



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Elina Pollari

PAIKALLA VALETTAVIEN BETONIRA-  
KENTEIDEN LAADUNVARMISTUS  
TYÖMAALLA

Tekniikka  
2017

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Elina Pollari
Opinnäytetyön nimi	Valettavien betonirakenteiden laadunvarmistus työmaalla
Vuosi	2017
Kieli	suomi
Sivumäärä	57 + 1 liite
Ohjaaja	Martti Laaja

---

Keskityn opinnäytetyössäni paikallavalettavien betonirakenteiden laatuvaatimuksiin sekä laadunvarmistukseen. Teen opinnäytetyöni rakennusurakointiyritykselle, joten perehdyn aiheeseen rakennusurakoitsijan ja työmaan näkökulmaa painottaen. Idea opinnäytetyöni aiheeseen tuli betonirakentamisessa viime aikoina uutisoiduista laajoista laatuongelmista.

Kokoan betonitöitä koskevia laatuvaatimuksia aina betonimassan valmistuksesta betonin jälkihoitoon ja lujuudenkehityksen seurantaan. Lähdemateriaalina käytän betoninormeja, betonirakentamista koskevia säädöksiä, betonia koskevia verkkojulkaisuja sekä työmaan laatutoimenpiteitä käsittelevää kirjallisuutta. Tämän lisäksi selvitän urakoitsijan nykyisiä laadunvarmistusmenetelmiä haastatteleamalla yritystä, jolle opinnäytetyöni teen.

Betonin valmistukseen on määritelty tarkkoja ohjeita sekä toimenpiteitä, joilla valmistusta tarkkaillaan. Myös betonirakentamiseen löytyy yksityiskohtaista työsuoritusohjeistusta. Potentiaalisia vaaranpaikkoja syntyy, kun betonin ominaista koostumusta lähdetään muuttamaan. Tällöin massaan lisättävien aineiden vaikutus on tunnettava tarkoin ja tiedettävä mitä vaatimuksia sillä on betonin työstölle. Haastattelemani yrityksen betonirakentamisen laadunvarmistus perustuu riittävään ennakkointiin sekä töiden tarkkaan suunnitteluun.

## ABSTRACT

Author	Elina Pollari
Title	Quality Assurance of In-Situ Cast Concrete Structures
Year	2017
Language	Finnish
Pages	57+ 1 Appendix
Name of Supervisor	Martti Laaja

---

The topic of the thesis is the quality requirements and quality assurance of in-situ cast concrete structures. The thesis was made for a building contractor therefore the focus on this topic is from the view of contractor and construction site. The idea of this thesis came up from a wide-spread quality problems that has been a news item lately.

The quality requirements of concrete work that include all the stages from manufacturing the concrete mix to after-care and monitoring of the strength development were collected from reference material, such as standards, concrete construction regulations, internet publications concerning of concrete and literature of quality procedures in construction site. The research material also includes an interview on the quality assurance procedures used at the client's company at present.

Strict instructions are specified for the manufacture of concrete and the procedures to survey the manufacturing. There are also detailed instructions for the work performance. Potential risks originate when the characteristic consistency of concrete is changed. In that case one needs to carefully recognize the influence of the substances added to the concrete and know what kind of requirements it sets for the working methods of concrete. The quality assurance in concrete construction in the client company is based on sufficient forethought and careful planning the work.

---

Keywords	Concrete structures, concrete casting, quality requirements, quality assurance
----------	--

