

Opinnäytetyö (AMK)
Rakennustekniikka
Talorakennustekniikka
2014

Johannes Kivikangas

BETONIN LAADUNVALVONNAN TYÖVIRHEET



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka | Talonrakennustekniikka

Kevät 2014 | 32 + 1 sivua

Maarit Järvinen

Johannes Kivikangas

BETONIN LAADUNVALVONNAN TYÖVIRHEET

Tässä opinnäytetyössä perehdytään Rakennustuoteteollisuuden (RTT) julkaisemiin standardeihin ja määräyksiin betonin oikeaoppisesta valmistuksesta ja laadunvarmistuksesta. Työn tarkoituksena on selvittää, millä tavoin näistä määräyksistä poikkeaminen heijastuu betonikoekappaleiden loppupuristuslujuuksissa.

Työn teoriaosassa pureudutaan betonin laadunvalvonnassa käytettäviin standardeihin ja määräyksiin ja tutkitaan betonin koostumusta tarkemmin. Työn empiirisessä osassa tutkitaan käytännössä, miten ohjeista poikkeaminen vaikuttaa loppupuristuslujuuksiin betonin laadunvarmistuksessa. Prosessi käydään läpi betonin valmistuksesta aina koekappaleiden koestukseen asti, jonka jälkeen tulokset kirjataan ja analysoidaan.

Työn tuloksista voidaan päätellä, että laadunvalvonnan aikana tapahtuvilla työvireillä on suuri vaikutus betonin loppupuristuslujuuksiin.

ASIASANAT:

Betoni, laadunvalvonta, koestus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering | Structural Engineering

Spring 2014 | 32 + 1 pages

Maarit Järvinen

Johannes Kivikangas

MISTAKES IN QUALITY CONTROL OF CONCRETE

This Bachelor's thesis deals with the standards and regulations published by the Confederation of Finnish Construction Industries (RT) about the correct making of concrete and quality control. The purpose of this thesis was to find to what extent deviating from these standards and regulations reflected on the final compression strengths of concrete blocks.

The theory part of this thesis deals with these standards and decrees and sheds some light into the building blocks of concrete. The empirical part of this thesis investigates in practice how significant deviating from said standards is for the final compression strength. The process covers everything from the manufacturing of the concrete all the way to the testing. The results are recorded and analyzed for further use.

Deriving from the results, it is clear, that the mistakes made during the quality control have a major impact on the final compression strengths of concrete blocks.

KEYWORDS:

Concrete, quality control, proofing

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
1.1 Työn tausta	6
1.2 Työn tavoite	6
1.3 Ansion Sementtivalimo Oy	7
2 BETONI RAKENNUSMATERIAALINA	8
2.1 Yleistietoa	8
2.2 Koostumus	8
2.2.1 Runkoaine	9
2.2.2 Sementti	9
2.2.3 Seosaineet	9
2.2.4 Vesi	10
2.2.5 Lisäaineet	10
3 LAADUNVALVONTA	11
3.1 Yleistä	11
3.2 Betonointipöytäkirja	12
4 LAADUNVALVONTAMENETTELYT	14
4.1 Elementtitehtaat	14
4.2 Puristuslujuuden testauskoneet	15
4.3 Koekappalemuotit	16
4.4 Betonin notkeus	17
5 BETONIN KOESTUS	19
5.1 Muottien valmistelu	21
5.2 Kappaleen työstö	22
5.3 Muotin purku	23
5.4 Koekappaleen koestus	24
6 TULOKSET	27
6.1 7 vuorokauden tulokset	27
6.2 28 vuorokauden tulokset	28
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	30

LIITTEET

Liite 1. Osa-aineiden laadunvalvontamenettely

KUVAT

Kuva 1. Koestuslaitteisto kokonaisuudessaan.	15
Kuva 2. Muovinen koekappalemuotti.	16
Kuva 3. Prosessinhoitajalta tilattu massa.	21
Kuva 4. Koekappalemuotti puoliksi täytettynä.	22
Kuva 5. Valmis muottiin valettu betoni.	23
Kuva 6. Koestuskoneen puristusyksikkö ja vaihtoehtoinen puristuslevy.	24
Kuva 7. Koestuskoneen käyttöliittymä.	25
Kuva 8. Koestettu kuutio.	26

KUVIOT

Kuvio 1. Betonin lujuudenkehitys ajan funktiona.	27
--	----

TAULUKOT

Taulukko 1. Testaussarjojen ominaisuudet.	19
Taulukko 2. Koekappaleiden ominaisuudet.	20
Taulukko 3. Sarjojen keskinäiset erot työstön suhteen 7 vuorokauden iässä.	28
Taulukko 4. Sarjojen keskinäiset erot kosteuden suhteen 7 vuorokauden iässä.	28
Taulukko 5. Sarjojen keskinäiset erot työstön suhteen 28 vuorokauden iässä.	28
Taulukko 6. Sarjojen keskinäiset erot kosteuden suhteen 28 vuorokauden iässä.	29

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Betonin laadunvalvontaa suoritetaan niin yrityksen sisällä kuin myös tilauksesta ulkopuolisella testaajalla, esim. Inspectalla. Tätä prosessia ja prosessointitapoja pyritään kehittämään jatkuvasti. Ansion Sementtivalimo Oy:n CE-merkinnän täyttävät betonituotteet valmistetaan standardien mukaisilla betonilaaduilla, joka tarvittaessa tulee voida osoittaa todeksi. Betonin laadunvalvontaan osoitetut koetusolosuhteet ja -laitteisto ovat kaikki standardisoituja ja tarkkaan määriteltäviä standardien SFS-EN 206-1 ja SFS-EN 12390-4 mukaan, joten pienetkin muutokset koetusolosuhteissa taikka työtavoissa voivat aiheuttaa suuria muutoksia betonin loppupuristuslujuuksiin, mikä aiheuttaa poikkeamia tilastoissa.

