvalvonnan yhteydessä muistiinpanot. Näiden muistiinpanojen perusteella on mahdollista jälkikäteen selvittää työnsuorituksen tapahtumat. Betonin valmistuksen ja rakenteiden valmistuksen valvonta kuuluu betonirakenteen valmistuksen laadunvalvontaan. Osa-ainekokeet ja ennakkokokeet kuuluvat betonin valmistuksen valvontaan. Rakenteiden laadunvalvonta keskittyy muotti- ja

tukirakenteisiin, raudoitukseen, työnsuoritukseen ja jälkihoitoon. (Ympäristöministeriö 2001, 51.)

5.2.1 Vastaanottotarkastus

Saapuva betonimassa voidaan tarkastaa ja todeta silmämääräisesti tilausta vastaavaksi. Sopivin väliajoin betonimassasta voidaan ottaa koekappaleita ja mitata betonimassan ominaisuuksia, kuten notkeutta ja ilmamääriä. Betonirakenteessa käytettävät betoniteräket tarkastetaan myös. Betoniteräket ovat sertifioituja ja toimitetuissa nipuista tulisi löytyä SFS-merkki ja luvanhaltijan numerotunnus tai jos sertifiointi on eräkohtainen, on nipusta löydyttävä sertifikaatin numero. Jänneteräket ovat joko sertifioituja tai ne varmennetaan käyttöselostemenettelyllä. Sertifioidusta tuotteesta löytyy betoniteräksen kaltaiset merkinnät, mutta jos sertifiointia ei ole, tulee tuotteen käyttöselosteen voimassaolevuus ja laadunvalvontasopimuksen piiriin kuuluvuus tarkistaa. (Ympäristöministeriö 2001, 52.)

5.2.2 Työnsuoritus

Betonointityösuunnitelma laaditaan ennen betonointityöhön ryhtymistä ja sitä voidaan tarkentaa ennen yksittäistä betonointia vaadittavilta osin. Betonityönjohtajan tehtävä on laatia asiaankuuluvat muistiinpanot ja valvoa betonirakenteiden valmistuksen aikana, että mittatarkkuuksia ja annettuja ohjeita noudatetaan tukirakenteissa, raudoitustöissä, betonoinnissa, elementtiasennuksissa ja saumauksissa (Ympäristöministeriö 2001, 52.)

Liiallinen ruoste betoniraudoitteen pinnalla saattaa vaikuttaa haitallisesti tartunta- ja lujuusominaisuuksiin. Raudoitus tuleekin varastoida erilleen syövyttävistä aineista ja haitallisista vaikutuksista ja niihin ei saa käsittelyn aikana muodostua pysyviä muodonmuutoksia. (Ympäristöministeriö 2001, 45.)

Betonimassa sijoitetaan muotteihin ja se tiivistetään kauttaaltaan pyrkimyksenä luoda saumaton liitos jo ennestään muotissa olevaan tuoreeseen betoniin.

Pystyrakenteiden betonoinnissa nousunopeutta rajoitetaan pyrkimyksenä ehkäistä haitallisen jälkipainumien syntyminen, lisäksi poikkileikkauksen muutoksen kohdalla voidaan tarvittaessa pitää tauko tai suorittaa jälkitiivistys. (Ympäristöministeriö 2001, 47.)

5.2.3 Puristuslujuus normikokein

Normikoeappaleita voidaan tehdä tuoreesta betonista valmisbetoni- ja elementtitehtaalla sekä rakennuspaikalla. Jos betonin toimittaja tarkastettu betonin toimittaja, ei rakennuspaikalla ole tarvetta tehdä koeappaleita, mutta jos betonin toimittaja on tarkastamon, tehdään kokeet sekä työmaalla että betonitehtaalla. Jos rakennuspaikalla on käytössä ns. työmaabetoniasema, jossa työmaan tarvitsema betoni valmistetaan, tehdään normikokeet rakennuspaikkaa koskevien ohjeiden mukaisesti. Tarkastetulla työmaabetoniasemalla normikokeiden valmistuksessa noudatetaan valmisbetoniasemia koskevia ohjeita. Koeappaleiden valmistuksessa, säilytyksessä ja testauksessa noudatetaan standardia SFS 4474. (Ympäristöministeriö 2001, 54.)