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	8
1.1	Työn tausta.....	8
1.2	Työn tavoitteet ja rajaus.....	8
1.3	Tutkimusmenetelmät.....	9
2	PAIKALLA VALETTAVAT BETONIRAKENTEET .....	10
3	LAADUN LÄHTÖKOHDAT .....	13
3.1	Laadun määrittäminen.....	13
3.2	Betonin valmistajan vastuut.....	15
3.2.1	Koekappaleiden ottaminen valmistajan toimesta.....	18
3.3	Työmaan toimenpiteet .....	22
3.3.1	Muottityöt.....	23
3.3.2	Raudoitteet .....	25
3.3.3	Betonoinnin suunnittelu .....	28
3.3.4	Betonointi.....	30
3.3.5	Betonointiolosuhteet .....	33
3.3.6	Jälkihoito ja lujouden kehitys.....	35
3.3.7	Koekappaleiden ottaminen betonista työmaalla.....	37
3.3.8	Betonin rakennuskosteuden poistaminen.....	38
4	HUOKOSTIMET JA BETONIN ILMAMÄÄRÄN MITTAUS .....	40
4.1	Huokostimet.....	40
4.2	Betonin ilmamäärän mittaussuunnitelmat.....	42
4.2.1	Ilmamäärille asetetut rajoitukset .....	43
4.3	Ilmamäärien mittausten suorittaminen.....	46
5	TEHTÄVÄSUUNNITELMA OSANA LAADUNVARMISTUSTA .....	48

6	YRITYKSEN NYKYISET LAADUNVARMISTUSMENETELMÄT	
	BETONOINTITÖIDEN OSALTA.....	51
6.1	Betonitöiden suunnittelu ja dokumentointi.....	51
6.1.1	Koekappaleiden ottaminen.....	52
6.2	Betonitöiden työryhmän ohjaus.....	52
6.3	Betonitöissä ilmenneet ongelmat.....	53
7	YHTEENVETO JA LOPPUPÄÄTELMÄT.....	54
8	LÄHTEET.....	56

LIITE

## KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

<b>Kuvio 1.</b> Vaakarakenteen betonin systemaattinen tiivistys.	30
<b>Kuvio 2.</b> Huokostimien käyttäytyminen veden vaikutuksesta.	38
<b>Kuvio 3.</b> Betonin puristuslujuus eri ilma- ja sementtimäärien suhteutuksella.	40
<b>Taulukko 1.</b> Betonimassassa käytettävän veden sallittu kloridipitoisuus.	16
<b>Taulukko 2.</b> Tarkastetun valmistuksen näytteiden vähimmäismäärä vaatimustenmukaisuuden arvioinnissa.	18
<b>Taulukko 3.</b> Ehto, jolla tarkistetaan, onko keskihajonta jakson aikana muuttunut merkittävästi.	20
<b>Taulukko 4.</b> Tankojen sisäpuoliset taivutussäteet.	25
<b>Taulukko 5.</b> Notkeusluokan määrittelemä tärytysaika betonille rasitusluokissa X0 ja XC1.	31
<b>Taulukko 6.</b> Notkeusluokan määrittelemä tärytysaika betonille rasitusluokissa XC2-XC4, XS, XD, XF ja XA.	31
<b>Taulukko 7.</b> Arvosteluerät ja arvosteluerää kohden tehtävien kelpoisuuskoekappaleiden vähimmäismäärät tarkastamattomassa valmistuksessa.	36
<b>Taulukko 8.</b> Betonin ilmamäärä [%] jäätymis-sulamisrasituksen alaisissa rakenteissa, kun suunniteltu käyttöikä on 50 vuotta.	42
<b>Taulukko 9.</b> Betonin ilmamäärä [%] jäätymis-sulamisrasituksen alaisissa rakenteissa, kun suunniteltu käyttöikä on 100 vuotta.	42
<b>Taulukko 10.</b> Tiivistettävän betonin vähimmäisilmamäärät rasitusluokissa FX1 ja FX3, kun kiviaineksen ylänimellisraja on D.	43
<b>Taulukko 11.</b> Itsetiivistyvän betonin vähimmäisilmamäärät rasitusluokissa FX1 ja FX3, kun kiviaineksen ylänimellisraja on D.	43
<b>Taulukko 12.</b> Betonimassan vähimmäisilmamäärävaatimukset ja ohjeellinen enimmäisilmamäärä eri pakkasenkestävyysluokissa, kun kiviaineksen maksimiraekoko $\geq 16$ mm.	44