Tämän työn tavoite syntyi keskustelusta yrityksen oman laborantin Ilmo Suovasen kanssa. Keskustelussa käytiin läpi betonin laadunvalvontaa yleisesti alusta loppuun ja tulosten vaikutuksia yrityksen omiin betoniperhetietokantoihin. Keskustelussa kävi ilmi, että betoniperheen laadunvalvonta on kaksiteräinen miekka: suuret poikkeamat tuloksissa kumpaankaan suuntaan eivät ole hyväksytyjä, jolloin ohjelmaan annetut ehdot betoniperheittäin eivät täyty. Suovasen mukaan suuria poikkeamia saattaa syntyä, vaikka betonimassa itsessään olisi laadukasta; poikkeamat johtuvat työstäjän omista virheistä. Aiempaa yrityksen omaa tutkimusta aiheesta ei ollut. Työn idea esitettiin toimitusjohtaja Ari-Pekka Ansiolle, joka antoi hyväksynnän aiheelle.

Työ suoritetaan Ansion Sementtivalimo Oy:n tiloissa betonilaborantti Ilmo Suovasen ja toimitusjohtaja Ari-Pekka Ansion opastuksella.

1.2 Työn tavoite

Tämän työn tavoitteena on tutkia, kuinka paljon muutokset työolosuhteissa ja työtavoissa voivat mahdollisesti aiheuttaa poikkeamia loppupuristuslujuuksissa,

vaikka betonimassa itsessään olisikin laadukasta ja standardien mukaista. Työn teoriaosassa paneudutaan Suomen Betoniyhdistys r.y:n julkaisemaan Betoninormit By50:n, standardien SFS-EN 206-1 ja SFS-EN12390-4 asettamiin määräyksiin betonin ominaisuuksista, valmistuksesta, laadunvalvonnasta, betonista rakennusmateriaalina ja betonin testauksesta. Työn empiirisessä osassa 4 betonitestiryhmää altistetaan taulukossa 1 mainituille muutoksille ja seurataan niiden lujuudenkehitystä 7 vuorokauden ja 28 vuorokauden iässä. Kaikki testiryhmät sisältävät saman erän betonia. Mahdolliset poikkeamat tuloksissa analysoidaan ja raportoidaan ja niiden poikkeamien vaikutusta pohditaan.

1.3 Ansion Sementtivalimo Oy

Ansion Sementtivalimo Oy on vuonna 1949 perustettu perheomistuksessa toimiva sementtivalimo. Yritys valmistaa laadukkaita betonielementtejä, joista rakennetaan mm. rakennusten julkisivuja ja väliseiniä. Yritys toimittaa myös valmisbetonia Varsinais-Suomen alueella. Monipuolisen tuotantokapasiteetin ansiosta yritys pystyy vastaamaan vaativimpiinkin toiveisiin.

Ansion Sementtivalimo Oy on mukana Luotettava Kumppani –tilaajavastuupalvelussa, jonka ansiosta asiakkaat voivat luottaa siihen, että yritys täyttää yhteiskuntavastuunsa.

Ansion Sementtivalimo Oy:n tuotteilla on CE-merkintä ja yrityksen erityisosaaminen kattaa betonin valmistuksen ja pumppauksen sekä julkisivuelementtien, pientaloelementtien, väestönsuojien, jännebetonipalkkien, ontelo- ja kuorilaattojen tuottamisen. (Ansion Sementtivalimo Oy 2014.)

2 BETONI RAKENNUSMATERIAALINA

2.1 Yleistä

Betoni on valettaessa notkeaa massaa, joka erilaisten sideaineiden reaktioiden kautta kovettuu kovaksi, kivenkaltaiseksi rakenteeksi. Betoni koostuu sideaineiden lisäksi runkoaineesta, vedestä ja mahdollisista lisäaineista, esim. notkistimesta ja huokostimesta. Betonista valmistetaan useita massiivirakenteita, kuten siltoja, patoja ja kiitoteitä. Käyttökohteita löytyy kuitenkin myös tavanomaisestakin rakentamisesta.

Roomalaiset olivat betonirakentamisen pioneereja. Osa heidän kehittämillään betoniresepteillä rakennetuista monumenteista ovat edelleen pystyssä jopa tuhansien vuosien jälkeen. Näistä kuuluisimpia rakennelmia ovat Pantheon ja Colosseum.

Rooman tuhoutumisen jälkeen betonirakentamisen taito katosi pitkäksi aikaa. Vasta 1800-luvulla betonirakentaminen käynnistyi uudelleen Portland-sementin keksimisen jälkeen ja jatkui vilkkaana 1900-luvulla. (Betoniteollisuus ry 2014.) Betonin laatu tosin vaihteli aluksi suuresti, sillä yhtenäisiä standardeja ja määryksiä ei oltu vielä laadittu.

2.2 Koostumus

Betonin koostumukseen voidaan vaikuttaa pääasiassa eri osa-aineiden suhteuksilla. Runkoaineen raekokoa, sementtilaattaa ja veden määrää muuttamalla saadaan aikaiseksi jokaisen tilanteen vaatimaa betonimassaa, laadusta tinkimättä. Käytettävissä on myös erilaisia lisäaineita, joilla voidaan lisätä haluttuja ominaisuuksia, esim. työstettävyys ja pakkasenkestävyys.

2.2.1 Runkoaine

Runkoaine on kiviainesta, jota on betonin tilavuudesta noin 70 %. Runkoaine koostuu useista pienemmistä ja isoimmista kivilaaduista, useimmiten 0–16 mm, mutta myös joissain massiivirakenteissa 0–32 mm. Runkoaineen karkeimman osan muodostaa murske tai luonnonsora 6/8–32 mm ja 0–8 mm. Runkoaineena voidaan käyttää myös murskattua betonia. (Betoniteollisuus ry 2014.) Kiviaineksenä voidaan siis käyttää mitä tahansa riittävän lujaa kiviainesta, joka ei osallistu sideaineiden reaktioihin tai ei muuten haittaa betonin säilyvyyttä millään tavoin. Kiviaines voi olla joko luonnon muokkaamaa tai koneellisesti murskattua tai seuloittua.

2.2.2 Sementti

Sementti on betonin tärkein osa-aine, joka jaotellaan karkeasti nopeasti kovettuvaan ja normaalisti kovettuvaan. Yhdessä veden kanssa reagoituaan sementti muodostaa kovan, huokoisen mineraalin (pasta), joka kiinnittää runkoainerakeet ja mahdollisen raudoituksen. (Betoniteollisuus ry 2014.) ”Rakennussementin tulee olla CE-merkittyä ja sen tulee täyttää standardin SFS-EN 197-1 vaatimukset.” (RakMK B4, s. 50).