5.2.4 Puristuslujuus rakennekokein

Asiantunteva henkilö tekee rakennekoepalat kovettuneesta betonista tarkoituksenmukaisilla koneilla ja laitteilla. Näytteenotossa noudatetaan satunnaisperiaatetta, samalla kuitenkin huolehditaan, ettei rakenteen toimintaan vaikuteta haitallisesti. Näytteet toimitetaan hyväksytyyn koestuslaitokseen, jossa näytteet valmistellaan, säilytetään ja testataan. Rakennekoekappale on normaalisti halkaisijaltaan 100 mm:n lieriö, jonka halkaisijan ja korkeuden suhde on $1 \pm 0,05$. Rakenne- ja lujuusluokkien perusteella arvioitavat rakenteet jaetaan arvostelueriin. Kunkin arvosteluerään kuuluvan rakenteen valmistus- ja jälkihoitomenetelmät eivät saa oleellisesti poiketa toisistaan. (Ympäristöministeriö 2001, 55.)

5.2.5 Ilmamäärämittaus

Betonia on lisähuokostettu pakkasenkestävyyden parantamiseksi ulkomailla jo 1930-luvulta lähtien, mutta huokostaminen saapui Suomeen vasta vuosikymmeniä myöhemmin. Huokostetussa betonissa betoniin pyritään muodostamaan ilmahuokosia, jotka sallivat veden jäätymisestä aiheutuvan paisumisen ja vähentävät sen aiheuttamaa painetta rakenteessa, jolloin rakenne ei pääse ajan myötä rapautumaan. Tuoreen betonimassan ilmamäärämittauksissa noudatetaan standardeja SFS-EN 12350 1-7, joka on betonimassan testausta käsittelevä standardisarja. (Ojala 2017.)

5.2.6 NDT

Rakenteiden kuntoa ja lujuutta voidaan tutkia myös vaurioittamatta rakenteen pintaa. Nämä non-destructive testing- eli NDT-menetelmät ovat yleistyneet siltojen ja muiden betonirakenteiden kuntotutkimuksissa. NDT-menetelmillä saadaan kattava kuva rakenteiden kunnosta ja menetelmät soveltuvat esimerkiksi teollisuuteen ja infrarakenteisiin erilaisten materiaalien kunnan ja eheyden tutkimiseen. Menetelmä on erityisen hyödyllinen laajoja pinta-aloja koskevissa tarkastuksissa sekä tilanteissa, joissa rakenteen sisällä kulkevat laitteet ja varusteet on paikannettava pintamateriaalia vaurioittamatta. (Ramboll [Viitattu 17.3.2018].)

5.2.7 Kimmovasara

Kimmovasara on mittaustyökalu betonirakenteen laadunvalvontaan, jonka avulla betonin lujuus voidaan tarkistaa mittaushetkellä. Kimmovasaralla voidaan tutkia myös muiden rakenteiden lujuuksia. Kimmovasaran toimintaperiaate on yksinkertainen, laite asetetaan pintaa vasten, vasara iskee pintaan ja kertoo lujuuden, joka perustuu vasaran takaisinponnahdukseen. (Cramo [Viitattu 17.3.2018].)

Käytettävän kimmovasaran on oltava kalibroitu ja standardien mukainen laite, että testeistä saadut tulokset ovat laitteen kohdalla luotettavia. Kimmovasaraa ei voida

käyttää jäisellä betonipinnalla, vaan betonipinnan tulee olla hyvälaatuinen ja kostea. Kimmovasaramittauksessa samasta rakenteesta otetaan useampia mittauksia ja rakenteen lujuus todetaan mittaustulosten keskiarvosta. Yksittäinen kivi mittauskohdan tuntumassa saattaa antaa vääristyneen tuloksen lujuudesta yksittäisellä mittauksella, mutta keskiarvo mittauksessa mittavirheen kokonaismäärä pienenee. (VTT-TEST R004-01-2016, 2.)