**LIITELUETTELO****Liite 1.** Betonointipöytäkirja

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Betonirakentamisella on pitkä historia, mutta yhä edelleen työmailla törmätään tilanteisiin, joissa laatuvaatimukset eivät betonirakenteiden osalta täyty. Vuonna 2016 Suomessa on uutisoitu rakennuskohteista, joissa betonin lujuudessa on havaittu vakavia puutteita, mikä puolestaan on johtanut massiivisiin lisäkustannuksiin sekä aikataulujen venymiseen. Lujuusongelmien syyksi on epäilty liian suuria huokostinmääriä betonissa.

Laatuvaatimukset kokonaisuudessaan täyttävä betonirakenne on monen tekijän summa. Kaikki lähtee onnistuneesta suunnittelusta jolloin valitaan käyttötarkoitukseen nähden laadukas, mutta myös kustannustehokas rakenne. Betonivalmistaja tuottaa suunnitelmien mukaisen betonimassan ja suorittaa omat laadunvarmistuksensa tehdasolosuhteissa. Betonointityöt on suoritettava käytettävän betonimassan asettamat vaatimukset huomioon ottaen. Myös ennen ja jälkeen itse betonoinnin tapahtuvat työvaiheet on suoritettava huolellisesti suunnitelmien mukaan, jolloin saavutetaan vaatimusten mukainen rakenne. Näin vältetään puutteellisten rakenteiden korjauksilta ja purkutoimenpiteiltä, ja edelleen aikataulujen venymiseltä sekä kustannusten lisääntymiseltä.

## 1.2 Työn tavoitteet ja rajaus

Opinnäytetyössäni perehdyn betonirakenteiden laadunvarmistukseen, painottuen työmaan toimenpiteisiin valettavien betonirakenteiden toteutuksessa. Tarkastelen valettaville betonirakenteille asetettuja laatuvaatimuksia sekä kuinka laadun toteutuminen työmaaolosuhteissa saadaan varmistettua. Käyn läpi myös huokostimien käyttöä betonissa sekä betonin ilmamääränmittausta.



### **1.3 Tutkimusmenetelmät**

Teen opinnäytetyöni Vaasalaiselle rakennusurakointiyritykselle. Selvitän yrityksessä tehtävän haastattelun avulla minkälaiset laadunvarmistustoimenpiteet yrityksessä on nykyään käytössä. Peilaamalla yrityksen nykyisiä laadunvarmistuksen käytäntöjä ja toimenpiteitä betoninormeihin ja virallisiin ohjeistuksiin, voidaan arvioida onko laadunvarmistuskeinoja mahdollista tai syytä tehostaa.

## 2 PAIKALLA VALETTAVAT BETONIRAKENTEET

Paikallavalubetonia käytetään usein rakennusten lattioihin, välipohjiin, väliseiniin sekä muihin runkorakenteisiin ja perustuksiin. Paikallavalu tarkoittaa betonoinnin suorittamista työmaalla. Tämän lisäksi muottityöt sekä raudoitteiden asennus ovat osa paikallavalettavaa betonirakennetta. Itse betonimassa valmistetaan betoniasemilla, jonka jälkeen se kuljetetaan säiliöautolla työmaalle. /1–3/

Betonimassa koostuu sementin, kiviaineksen ja veden sekoituksesta. Pääosin kalkkikivestä muodostuva sementti on betonin tärkein elementti. Vesi ja sidosaineena toimiva sementti reagoivat keskenään, muodostaen hydrataatioreaktion, jolloin massa kovettuu. Reaktion myötä runkoaineena toimiva kiviaines ja betonin raudoitteet tarttuvat betonimassaan. Kiviaines muodostaa suurimman osan betonimassasta. Karkeampana kiviaineena voidaan käyttää esimerkiksi sora- ja kalliomurskettä, keinokiviaineita ja josain määrin myös kierrätyskiviainesta. Hienona kiviaineksena, joka toimii betonin seosaineena, voidaan käyttää esimerkiksi filleriä tai keinotekoisia aineita kuten lentotuhkaa tai masuunikuonaa. Mikäli betonille on asetettu erityisiä vaatimuksia massan tai valmiin kovettuneen betonin suhteen, lisätään betonimassaan pieniä määriä lisäaineita, joilla sen ominaisuuksia voidaan säädellä. /2–4/