2.2.3 Seosaineet

Betonin tyypillisimpiä seosaineita ovat lentotuhka, masuunikuona ja silika, joita voidaan käyttää side- ja runkoaineena. Lentotuhkaa ja masuunikuonaa käytetään lähinnä sideaineen ja runkoaineen korvikkeena tai lisänä, kun taas silikalla on selkeitä lisäominaisuuksia: betonin lujuuden lisääminen, kemiallinen kestävyys ja vedenpitävyys.

2.2.4 Vesi

Tavallinen juomavesi soveltuu käytettäväksi betonin valmistukseen. Järvivesi, joka saattaa sisältää suuria määriä humusta, ei sovellu betonin valmistukseen, sillä humus häiritsee betonin kovettumisreaktiota. Erityisen haitallista on sokeri-pitoinen vesi, joka saattaa pahimmillaan estää jopa betonin kovettumisen kokonaan. (Betoniteollisuus ry 2014.)

2.2.5 Lisäaineet

Betonin tyypillisimpiä lisäaineita ovat erilaiset notkistimet, hidastimet ja huokostimet. Näillä lisäaineilla voidaan lisätä betonimassaan haluttuja ominaisuuksia. Huokostimella saadaan betoniin sään- ja pakkasenkestävyyttä. Hidastinta käytämällä voidaan viivyttää betonin kovettumisaikaa ja notkimistella voidaan lisätä betonin työstettävyyttä.

3 LAADUNVALVONTA

3.1 Yleistä

Jotta betonirakenteiden kelpoisuus voitaisiin varmistaa, on suoritettava valmistuksen laadunvalvontaa. Betonin valmistuksesta, betonoinnista ja sen jälkeen tapahtuvasta käsittelystä tehdään laadunvalvonnan yhteydessä muistiinpanot, joiden perusteella on tarvittaessa mahdollista jälkeinpäin selvittää työnsuorituksen tapahtumat. Valmisbetonin ja betonielementtien valmistusta kutsutaan tarkastetuksi, jos sen laadunvalvonta on ympäristöministeriön hyväksymän toimielimen tarkastuksen alainen. (By50 Betoninormit 2012.)

Betonirakenteiden valmistuksen laadunvalvontaan kuuluu betonin ja rakenteiden valmistuksen valvonta. Betonin valmistuksen valvonta käsittää osa-aineita koskevat kokeet, betonin ennakkokokeet ja valmistuksen aikaiset kokeet. Rakenteiden valmistuksen laadunvalvonta kohdistuu muotti- ja tukirakenteisiin, raudoitukseen, betonointiin, tiivistämiseen, jälkihoitoon ja lämpökäsittelyyn. (By50 Betoninormit 2012.)

Kaikki laadunvalvontakokeiden tulokset merkitään muistiin. Valmisbetonin valmistuksen laadunvalvontaa koskevat asiakirjat säilytetään vähintään kolme vuotta. Muut laadunvalvonta-asiakirjat säilytetään vähintään kahden vuoden ajan rakennuksen käyttöönotosta laskien. (By50 Betoninormit 2012.)

Kovettuneelle betonille tehtävät säilyvyystestit tehdään hyväksytyssä koestuslaitoksessa. Valmistaja voi tehdä betoniin liittyvät lujuuskokeet myös yrityksen sisäisesti tarkastajan hyväksymässä koestuslaitoksessa. Vuosittain tehdään puristuslujuuden testauksen tasotarkastus hyväksytyssä koestuslaitoksessa tarkastuksen suorittajan ohjeiden mukaisesti. Betonin valmistuksen laadunvalvonta toteutetaan standardin SFS-EN 206-1 mukaisesti. (By50 Betoninormit 2012.)

On kuitenkin muistettava, että BY 50:ssä esitetyt ohjeet ja määräykset koskevat lähinnä vain talonrakennusta. Tiehallinnon siltoja ohjaavat muut määräykset, kuten esim. Tiehallinnon P-lukuohjeet ja SILKO-ohjeet

3.2 Betonointipöytäkirja

1- ja 2-luokan rakenteiden valmistuksesta tehdään seuraavat muistiinpanot sopivilta osiltaan betonointipöytäkirjan muodossa tai asiakirjat talteen ottamalla. Betonointipöytäkirja voidaan laatia By401 betonointipöytäkirjan kaavaketta käyttäen:

- rakennustyömaan tai elementtitehtaan tunnustiedot, betonityönjohtajat, betonilaborantit ja heidän työaikansa
- valmisbetonin kuormakirjat sekä rakennuspaikalla tehtävien kelpoisuuskoekappaleiden tunnukset
- betonointiolosuhteita koskevat tiedot ja niiden vaatimat toimenpiteet
- betonimäärät betonijaksoittain
- betonointitapa
- betonoinnin alkaminen ja päättyminen, työssä ilmenneet hankaluudet, muottien ja tukirakenteiden purkamisajankohta ja sen määrittäminen, betonin jälkihoito, betonin lämpötilan seuranta ja lämpökäsittely
- elementtien käsittely ja varastointi
- muottien ja raudoituksen valvontatoimenpiteet
- elementtien ja raudoitteiden vastaanottotarkastukset
- rakennustarkastajan määräykset
- rakenteiden tarkastukset
- muut tarpeelliset asiat.

Ympäristöministeriön hyväksymä toimitus suorittaa valmisbetonin ja elementtien valmistuksen laadunvalvonnan alkutarkastuksen. Alkutarkastuksen tarkoitus on todeta, että henkilöstöllä ja laitteistolla on riittävät edellytykset kunnolliseen valmistukseen ja laadunvalvontaan. Tämän lisäksi edellä mainittu toimitus suorittaa

tavanomaista tarkastusta, jossa tarkastetaan ainakin laatujärjestelmä sekä valmistus-, näytteenotto- ja koemenetelmät, kirjatut tiedot, ennakkokokeiden tulokset, valmistuksen valvonnan koetulokset ja havaitut laatu puutteet tarkastusajanjaksolta. (By50 Betoninormit 2012.)

4 LAADUNVALVONTAMENETTELYT

Osa-aineiden, laitteiden, betonin valmistusmenetelmien ja betonin vaatimustenmukaisuutta tulee valvoa niiden määrittelyjen ja By50 Betoninormeissa annettujen vaatimusten suhteen. Valvonnan tulee pystyä havaitsemaan merkittävät ominaisuuksin vaikuttavat muutokset ja ryhtyä tarvittaviin korjaaviin toimenpiteisiin. Osa-aineiden tarkastus- ja testausmenetelmien sekä tarkastusten ja testausten vähimmäismäärien tulee olla liitteen 1 mukaisia. (By50 Betoninormit 2012.)