6 BETONIN ILMAMÄÄRÄMITTAUKSET JA TULOKSET

Betonitöiden aikana työmaalle saapuvalla massalla tehtiin ilmamäärämittauksia. Mittaukset suoritettiin pistokokein ja mittauslaitteena käytettiin Matest 54-C170/L - ilmamäärämittaria, joka on standardin EN12350-7 mukainen mittauslaite. Pääasiassa työmaan betoni oli normaalia rakennebetonia, jonka oletettu ilmamäärä on 2 %.

Ilmamäärämittausten aikana saman massan ilmamäärät mitattiin työmaalle saapuvasta betonista sekä massalle tapahtuvan pumppusiirron jälkeen. Usean mittauksen tarkoituksena oli selvittää, aiheuttaako betonin pumppusiirto massassa haitallista ilmamäärän kasvua.



Kuvio 4. Ilmamäärämittari (Rhagency 2018).

Oletusarvoisesti betonin tilavuudesta 2 % on ilmaa, betonin pakkasenkestävyysominaisuuksia parannettaessa ilmamäärää pyritään hallitusti ja tarkoituksenmukaisesti lisäämään hyväksytyillä lisäaineilla. Lisäaineita sekoitetaan pieniä määriä betonimassan joukkoon valmistusvaiheessa. Liiallinen

huokostusaineen käyttö aiheuttaa betonissa hallitsematonta ilmamäärän kasvua, joka johtaa lujouden menetykseen.

Betoniin saattaa muutenkin, kuin liiallisen huokostinaineiden käytöstä johtuvista syistä sekoittua hallitsemattomasti ilmaa. Tuoretta betonimassaa valmistettaessa sekoittamisesta aiheutuva liike saa aikaan ilmamäärän lisääntymistä. Jos betonimassaa sekoitetaan pitkiä aikoja, saattaa massan sekaan joutua hyvinkin paljon ilmaa. Erityisesti työmaalla usein käytetty perinteinen pyörintäsäiliömylly aiheuttaa liikkeellään betonimassan ilmamäärän lisääntymistä. Tämä ilmiö on havaittavissa massaa sekoitettaessa, kun aluksi jäykkä massa sekoittamisen johdosta notkistuu. Notkistumisen syynä on usein massaan sekoittunut ilma. Tämä ilmiö kärjistyy etenkin jäykemmällä massoilla, joista ilma ei pääse pois yhtä helposti verrattaessa notkeampiin massoihin.

6.1 Ilmamäärien mittaaminen

Työmaalla betonista tutkittiin ilmamääriä, joilla pyrittiin havaitsemaan mahdollisesti siirrosta aiheutuneet kohonneet ilmamäärät. Mittaukset suoritettiin pistokokein satunnaisista betonieristä, kuitenkin sama betonimassa testattiin sen saavuttua työmaalle sekä pumppusiirron jälkeen.

Perinteinen pyörintäsäiliöllä varustettu betoniauto saattaa myös sekoittaa massan sekaan ilmaa. Erityisesti pitkillä siirtymillä, joilla massaa joudutaan sekoittamaan pitkiä aikoja, saattaa ilmamäärä betonissa lisääntyä huomattavasti. Seinäjoen keskussairaalan betonin toimitusmatka oli melko lyhyt, jolloin betonimassa ei altistunut kuljetuksen aikana haitallisen pitkille sekoitusajoille.

Pumppuauto on nykyään yleinen näky betonointitöissä. Pumppuautolla betonimassaa kyetään siirtämään useita kymmeniä metrejä, jonka lisäksi massaa voidaan kuljettaa ylempiinkin kerroksiin ilman nosturia. Nimensä mukaisesti betonimassan siirto tapahtuu pumpulla, jonka epäiltiin aiheuttavan betonissa ilmamäärän kasvua.