Betonin kovettuminen halutulla tavalla vaatii oikean lämpötilan, kosteuden sekä betonin pinnan suojauksen ulkoisilta rasituksilta. Nämä tekijät varmistetaan huolellisella jälkihoidolla. Käytännössä tämä tarkoittaa esimerkiksi betonin kastelua, pinnan peittämistä tai jälkihoitoainekäsittelyä veden liian nopean haihtumisen estämiseksi. /5/

Valmiilla betonirakenteella on erittäin hyvä puristuslujuus, aina 30 MPa:sta ylöspäin. Mitä korkeampi vesisementtisuhde on, sitä lujempaa betonista saadaan. Korkealujuusbetonilla puristuslujuus on 60 – 100 MPa:n välillä ja erikoislujien betonien vastaavasti 150 – 250 MPa. Betonirakenteet vaativat aina raudoitteita ottamaan vastaan vetoräsuksen, sillä betonin vetolujuus on vain noin kymmenesosan verran sen puristuslujuu-

desta. Yleisimmin käytettyjen harjaterästen lisäksi betonimassaan voidaan lisätä teräskuituja tai polymeerikuituja vastaanottamaan vetorasitusta. Vetokestävyyden lisäksi kuiduilla voidaan lisätä rakenteen leikkaus- ja taivutuslujuutta sekä iskunkestävyyttä /3, 4/.

Betoni voidaan valaa kosteissa tiloissa ja jopa veden alla. Tämän mahdollistaa veden toimiminen kovettumisreaktion toisena raaka-aineena. /2/ Myös kovettunut betoni kestää hyvin kosteutta. Mikäli betoni kastuu normaalista poikkeavan paljon, esimerkiksi vuototapauksissa, voidaan se yleensä palauttaa ennalleen kuivatuksella, toisin kuin useimmat muut rakennusmateriaalit. Betoni ei myöskään kerää homekasvustoa, sillä se on emäksinen ja epäorgaaninen rakennusmateriaali. /3/

Kun betonirakennetta lähdetään suunnittelemaan, määritellään sille käyttöikä. Yleisimmin käyttöikäksi lasketaan 50 tai 100 vuotta. Määritellyn iän toteutuminen vaatii rakenteen asian mukaista huoltoa ja kunnossapitoa. Betonirakenteen elinkaarta voidaan useimmiten jatkaa peruskorjaustoimenpiteillä käyttöiän täytyttyä. /4/

Toinen asia mikä betonirakennetta suunniteltaessa on otettava huomioon, on rasisitusluokat. Rasisitusluokat on jaettu kuuteen eri ryhmään. Ensimmäisen luokkaan X0 kuuluvat betonirakenteet, joilla ei ole korroosio- tai syöpymisrasitusriskiä. Toiseen luokkaan XC kuuluvat rakenteet, jotka ovat karbonatisoitumisesta aiheutuvan korroosion alaisia. Luokkaan XD kuuluvat rakenteet korroosiorasituksella, jossa kloridit ovat muusta kuin merivedestä peräisin. Vastaavasti meriveden kloridien aiheuttaman korroosion alaisena olevat rakenteet kuuluvat omaan rasisitusluokkaansa XS. Viides rasisitusluokka XF käsittää jäätymis- ja sulamisrasituksen alaiset rakenteet. Viimeiseen luokkaan XA lukeutuu rakenteet, joihin kohdistuu kemiallista rasisitusta. Kaikki luokat ensimmäistä (X0) lukuun ottamatta jaotellaan vielä ympäristön määrittelemien olosuhteiden mukaan, käsittäen esimerkiksi rakenteeseen kohdistuvan kosteusrasituksen määrän. /4/ Kun rakenteen rasisitusluokat tunnetaan, pystytään määrittämään rakenteen vaatimukset sementin laadun ja vähimmäismäärän suhteen, vesisementtisuhde, seosainei-