Liitteessä 1 oleva taulukko perustuu siihen oletukseen, että osa-aineiden valmistajalla on riittävä laadunvalvonta osa-aineiden tuotantopaikassa ja että osa-aineita toimitettaessa niiden mukana on vaatimustenmukaisuusvakuutus tai vaatimustenmukaisuustodistus, jotka osoittavat, että osa-aineet ovat ao. määrittelyjen mukaisia. Jos näin ei ole, on suositeltavaa, että betonin valmistaja tarkistaa materiaalien standardien mukaiset vaatimukset. (By50 Betoninormit 2012.)

Laitteiden valvonnalla tulee varmistaa, että varastotilat, punnitus- ja annostelulaitteet, sekoitin ja valvontalaitteet ovat hyvässä kunnossa ja että ne täyttävät tämän standardin vaatimukset. Laitteiden tarkastus- ja testaustiheys esitetään standardin SFS-EN 206-1 taulukossa 23. (By50 Betoninormit 2012.)

4.1 Elementtitehtaat

”Elementtitehtailla tulee olla kirjallisesti kuvattu tuotannon laadunhallintajärjestelmä. Osa-aineita, laitteita, betonin valmistusmenetelmiä, betonin vaatimuksenmukaisuutta ja toimitusta pitää valvoa ottaen huomioon B4:n vaatimukset. Valvonnan pitää ottaa huomioon merkittävät muutokset, jotka vaikuttavat tuotteen ominaisuuksiin ja jotka voivat johtaa korjaustoimenpiteisiin. Valvonnan tulee varmistaa, että elementtien valmistusprosessi ja tuotteiden varastointi ovat hyväksyttävässä kunnossa. Valmistusprosessi tulee pitää laatujärjestelmässä esitetyn kunnossapitojärjestelmän avulla suunnitellussa kunnossa.” (RakMK B4)

4.2 Puristuslujuuden testauskoneet

Testauskoneiden oikean toiminnan tarkastus sisältää testauskonestandardin SFS-EN 12390-4 mukaan voiman näytön tarkkuuden, voiman välityksen, levyjen tasomaisuuden ja kuormitusnopeuden säädön kalibroinnit. Lisäksi standardissa on esitetty vaatimuksia kuormituslevyjien kovuudelle ja karheudelle. Kalibroinnit suorittaa pätevyyden suorittanut henkilö, joka tarkastaa koneet vähintään kerran vuodessa. (By50 Betoninormit 2012.)



Kuva 1. Koestuslaitteisto kokonaisuudessaan.

Hyväksytyn ja/tai akkreditoidun testauslaboratorion koneen on oltava luokkaa 1, mitä kuvassa 1 oleva laitteisto edustaa. Puristusyksikön valmistaja on Servo-Tronic ja ohjausyksikön valmistaja on Cyber-Tronic. Muun testauslaboratorion koneen on oltava vähintään luokkaa 2. (By50 Betoninormit 2012.)

4.3 Koekappalemuotit

Betonin valmistaja voi harkintansa mukaan käyttää joko kalibroituja tai kalibroimattomia koekappalemuotteja. Kalibroituja muotteja käytettäessä koekappaleista tarvitsee ennen testausta määrittää vain perusmitat. Kalibroimattomia muotteja käytettäessä on kaikista koekappaleista määritettävä perusmittojen lisäksi myös suorakulmaisuus ja kuormituspintojen tasomaisuus. Vaatimukset vaihtelevat muottityypeittäin. Muotit voivat olla joko puuta tai metallia, mutta myös kuvassa 2 olevia muovisia muotteja käytetään yleisesti. (By50 Betoninormit 2012.)



Kuva 2. Muovinen koekappalemuotti.

Uusia muotteja hankittaessa on myyjän esitettävä muottikohtainen kalibrointitodistus. Käytössä olevissa muoteissa on oltava voimassa oleva kalibrointitodistus.

Kalibrointi suoritetaan muottikohtaisesti. Muotin kalibroinnin voi teettää kalibrointivalmiudet omaavalla hyväksytyllä koetuslaitoksella tai betoninvalmistaja voi tehdä sen itse valmiuksien mukaan. Yleisempää on kuitenkin kappaleiden mittauttaminen toisella osapuolella, esim. VTT:llä tai Contestalla. Kalibrointi edellyttää tarkkaa muottikohtaista dokumentointia ja jäljitettäviä mittausvälineitä. Jokaisessa kalibroidussa muotissa tulee olla muotin ja sen osat yksilöivät tunnistemerkinnät. Kalibroidun muotin tunnistemerkintä liitetään osaksi koekappaleen tunnusta. (By50 Betoninormit 2012.)

Muotit tulisi kalibroida vähintään kerran vuodessa, mutta ei kuitenkaan useammin kuin 200 käyttökerran välein. Mikäli kalibrointiaikana havaitaan, etteivät kalibroidulla muotilla tehdyn koekappaleen nimetyt mitat täytä kappaleen mittapoikkeamavaatimusta, tulee muotin kunto tarkastaa ja kalibrointi uusiksi. Muotit voidaan kalibroida myös mittaamalla niihin valetun betonikappaleen mitat. Nimettyjen mittojen mittapoikkeamavaatimukset pyöristetään yhden desimaalin tarkkuuteen. Esim. 150 mm:n kuution nimetyt mitat (d) mittapoikkeamavaatimus $\pm 0,25$ % tarkoittaa $\pm 0,4$ mm:ä. Muottipintojen tasomaisuuspoikkeamavaatimukset pyöristetään kahden desimaalin tarkkuuteen. Esim. 150 mm:n kuution sivupinnan tasomaisuuspoikkeamavaatimus $\pm 0,0005 d$ tarkoittaa $\pm 0,08$ mm:ä. (By50 Betoninormit 2012.)