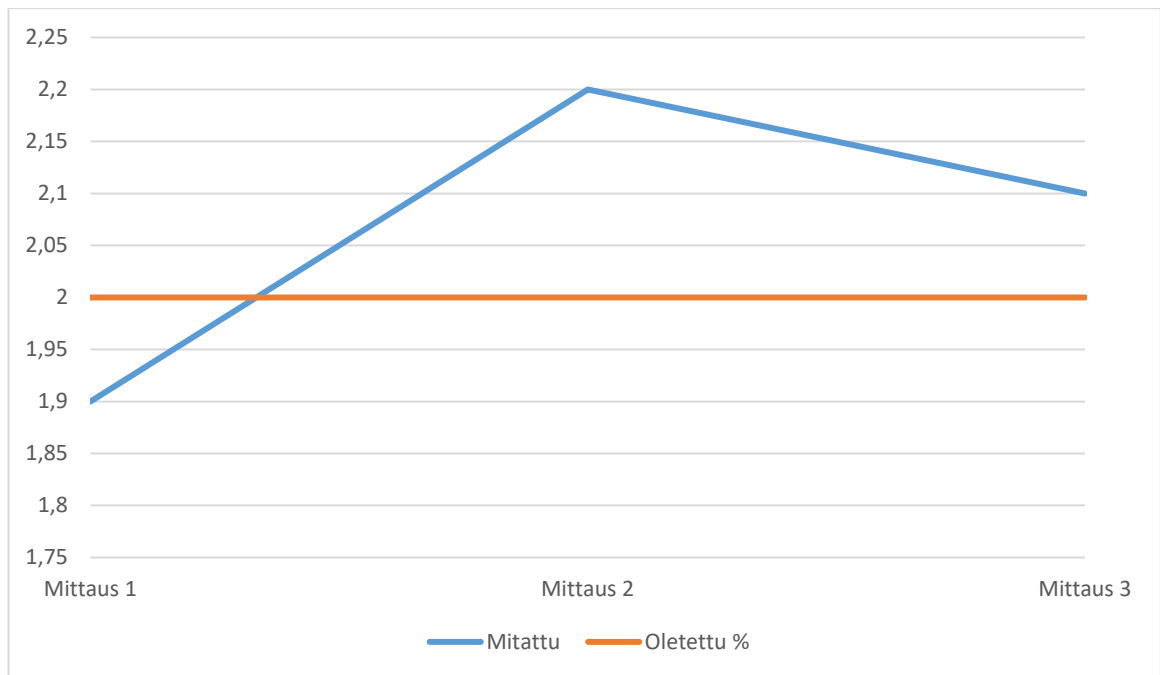
Käytetty mittauslaite oli Matest 54-C170/l, jonka toiminta hyödyntää Boylen lakia ja perustuu ilman kokoonpuristuvuuteen. Laitteella voidaan mitata ilmamäärät vain

tuoreesta betonista. Laitetta käytettäessä sen säiliö täytetään betonilla ohjeiden mukaisesti ja loput säiliön tilavuudesta täytetään vedellä ilman poisjohtamiseksi. Laitteen pumpulla tuotetaan testauspaine, joka on osoitettu mitta-asteikolla punaisella kalibroitimerkillä. Tuotettu testauspaine johdetaan betonisäiliöön, jolloin paine säiliön ja pumpun välillä tasaantuu betonissa olevasta ilmamäärästä riippuen. Ammattitaitoiselta testaajalta mittaukseen kuluu vain muutama minuutti ja testitulokset ovat välittömästi luettavissa ilmamäärämittarin mitta-asteikolta prosenttiyksikköinä.

Laitteen huolimaton käyttö lisää käyttäjästä johtuvan ilmamäärämittauksen virheen mahdollisuutta. Vaikka testaussarjojen aikana laite tuli tutuksi, kiinnitettiin huomiota sen oikeaoppiseen käyttöön. Tällöin havaittaessa poikkeavia ilmamääriä voidaan testausvirheen vaikutus mittaukseen minimoida.