den osuus sekä rakenteen lujuusluokka. Näiden lisäksi saadaan tarvittaessa selville betonin ilmamäärä sekä F-luku, eli luku joka kertoo betonin kyvystä vastustaa pakkasra-  
situsta sekä P-luku, luku joka kertoo betonin pakkas-suolarasituksen vastuksesta. /6,  
25/

### 3 LAADUN LÄHTÖKOHDAT

#### 3.1 Laadun määrittäminen

ISO 8402 -standardin mukaan laatu on määritelty ”tuotteen tai palvelun niiksi piirteiksi ja ominaisuuksiksi, joilla tuote tai palvelu täyttää asetetut tai oletettavat tarpeet”. Käsittelemällä laatuksittua tuotteen tai palvelun laatuna, nähdään se usein asiakkaan toiveiden ja odotusten vastaavuutena. Asiakas ei useinkaan koe laatua teknisten seikkojen kautta, mutta tästä huolimatta laatu pohjataan pitkälti asiakkaan kokemaan. Asiakkaan toiveiden vastaavuuden onnistumista voidaan mitata suunnittelun laadulla, joka määrittää tuotteen ominaisuudet. Yritys mieltää laadun myös valmistusprosessin onnistumisena, tuottavuutena sekä kustannusten pysymisenä mahdollisimman alhaisina. /14/

Rakentamisessa eri osapuolet pyrkivät toiminnallaan vastaamaan asiakkaan asettamiin tavoitteisiin. Rakennuttaminen, suunnittelu, tuotanto sekä materiaalit muodostavat ketjun jonka toiminta ja toiminnot ohjautuvat asiakaslähtöisten toiveiden ja vaatimusten pohjalta. Vaatimukset koostuvat rakennuksessa tapahtuvista toiminnoista, asiakkaan tarpeista, viranomaisvaatimuksista sekä oletuksesta, että rakennus on terveellinen ja turvallinen. Jotta suunnitelmat saadaan vastaamaan vaatimuksia, edellyttää se riittävää osapuolten välistä kommunikointia. Vastaavasti suunnitelma-asiakirjojen ristiriidattomuus, virheettömyys sekä suunnitelmien oikea-aikaisuus toimivat osana tuotannon laadun saavuttamista. Muita tuotannon laadun tekijöitä ovat urakoitsijan työ, toimittajat, materiaalit, rakennustarvikkeet sekä järjestelmät. /14/

Kaikelle rakentamiselle määräytyy laatuvaatimuksia yleisistä, aina voimassa olevista RT-korteista, RYL2000-sarjasta, sekä ohjeista ja normeista. /13/ RT-kortisto on Rakennustieto-palvelun tarjoama ja julkaisema tietopalvelu rakennusalan ammattilaisille. Kortistosta löytyy tuotetietoja, laatuvaatimuksia, tietoja rakenteista sekä alaa koskevia säännöksiä. RYL, eli rakentamisen yleiset laatuvaatimukset, on eri rakennusosiin ja-

oteltu julkaisu, joka käsittelee rakentamisen- ja kiinteistönpidon hyvää suorittamista-paa ja teknisiä laatuvaatimuksia. Betonirakenteita ja -rakentamista käsitellään Runko RYL 2010 -julkaisussa. /15/