4.4 Betonin notkeus

”Notkeuden jatkuvaa tarkkailua varten tulee olla luotettava betonin notkeuden mittausjärjestelmä, jonka näyttölaitteen on sijaittava ohjaamossa.” (Inspecta Oy 2014). Tyypillinen mittari saa tietonsa betonisekoittimessa olevasta vastusanturista, joka ilmoittaa sähkömoottorin tarvitsevan ampeerimäärän. Sekoitin tulee huoltaa ja puhdistaa päivittäin siten, että sekoituskyky ei heikkene ja että tehonmittaukseen perustuvaan notkeudentarkkailuun voidaan luottaa.

Mittauslaitteen lukeman riippuvuus valmistettavan massan tyypistä ja koosta, sekä vastaavuus laboratoriomäärittelytuloksiin on selvitettävä riittävän pitkällä

koesarjalla. Tätä riippuvuutta on jatkuvasti tarkkailtava ja tarvittaessa korjattava. (Inspecta Oy 2014.)

Annoksen kokoa ja massatyyppiä vastaavat notkeusmittarilukemat on taulukoitava ja taulukko pidettävä prosessinohjaajan, eli betonimyllärin, näkyvillä. (Inspecta Oy 2014).

5 BETONIN KOESTUS

Tämän opinnäytetyön empiirisessä osassa perehdytään yleisimpiin laadunvalvonnan aikana tapahtuviin virheisiin ja niiden mahdollisiin vaikutuksiin betonin koekappaleiden loppupuristuslujuuksiin.

Tyypillisimpiä virheitä betonin laadunvalvonnan aikana on betonimassan huono työstö muottiin asettamisen aikana: betonin huono tiivistäminen ja pinnan tasoittamatta jättäminen. Toinen virhe on koekappaleen poistaminen vedestä liian myöhään, jolloin kappale ei ehdi kuivua kunnolla ennen puristamista; kappaleet tulisi nostaa vedestä noin 24 h ennen koestuksen suorittamista. Betonin huokosiin jäänyt vesi saattaa puristamisen aikana rikkoa betonin rakennetta ennen tavoiteltua lujutta, mikä antaa virheellisen tuloksen.

Testattavaksi valittiin 4 testisarjaa, kaikki samasta betonilaadusta, jotka altistetaan yleisimmille työvirheille. Normaali työstö kattaa kaikki työvaiheet ohjeiden mukaan suoritettuna: massan huolellinen tiivistys, pinnan tasoitus ja kappaleiden peittäminen lopuksi. Huono työstö kattaa kaikki työvaiheet ohjeista poiketen: massaa ei tiivistetä huolellisesti, pintaa ei tasoiteta eikä kappaleita peitetä lopuksi. Kaikista ryhmistä tehdään 2 kappaletta, jotka puristetaan 7 vuorokauden ja 28 vuorokauden ikäisinä. Sarja OP-1 toimii vertailukohteena.

Taulukko 1. Testaussarjojen ominaisuudet.

Tunnus	Sarjan ominaisuus
OP-1	Normaali työstö, kuivana koestettu
OP-2	Huono työstö, kuivana koestettu
OP-3	Normaali työstö, märkänä koestettu
OP-4	Huono työstö, märkänä koestettu

Ilmamäärämittauksia ei suoriteta, vaikka massa sisältääkin huokoistavan lisäaineen. Betonimassa on yleisin yrityksen elementtituotannossa, joka kattaa kaikki elementit, paitsi parvekkeet, pilarit, palkit ja laatat. Sementtinä on käytetty nopeasti kovettuvaa Rapid-sementtiä.

Taulukko 2. Koekappaleiden ominaisuudet.

Tunnus	Massa (g)	Tiheys (kg/m ³)	Nimellimitat	Ikä
OP-1-1	8009	2357	150x150x150	7
OP-1-2	8004	2371	150x150x150	28
OP-2-1	7623	2243	150x150x150	7
OP-2-2	7813	2314	150x150x150	28
OP-3-1	8029	2363	150x150x150	7
OP-3-2	8108	2402	150x150x150	28
OP-4-1	7813	2299	150x150x150	7
OP-4-2	7874	2332	150x150x150	28



Kuva 3. Prosessinohitajalta tilattu massa.

Valittu massa tilataan tehtaan mylläritä, joka valitsee saatavilla olevista resepteistä yleisimmin elementtivalmistuksessa käytetyn massan. Massa kaadetaan kottikärryihin (kuva 3), josta se kuljetetaan laadunvalvontalaboratorioon testattavaksi. Massa valetaan koekuutioihin ja jätetään kovettumaan seuraavaa päivää varten, jolloin muotit puretaan ja valmistellaan seuraavaa käyttökertaa varten.

5.1 Muottien valmistelu

Työn alle otetaan 8 muovista koekappalemuottia, joilla on voimassa oleva kalibrointitodistus. Muotit puhdistetaan mahdollisista betonijäämistä tavallisella puuvillaliinalla, jonka jälkeen muotin pohjassa oleva ”purkutulppa” tukitaan joko teipinpalasella tai pohjaan laitettavalla kumitulpalla ja muotti öljytään huolellisesti. Muottia käsiteltäessä on oltava varovainen, sillä pienetkin vauriot koekappalemuotissa vaikuttavat sen kalibrointiin, mikä tekee siitä käyttökeltottoman.

5.2 Kappaleen työstö

Betoni kaadetaan muottiin ensin puoleenväliin kuvassa 4 esitetyllä tavalla, jonka jälkeen massaa tärytetään huolellisesti niin kauan, kunnes ilmakuplia ei enää muodostu massan pinnalle.



Kuva 4. Koekappalemuotti puoliksi täytettynä.



Kuva 5. Valmis muottiin valettu betoni.

Tärytyksen jälkeen täytetään muotti pintaan asti ja massa tärytetään uudelleen. Täryttämisen jälkeen pinta tasoitetaan muotin tasolle ja ylimääräiset betonijäämät poistetaan kuvassa 5 esitetyllä tavalla. Betonikappaleet peitetään muovikaistaleella, paitsi testausarjan ”epäonnistuneet” kappaleet, jotka jätetään paljaaksi.

5.3 Muotin purku

Muotit puretaan noin 24 h kuluttua valusta. Muotti asetetaan ylösalaisin, jolloin ”purkutulppa” jää näkyviin. Purkutulppaan syötetään paineilmaa, joka saa muotin hitaasti nousemaan ja irtoamaan koekappaleesta. Koekappaleen reunat siistitään, jotta niistä ei aiheutuisi virhelukemia koestusvaiheessa. Lopuksi kappaleet asetetaan niille osoitettuun vesiastiaan, jonka veden lämpötila on 20 °C (±1°C).