6.2 Testitulokset

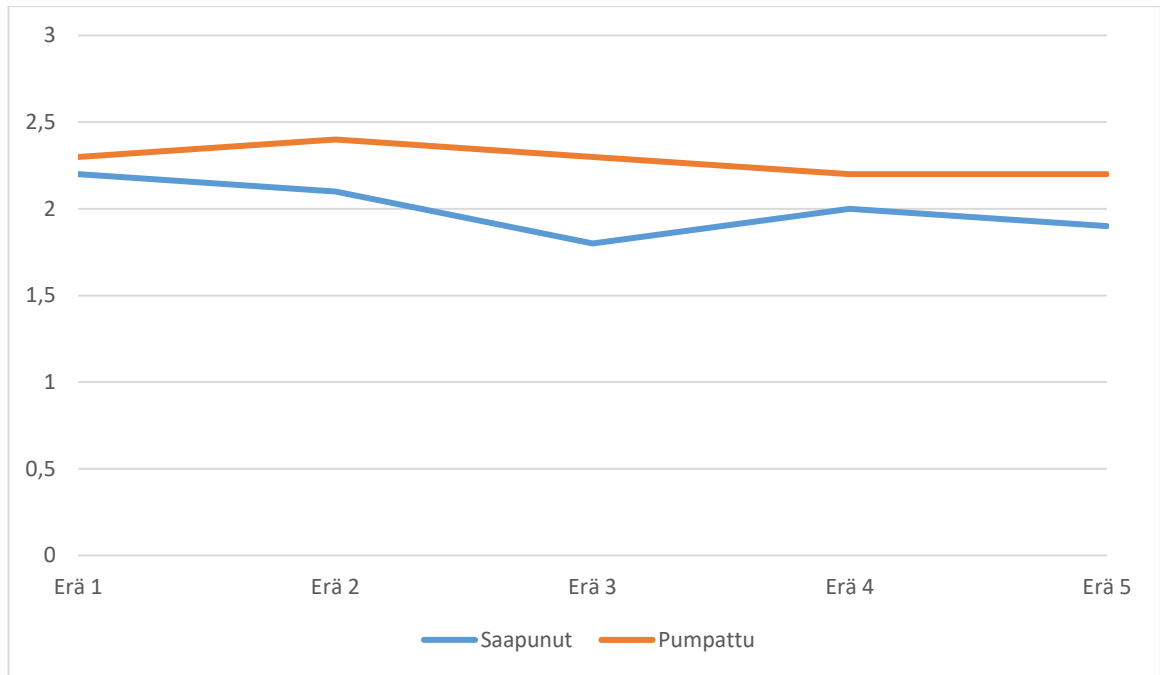
Ensimmäiset mittaukset työmaalla suoritettiin vain betoniautosta. Saapuneelle massalle suoritettiin kolme mittausta, joiden tarkoituksena oli tutustua ilmamäärämittarin käyttöön sekä karsia henkilöstä riippuvat mittausvirheet mahdollisimman alhaiselle tasolle. Uutena laitteena sekä vain teoriapohjaisen tiedon varassa oleva taito eivät takaa yhtenäisiä ja luotettavia mittaustuloksia. Toistuvilla mittauksilla samasta massasta pyrittiin saamaan toistuvat ilmamäärät, että laitteen käyttö tulisi tutuksi. Harjoitusmittauksissa testattavan betonin ilmamääräksi oletettiin 2 % johon mittaustuloksia verrattiin.



Kuvio 5. Harjoitusmittausten tulokset.

Kolmen mittaussarjan jälkeen saatujen testitulosten perusteella todettiin, että mittaustarkkuus on riittävä varsinaisen tutkimuksen suorittamiseen. Varsinaisessa tutkimuksessa työmaan betonieristä saaduilla koetuloksilla pyrittiin havaitsemaan siirron vaikutus betonin ilmamääriin. Betoniautosta saatuja mittaustuloksia verrattiin pumppusiirron jälkeisiin mittaustuloksiin, joista mahdollinen ilmamäärän kasvu kyettiin havaitsemaan välittömästi.

Betonin pumppauksen epäiltiin aiheuttavan hallitsematonta ilmamäärän kasvua betonimassassa, ja mittauksen tarkoituksena oli havaita mahdollinen ilmamäärän kasvu ja selvittää sen vaikutus betonissa, sillä ylimääräinen ja hallitsemattomasti lisääntynyt ilma heikentää betonirakennetta. Suhteituksessa tavoiteilmamäärät ja niiden vaikutus lujuuteen otetaan huomioon, mutta ylimääräisen ilman joutuessa betoniin saattaa ilma aiheuttaa merkittävän ja laajan lujuusaleneman rakenteessa. Ennakkoon suoritetuissa kokeissa haitalliset ilmamäärät kyetään havaitsemaan ennen valutyötä, jolloin vältytään mahdolliselta purkutyöltä tai sortumisvaaralta.