Suomen Betoniyhdistys on laatinut betonirakenteiden suunnittelua ja rakentamista koskevan kirjasarjan. By 65 Betoninormit 2016 -julkaisu ohjeistaa suunnittelijoita rakenteiden käyttöikämitoituksessa sekä säilyvyysuunnittelussa. Rakennusurakoitsijoita ja betonin valmistajia koskevat ohjeet ja määräykset betonin valmistuksesta sekä käytettävistä materiaaleista. Betoninormit käsittelevät myös laadunvalvontaa sekä laadunvalvonnan osoittamista, mikä palvelee kaikkia hankkeen osapuolia. Betoniyhdistys on julkaissut myös useita muita julkaisuja, jotka ovat keskittyneet esimerkiksi betonirakenteiden suunnitteluohjeisiin, yksityiskohtaisemmin tiettyihin rakenteisiin tai erilaisten betonirakenteiden korjausohjeisiin. /16/

Yleisten ohjeiden ja normien lisäksi on noudatettava kohdekohtaisia laatuvaatimuksia, jotka määrittellään kohteen työselostuksessa ja piirustuksissa. Kyseisistä toteutusasiakirjoista ilmenee myös toteutusluokka, jolla laadunvarmistus tulee suorittaa. Mikäli käytettävä toteutusluokka on 2. tai 3., täytyy työmaalta löytyä erillinen laatusuunnitelma. /4, 13/

Laatusuunnitelma koostuu kolmesta osasta. Ensinnä laatusuunnitelmaan kirjataan pääurakoitsijan toimesta projektiorganisaatio vastuineen sekä tärkeimmät menettelytavat hankekohtaisesti. Toisessa osassa urakoitsija osoittaa keinot, jolla se saavuttaa vaaditut laadutavoitteet. Ainoastaan laaduntarkistaminen ei takaa laatua, vaan laatu saavutetaan ennakoivalla laadunohjauksella. Nämä sisäisen laadunvarmistuksen keinot dokumentoidaan laatumatriisiin, joka liitetään osaksi laatusuunnitelmaa. Viimeisenä laatusuunnitelmaan liitetään vielä tarkastusasiakirja, josta ilmenee mittaukset, kokeet, mallit, dokumentoitavat tarkastukset sekä erinäiset katselmukset. /14, 17/

### 3.2 Betonin valmistajan vastuut

Betonin valmistajan on tunnettava paitsi oma tuotevalikoimansa, mutta myös asiakkaansa toiveet ja vaatimukset niin valmiille rakenteelle kuin betonimassan ominaisuuksille ja työstettävyydelle. Valmistajalla tulee olla tekninen tietämys betonista, sen ominaisuuksista ja työstettävyydestä, jolloin se kykenee auttamaan sopivimman betonin valinnassa. Lopulliseen valintaan vaikuttavat niin suunnittelijoiden kuin työmaan asettamat vaatimukset betonin suhteen. /2/

Rakennesuunnittelija määrittelee valmiin betonirakenteen vaaditut ominaisuudet kohteen asiakirjoissa. Vaatimukset asetetaan rakenteen rakenneluokalle, lujuudelle, rasitusluokalle ja käyttöiälle. Näiden lisäksi on huomioitava betonimassan kiviaineen maksimiraekoko, suojabetonipeitteen vähimmäispaksuus, jännittämislujuus sekä vaatimukset pintaluokkien suhteen. Vastaavasti työmaalla tarkastellaan olosuhteet, joissa betonointi tullaan tekemään, käytettävät muottikalustot, kuinka betoni valetaan ja saadaan siirrettyä kätevimmin työmaan sisällä, kuinka nopeasti rakenteet tulee saada kuivaksi ja minkä verran työlle on laskettu aikaa kohteen aikataulussa. Betonin ominaisuuksille asetettujen vaatimusten pohjalta rakennesuunnittelija, työmaa ja valmistaja määrittelevät yhteistyössä kohteessa käytettävän betonin laadun. /2/