5.4 Koekappaleen koestus

Ensimmäisen erän kuivana puristettavat 7 vuorokauden ikäiset kappaleet nostetaan vedestä pois kuivumaan vuorokautta ennen koestusta. Märkänä puristettavat kappaleet nostetaan altaasta vasta puristusvaiheessa. Kappaleet punnitaan ja niistä lasketaan tiheys, ja tiedot syötetään myöhemmin koestuskoneen tietoihin.

Koekappale asetetaan koestuskoneen puristussyliinterien väliin sille osoitettuun kohtaan siten, että kappaleen muottipinnat ovat vastakkain koneen puristuspinnoja vasten; täten varmistetaan puhdas ja tasainen puristuspinna. Kappaleen päälle voidaan halutessa asettaa puristuslevy, joka on näkyvillä kuvassa 6.



Kuva 6. Koestuskoneen puristusyksikkö ja vaihtoehtoinen puristuslevy.

Koneeseen syötetään koestettavien kappaleiden massat ja tiheydet, sekä nimellimitat, jotka ovat 150 mm x 150 mm x 150 mm. Halutessa voidaan asettaa myös kappaleen puristusikä ja tunnus helpottamaan yrityksen omaa kirjanpitoa.

Koneeseen asetetaan vielä puristusnopeus, jonka jälkeen kone aloittaa koestuksen. Kone jatkaa kappaleen puristamista niin kauan, kunnes se havaitsee kappaleessa murtuman (kuva 8); tämän jälkeen kappale ei enää vastaanota siihen kohdistettavaa puristusvoimaa. Kone lopettaa koestuksen ja laskee kappaleen lujuuden. Tätä tulosta verrataan myöhemmin massan tavoitelujuuteen ja saman betoniperheen muihin koestustuloksiin.

Kuvassa 7 oleva ohjausyksikkö ilmoittaa koestuksen loputtua suurimman voiman, minkä koestettu kappale kestää, yksikköinä käytetään MPa:a ja kN:a. Laitteen käyttöliittymän operointi voi olla haasteellista, mikäli koneen toimintaan ei ole aiemmin perehdytty. Vasemmalla olevista näppäimistä voidaan navigoida valikosta toiseen ja alla olevasta rullasta valita esim. tunnukset ja kappaleiden tiedot.



Kuva 7. Koestuskoneen käyttöliittymä.

On kuitenkin tärkeää muistaa, että jokaiselle uudelle koekuutiolle on tehtävä oma tiedosto, jossa on kyseisen kappaleen tiedot. Muuten kone sekoittaa kappaleet keskenään tai pahimmassa tapauksessa kirjoittaa uudet tiedot vanhan kappaleen tietojen päälle.



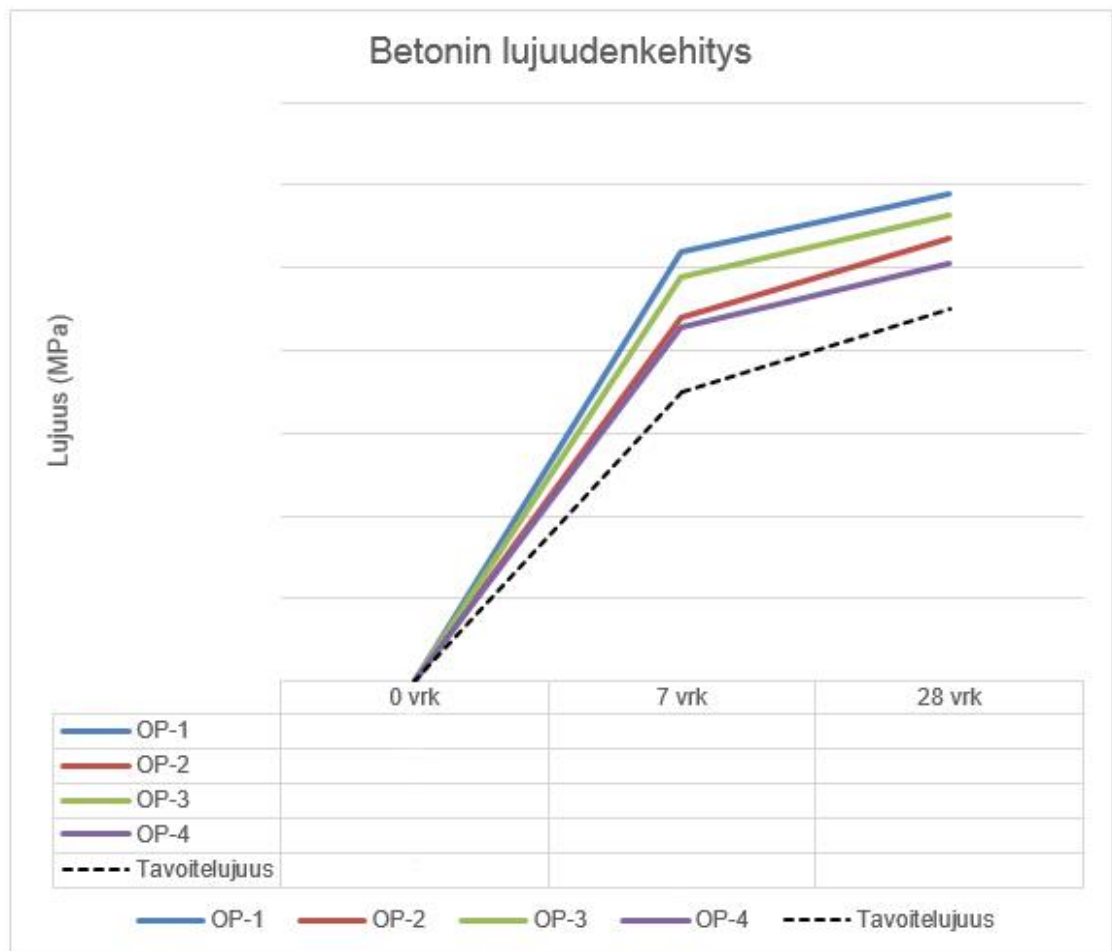
Kuva 8. Koestettu kuutio.

Rikkoutunut kappale hävitetään, sylinterin puristuspinnat puhdistetaan mahdollisista betonijäämistä ja prosessi toistetaan samoin muiden kappaleiden kohdalla, kunnes kaikki koekuutiot on koestettu ja tiedot kerätty tietokoneelle.