Kuvio 6. Betonissa havaitut ilmamäärät.

Betonin pumppauksen jälkeisistä mittauksista havaittiin lievä lisääntyminen ilmamäärässä. Keskimäärin ilmamäärä betonin pumppauksen jälkeen kasvoi 0,2 %, jonka vaikutuksesta betonointityöhön keskusteltiin työmaainsinöörin kanssa.

Yksittäisestä mittauksesta saatiin normaalia korkeampi ilmamäärä, joka johti jatkotutkimuksiin. Mittauksesta saatu ilmamäärän arvo oli 5,2 %, jonka katsottiin poikkeavan normaalista. Kuitenkin korkea ilmamääräpitoisuus selittyi rahtikirjasta, jonka mukaan kyseinen betoni oli huokostettu. Yhdessä työmaan työnjohtajan kanssa todettiin asian olevan kunnossa, eikä mittauksesta seurannut työnkeskeytykseen johtavaa jatkotutkimustarvetta.

6.3 Testitulosten tulkinta

Työmaan betonimassoissa voidaan havaita keskimäärin 0.2 %:n ilmamääräero. Betonin siirron aikana siihen on sekoittunut jonkin verran ilmaa, mutta määrä on niin vähäinen, ettei se vaikuta haitallisesti betonin tavoitelujuuteen. Oikein suoritettuna valutyöllä ja hyvällä tiivistyksellä saadaan ylimääräinen ilma betonimassasta pois.

Betonin siirto ei näytä aiheuttavan haitallista ilmamäärän lisääntymistä betonissa. Suurimpina ilmamäärän lisääjinä voidaan pitää ammattitaidotonta betonointityötä, huokostinaineen annosteluvirhettä tai uuden huokosti aineen odottamattomia vaikutuksia.

Tutkimustulosten ja niiden pohjalta tehtyjen päätelmien perusteella voidaan sanoa, että huolellisella betonin valmistuksella ja ammattitaitoisella betonointityöllä saadaan minimoitua ilmamääristä aiheutuvat ongelmat betonirakenteissa. Oikeaoppisella ja ammattitaitoisella betonointityöllä saadaan siirron aiheuttamat ilmamäärät mitätöityä. Huolellisesti tehdyllä suhteituksella sekä tutkittuja ja tunnettuja huokostimia käyttämällä voidaan betonin pakkasenkestävyyttä parantaa ilmamäärää lisäämällä ilman, että lujuusominaisuudet kärsivät.

LÄHTEET

Ahokas, H. 2017. Betonin laadunvalvonta valmisbetoniasemalla ja talonrakennustyömaalla. Semtu (1), 4.

Anttila, V. 2003. Betonin valinta. Teoksessa: A. Koskenvesa (toim.) Rakentajainkalenteri. Helsinki: Rakennustieto Oy, 407-416.

Betoni. Ei päiväystä. Betoni rakennusmateriaalina. [Verkkosivu]. Helsinki. Betonia Oy. [Viitattu 24.10.2017]. Saatavana: <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/>

Betoni. Ei päiväystä. Betonin historia. [Verkkosivu]. Helsinki. Betonia Oy. [Viitattu 23.10.2017]. Saatavana: <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betonin-historia/>

Betoni. Ei päiväystä. Betonin ominaisuudet ja käyttö. [Verkkosivu]. Helsinki. Betonia Oy. [Viitattu 25.10.2017]. Saatavana: <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-ominaisuudet-ja-kaytto/>

Betoni. Ei päiväystä. Jälkihoito. [Verkkosivu]. Helsinki. Betonia Oy. [Viitattu 28.3.2018]. Saatavana: <https://betoni.com/koti-betonista/rakennustapavaihtoehdot/paikallavalu/jalkihoito/>

Betoni. Ei päiväystä. Paikallavalurakentaminen. [Verkkosivu]. Helsinki. Betonia Oy. [Viitattu 27.3.2018]. Saatavana: <https://betoni.com/betonirakentaminen/valmisbetoni-paikallavalurakentaminen/>