Betoniin käytettävien raaka-aineiden tulee olla standardien mukaisia. Yleensä raaka-aineiden mukana toimitetaan vaatimustenmukaisuustodistus tai vaatimustenmukaisuusvakuus, mikä on osoitus siitä, että raaka-aineiden tuotantovaiheessa suoritetaan asianmukaista laadunvalvontaa. Näin betoninvalmistaja voi varmistua siitä, että betoniin käytettävät raaka-aineet ovat sen mukaisia, kuin on määritelty. Betoninvalmistaja varmistuu raaka-aineiden olevan määritellyn mukaisia toimittajan antaman todistuksen perusteella, sekä tarkistamalla kuorman oikeellisuuden vastaanoton yhteydessä. Mikäli todistuksia tai vakuuksia ei ole toimitettu, on betoninvalmistaja itse velvollinen todentamaan raaka-aineiden olevan standardien vaatimuksien täyttäviä. /4/

Raaka-aineiden toimituksen jälkeen betoninvalmistaja on velvollinen huolehtimaan siitä, että raaka-aineet säilyvät tasalaatuisina rakenteisiin päätymiseen saakka. Toimiuksista tulee pitää kirjaa ja huolehtia materiaalien asianmukaisesta varastoinnista. Valmistaja on velvollinen testaamaan kiviaineksen vesipitoisuuden ja tekemään mahdolliset testaukset raaka-aineiden sellaisista ominaisuuksista, joiden standardien mukaisuudesta ei ole täyttä varmuutta. /4/

Betoniin käytettävän kiviaineksen on aina täytettävä niitä koskevien standardien vaatimukset. Standardi SFS-EN 12620 käsittelee muun muassa kiviaineksen geometrisia, kemiallisia ja fysikaalisia vaatimuksia ja standardi SFS 7003 puolestaan kiviaineksen vaatimuksista ja ominaisuuksista eri käyttökohteissa. Standardien asettamat vaatimukset on täytyttävä myös silloin, jos betoninvalmistaja toimii itse kiviaineen tuottajana. /4, 10, 11/

Varastointitiloista, valvontalaitteista, sekoittimista, sekä punnitus- ja annostelulaitteista on asetettu vaatimukset standardissa SFS-EN 206. Betoninvalmistaja on velvollinen varmistamaan, että laitteisto on moitteettomassa kunnossa standardin edellyttämällä tavalla ja tekemään näille säännöllisiä testauksia ja tarkastuksia. Myös kuljetuskaluston sekä tehdastilojen kuntoa tulee ylläpitää ja huoltaa niin, etteivät ne vaikuta betonin laatuun tai määrään heikentävästi. By 65 Betoninormit 2016 -painoksessa on taulukoitu eri toimenpiteet koskien laitteiden valvontaa sekä betonin ominaisuuksien sekä valmistusmenetelmien suhteen. Taulukkoon on kirjattu myös jokaisen tarkastuksen tarkastustiheys, jotka betoninvalmistaja on velvollinen suorittamaan. /4/

Sekoitettaessa betonia osa-aineiden on jakauduttava tasaisesti ja massan saavutettava määritelty notkeus. Betoninvalmistajan on käytettävä sekoittimia, joilla saadaan aikaan tasalaatuinen massa. Myös betonin kuljetukseen käytettävien pyörintäsäiliöiden ja autosekoittimien on oltava toiminnoiltaan sellaisia, että betonimassa pitää tasalaatuisuutensa valuun saakka. Kuljetuslaitteista tulee myös löytyä asianmukainen mittakalusto työmaalla lisättävien lisäaineiden mittaukseen. /4/



Betonin osa-aineet annostellaan punnitsemalla tai mahdollisesti mittaamalla tilavuus, annosteluohjeen osoittamien määrien mukaisesti. Veden, sementin, kiviainesten kokonaismäärän sekä seosaineiden joita käytetään enemmän kuin 5 % massasta, sallittu poikkeama tavoitemäärästä on  $\pm 3$  %. Mikäli seosaineita käytetään 5 % tai vähemmän massan määrään nähden, on sallittu poikkeama  $\pm 5$  % tavoitemäärästä. Kun kiviaineiden annostelu toteutetaan ohjeella 200 kg/betoni- $m^3$  saa kiviaineiden poikkeama sallitusta määrästä olla  $\pm 6$  % . /4/