Tietokoneelle tieto kulkee dataporttia pitkin keräysohjelmaan, ja siitä myöhemmin suoraan Excel-taulukoilla laadittuihin betoniperhetiedostoihin, jotka analysoivat tulokset ja tarkistavat, täyttävätkö tulokset betoniperheiden läpäisyehdot.

6 TULOKSET

Kokeen taustalle kehiteltiin teoriamalli, jonka mukaan sarjojen tulokset huononevat, mitä useammalle työvirheelle sarjat on altistettu.



Kuvio 1. Betonin lujuudenkehitys ajan funktiona.

6.1 7 vuorokauden tulokset

Kuviosta 1 voidaan havaita, että testisarjan vertailukappale OP-1 ylitti tavoitelujuuden 15,3 % jo 7 vuorokauden iässä. Myöskin OP-3 ylitti tavoitelujuuden 8,2 %. Vastaavasti, OP-2 ja OP-4 jäivät molemmat hieman muita tuloksia heikommiksi.

Taulukoissa vasemmalla oleva sarake sisältää paremman tuloksen omaavan sarjan.

Taulukko 3. Sarjojen keskinäiset erot työstön suhteen 7 vuorokauden iässä.

Ominaisuus	Normaali työstö	Huono työstö	Erotus
Märkä	OP-3-1	OP-4-1	12,3 %
Kuiva	OP-1-1	OP-2-1	5,0 %

Taulukko 4. Sarjojen keskinäiset erot kosteuden suhteen 7 vuorokauden iässä.

Ominaisuus	Kuiva	Märkä	Erotus
Normaali työstö	OP-1-1	OP-3-1	5,8 %
Huono työstö	OP-2-1	OP-4-1	2,8 %

Sarjojen suurin keskinäinen ero oli peräti 17,3 % heikoimman ja vahvimman välillä. Yllä olevista taulukoista voidaan myös havaita, että työstöllä oli suurin vaikutus kappaleiden keskinäisten puristuslujuuksien vertailussa, kuivien kappaleiden ollessa hieman vahvempia märkiin kappaleisiin verrattuna.

6.2 28 vuorokauden tulokset

Kuukauden ikäiset kappaleet olivat jatkaneet kovettumistaan keskimäärin 16 % edellisistä tuloksista ja jopa testisarjan kaikkein huonoimmiksi oletetut kappaleet ylittivät tavoitelujuuden reilusti: testisarjan huonoin, OP4, ylitti tavoitelujuuden 12,4 %, kuten kuvio 1:stä voidaan todeta.

Taulukko 5. Sarjojen keskinäiset erot työstön suhteen 28 vuorokauden iässä.

Ominaisuus	Normaali työstö	Huono työstö	Erotus
Märkä	OP-3-2	OP-4-2	10,4 %
Kuiva	OP-1-2	OP-2-2	9,2 %

Taulukko 6. Sarjojen keskinäiset erot kosteuden suhteen 28 vuorokauden iässä.

Ominaisuus	Kuiva	Märkä	Erotus
Normaali työstö	OP-1-2	OP-3-2	4,1 %
Huono työstö	OP-2-2	OP-4-2	5,4 %

Yllä olevista taulukoista voidaan jälleen huomata, että suurimmat erot syntyivät työstötapaa muuttamalla, kappaleiden kosteudesta huolimatta. Sarjojen väliset erotukset olivat myös hieman tasaantuneet, eikä suuria eroavaisuuksia ryhmien välillä enää esiintynyt.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkimuksen tulos oli entuudestaan pääteltävissä, mutta silti erot sarjojen välillä yllättivät hieman. Oli mielenkiintoista käytännössä tutkia, kumpi ominaisuus vaikuttaa kappaleiden keskinäisiin puristuslujuuksiin eniten: työstö vai kappaleen kosteus. Huomionarvioista on myös se, kuinka johdonmukaisesti tulokset noudattivat ennalta ajateltua lopputulosta, vaikka useampia vertailukappaleita ei päästy valmistamaan. Tulevaisuudessa näitä tuloksia voitaisiin käyttää esim. yrityksen omaa betonin laadunvalvonnan työstöohjetta laadittaessa.

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että laborantin työskentelyllä on suuri vaikutus betonin laadunvalvontaan ja betonin loppupuristuslujuuksiin. Pienet, mitättömiltä tuntuvat asiat, kuten huono tärytys tai märän koekappaleen koestus kiireeseen tai johonkin muuhun syyhyn vedoten, aiheuttavat suuria eroja puristuslujuuksiin. Tässä tutkimuksessa kappaleet kuitenkin täyttivät kaikki niille asetetut ehdot, mutta kaikki betonilaadut eivät ole samanlaisia ja jokainen tehty erä on aina hieman erilainen kuin edellinen.

Tuloksia tarkasteltaessa on kuitenkin otettava huomioon, että käytetyssä betonimassassa on käytetty sideaineena Rapid-sementtiä ja lämmintä vettä, joka on ominaista talvibetonoinnissa. Talvisin on myöskin ollut tapana hieman muuttaa reseptin suhteutuksia. Tällöin saadaan betoni kovettumaan nopeammin, jolloin saavutetaan nopeasti riittävä elementin nostolujuus. Tämä osaltaan vaikuttaa tutkimuksen suuriin loppupuristuslujuuksiin.

Tulevaisuuden toimenpiteet näiden tulosten valossa voivat sisältää esim. tutkimuksen laajentamisen muihinkin betonimassoihin vielä suuremmissa erissä ja normaalisti kovettuvalla sementillä, jolloin saataisiin tallennettua paremmin hajontaa ja laadittua keskiarvot kaikille betonimassoille. Myös erilaisia virheitä voitaisiin testata erikseen tai monien erilaisten virheiden yhteisvaikutusta, jolloin saataisiin laajennettua ”pahinta mahdollista” -sarjaa. Tällä tavoin betonin suhteutukseen voitaisiin syventyä paremmin ja reseptejä parannella, sillä tulosten va-

lossa on selvää, että vaikkakin massa täyttää sille asetetut vaatimukset ja on laadukasta, niin tasapainon löytäminen laadun, normien ja kustannustehokkuuden välillä on tärkeää yrityksen kannalta. Sementti on betonin kallein ainesosa, ja jos reseptien tarkemmalla suhteutuksella saataisiin vähennettyä sementtiä edes 20–30 kg/m³, tarkoittaisi tämä suuria säästöjä vuositasolla pelkästään elementtituotannossa.