Betoni. Ei päiväystä. Betonin valmistus. [Verkkosivu]. Helsinki. Betonia Oy. [Viitattu 26.3.2018]. Saatavana: <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-valmistus/>

Cramo. Ei päiväystä. Cramolta vuokralle kimmovasara betonin lujouden mittaamiseen. [Verkkosivu]. Vantaa. Cramo Oyj. [Viitattu 17.3.2018]. Saatavana: <https://www.cramo.com/fi-FI/uutiset/uutisarkisto/cramolta-vuokralle-kimmovasara-betonin-lujuuden-mittaamiseen/>

Finnsementti. Ei päiväystä. Betonin lujuus. [Verkkosivu]. Espoo. Finnsementti Oy. [Viitattu 17.3.2018]. Saatavana: <http://www.finnsementti.fi/tietoa-betonista/tietoa-betonista-pienrakentajalle-ja-rautakauppiaille/betonin-lujuus>

Finnsementti. Ei päiväystä. Valmistus ja valu. [Verkkosivu]. Espoo. Finnsementti Oy. [Viitattu 18.3.2018]. Saatavana: <http://www.finnsementti.fi/tietoa-betonista/tietoa-betonista-pienrakentajalle-ja-rautakauppiaille/valmistus-ja-valu>

Kronlöf, S. & Klami, J. 2017. Lausunto betonin vaatimustenmukaisuuden valvonnasta ja soveltuvuudesta 2016-2017 aikana havaittujen betonin lujuusongelmien perusteella. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Mantila, A. 2014. Valmisbetonin valinta, tilaaminen ja vastaanotto. Teoksessa: Rakentajainkalenteri. Helsinki: Rakennustieto Oy, 510-521.

Ojala, T. 2017. Tuoreen betonin ilmamäärän automaattinen mittaaminen. *Betoni* (4), 92.

Pahkala, M. 2001. Paikallavaletut betonipinnat. Teoksessa Rakentajainkalenteri. Helsinki: Rakennustieto Oy, 517-539.

Projektit. 18.11.2016. Rakenteilla olevan sairaalarakennuksen betoniraketeissa laaja ja vakava lujuusongelma. [Verkkolehtiartikkeli]. *Rakennuslehti*. [Viitattu 17.3.2018]. Saatavana: <https://www.rakennuslehti.fi/2016/11/tyksin-rakenteilla-olevan-t3-rakennuksen-betoniraketeissa-laaja-ja-vakava-lujuusongelma/>

Ramboll. Ei päiväystä. Betonirakenteen kuntotarkastus materiaalia kunnioittaen. [Verkkosivu]. Espoo. Ramboll Finland Oy. [Viitattu 17.3.2018]. Saatavana: <http://www.palveluksessasi.ramboll.fi/ndt>

Suomen betoniyhdistys. 2018. Betonitekniikan oppikirja. BY201. Helsinki: Suomen betoniyhdistys ry.

Tuotteet. Ei päiväystä. Betonin lisäaineet. [Verkkosivu]. Kerava: Semtu. [Viitattu 17.3.2018]. Saatavana: <https://www.semtu.fi/fi/tuotteet/betonin-lisa-aineet/>

Uutiset. 2.12.2016. Kemijärven sillan ja Turun sairaalan betoniongelmien pääsy selvisi. [Verkkosivu]. MTV. [Viitattu 17.3.2018]. Saatavana: <https://www.mtv.fi/uutiset/kotimaa/artikkeli/kemijarven-sillan-ja-turun-sairaalan-betoniongelmien-paasy-selvisi/6196326#gs.a1nIAcY>

Valmisbetoni. Ei päiväystä. Muottitekniikka. [Verkkosivu]. Helsinki. Betoniteollisuus ry. [Viitattu 17.3.2018]. Saatavana: <http://www.valmisbetoni.fi/toteutus/muotit>

VTT-TEST R004-01-2016. Kimmovasaran käyttäjän ohje. Helsinki: Liikennevirasto.

Ympäristöministeriö. 2001. Betonirakenteet B4. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Asunto- ja rakennusosasto.