LÄHTEET

Ansion Sementtivalimo Oy 2014. ASV Oy. Viitattu 15.4.2014 <http://www.asv.fi/asv-oy>.

Betoniteollisuus Ry. 2014. Mitä betonin valmistuksessa tehdään? Viitattu 09.02.2014 <http://www.betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/mita-betonin-valmistuksessa-tehdaan>

By50 Betoninormit 2012. Helsinki: Suomen betoniyhdistys r.y. & Suomen Rakennusmedia Oy.

Inspecta 2014. TR 14 Valmisbetoni. Viitattu 10.4.2014 <http://www.inspecta.com/Documents/Finland/Ohjeet/tr14valmisbetoni%282007-09-28%292painos2008-06-24.pdf>.

RakMK B4. Betonirakenteet. Ohjeet 2005. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: ympäristöministeriö.

Osa-aineiden laadunvalvontamenettely

	Osa-aine	Tarkastus/testaus	Tarkoitus	Tarkastusten ja testausten vähimmäismäärät
1	Sementit ^a	Kuormakirjan tarkastus ^d ennen purkamista	Varmistaa toimitus tilauksen mukaiseksi ja alkuperältään oikeaksi	Jokainen toimituserä
2	Kiviainekset	Kuormakirjan tarkastus ^{b,d} ennen purkamista	Varmistaa toimitus tilauksen mukaiseksi ja alkuperältään oikeaksi	Jokainen toimituserä
3		Kiviaineksen tarkastus ennen purkamista	Verrata ulkonäköä rakeisuuden, raemuodon ja epäpuhtauksien osalta normaaliin	Jokainen toimituserä Hihnakuuljettimella toimitettaessa määrääjain, jotka määräytyvät paikallisten olojen tai toimitusolosuhteiden perusteella
4		SFS-EN 933-1 mukainen seula-analyysi	Arvioida rakeisuuden standardinmukaisuutta tai muun sovitun luokittelun mukaisuutta	Toimitettaessa ensimmäisen kerran kiviainesta, jonka alkuperä on uusi ja josta toimittaja ei ole antanut ko. tietoja Jos silmämääräinen tarkastus aiheuttaa epäilyä Määrääjain, jotka määräytyvät paikallisten olojen tai toimitusolosuhteiden perusteella ^e
5		Epäpuhtauksien testaus	Arvioida epäpuhtautta aiheuttavat aineet ja niiden määrät	Toimitettaessa ensimmäisen kerran kiviainesta, jonka alkuperä on uusi ja josta toimittaja ei ole antanut ko. tietoja Jos silmämääräinen tarkastus aiheuttaa epäilyä Määrääjain, jotka määräytyvät paikallisten olojen tai toimitusolosuhteiden perusteella ^e
6		Vedenimeytymisen testaus SFS-EN 1097-6 mukaisesti	Määrittää betonin tehollinen vesimäärä	Toimitettaessa ensimmäisen kerran kiviainesta, jonka alkuperä on uusi ja josta toimittaja ei ole antanut ko. tietoja Jos silmämääräinen tarkastus aiheuttaa epäilyä
7	Kevyiden tai raskaiden kiviainesten lisävalvonta	Testaus SFS-EN 1097-3 mukaisesti	Mitata irtotiheys	Toimitettaessa ensimmäisen kerran kiviainesta, jonka alkuperä on uusi ja josta toimittaja ei ole antanut ko. tietoja Jos silmämääräinen tarkastus aiheuttaa epäilyä Määrääjain, jotka määräytyvät paikallisten olojen tai toimitusolosuhteiden perusteella ^e
8	Lisäaineet ^c	Kuormakirjan ja kuljetussäiliön ^d etiketin tarkastus ennen purkamista	Varmistaa toimitus tilauksen mukaiseksi ja asianmukaisesti merkityksi	Jokainen toimituserä
9		SFS-EN 934-2 mukainen tunnistustestaus, esim. tiheys, infrapuna	Verrata valmistajan antamiin tietoihin	Jos on aihetta epäilyyn
10	Irtotavarana jauhe- muodossa olevat seosaineet	Kuormakirjan ^d tarkastus ennen purkamista	Varmistaa, että toimitus on tilauksen mukainen ja sen alkuperä on oikea	Jokainen toimituserä
11		Lentotuhkan hehkutushäviön määrittäminen	Tunnistaa hiilipitoisuuden muutokset, jotka saattavat vaikuttaa huokosilmaa sisältävään betoniin	Jokainen toimituserä, jota käytetään huokosilmaa sisältävään betoniin, jos toimittaja ei ole antanut ko. tietoja
12	Lisäaineet suspensiona ^c	Kuormakirjan ^d tarkastus ennen purkamista	Varmistaa toimitus tilauksen mukaiseksi ja alkuperältään oikeaksi	Jokainen toimituserä
13		Tiheyden määrittäminen	Tasalaatuisuuden varmistaminen	Jokainen toimituserä ja määrääjain betonin valmistuksen aikana
14	Vesi	SFS-EN 1008 mukainen testaus	Varmistaa, että vedessä ei ole haitallisia aineita, ellei vesi ole talousvettä	Käytettäessä ensimmäisen kerran muuta kuin talousvettä Jos on aihetta epäilyyn

^a On suositeltavaa, että näytteet otetaan kerran viikossa jokaisesta sementtityypistä ja varastoidaan testattavaksi, jos on aihetta epäilyyn.

^b Kuormakirjassa tai tuotetiedoissa tulee olla tieto suurimmasta kloridipitoisuudesta sekä luokittelusta alkali-piihapporeaktion suhteen betonin käyttöpaikalla voimassa olevien määräysten mukaisesti.

^c On suositeltavaa, että näytteet otetaan jokaisesta toimituserästä ja varastoidaan.

^d Kuormakirjassa tai sen yhteydessä tulee olla ko. standardin tai määrittelyn vaatimusten mukainen vaatimustenmukaisuusvakuutus tai vaatimustenmukaisuustodistus.

^e Ei ole tarpeen, jos kiviaineksen laadunvalvonta on varmennettu.

(By50 Betoninormit 2012).