Betonin sekoitukseen käytettävä vesi ei saa olla liian kloridipitoista. By 65 Betoninormiin on määritelty kloridipitoisuuden raja-arvot (Taulukko 1). /4/

**Taulukko 1.** Betonimassassa käytettävän veden sallittu kloridipitoisuus. /4/

Loppukäyttö	Suurin kloridipitoisuus [mg/l]
Jännitetty betoni tai injektioaasti	500
Raudoitettu tai metalliosia sisältävä betoni	1000
Raudoittamaton tai metalliosia sisältämätön betoni	4500

Betonin valmistukseen voidaan käyttää talousvettä ilman rajoituksia. Pohjavettä, luonnon vettä sekä teollisuuden jätevettä voidaan käyttää, mikäli niiden soveltuvuus on ensin testattu. Meri- ja murtovedet ovat usein hyvin kloridipitoisia, joten ne eivät yleensä sovellu raudoitettuun tai metalliosia sisältävän betonin valmistukseen. Betonteollisuuden ylijäämävedeksi kutsutaan vettä, joka jää yli betonia valmistettaessa tai valmiista ylijäämävedeksi betonista. Myös betonisekoittimien ja -pumppujen huuhtelussa sekä kovettuneen betonin vesisuihkuputsauksessa tai sahausessa käytetty vesi lukeutuu betonteollisuuden ylijäämävedeksi. Kyseinen kierrätysvesi on kerättävä altaista, jotka jakavat kiintoaineksen tasaisesti, eivätkä päästä sitä veteen enempää kuin 1 % verran betonin kokonaiskiviainesmäärästä. Kierrätysvettä voidaan käyttää sekoitusvetenä, mikäli ollaan varmoja sen vaikutuksesta valmiin betonin ominaisuuksiin. Viemärivettä ei voi käyttää betonin sekoitusvetenä. /4, 12/

Betonin lisättävien lisäaineiden tulee olla CE-merkittyjä tai täytettävä standardissa SFS-EN 934-1 määritellyt laatuvaatimukset. Mikäli käytettävistä lisäaineista ei ole varmennustodistusta, täytyy kelpoisuus pystyä todentamaan muilla keinoilla. Myös eri lisäaineiden yhteensopivuus samassa massassa on tarkistettava alkutesteissä. Lisäaineita lisätään betoniin pääsääntöisesti valmistajan antamien annosteluohjeiden mukaisesti. Mikäli ohjeista poiketaan, on huomioitava, ettei lisäaineita saa lisätä yli 50 grammaa sementtikiloa kohden. Suurempia määriä voidaan lisätä ainoastaan, mikäli sen vaikutus valmiin betonin ominaisuuksiin varmasti tunnetaan. Lisäaine tulee sekoittaa betonin valmistukseen käytettävään veteen ennen sen lisäystä massaan, mikäli lisäaineen määrä on alle 2 kg sementtikiloa kohden. Betonin vesi-sementtisuhde on otettava huomioon, mikäli käytössä on yli 3 litraa nestemäistä lisäainetta betonikuutiota kohden. /4/

### **3.2.1 Koekappaleiden ottaminen valmistajan toimesta**

Betonin valmistaja on velvollinen suorittamaan jatkuvaa laadunvalvontaa valmistuksen edessä ja tarkistamaan betonilta vaadittujen ominaisuuksien toteutumisen. Betonin valmistaja vastaa siitä, että betonin lujuudentestaukseen kuuluvat alkutestaukset suoritetaan. Alkutestauksen avulla varmistetaan, että betoni vastaa sille asetettuja vaatimuksia, niin massan kuin kovettuneen betoninkin suhteen. Alkutestaus on tehtävä aina, kun käytetään uudenlaista betonin koostumusta, josta valmistajalla ei ole aiempaa pitkäaikaista kokemusta tai kun käytettävät osa-aineet muuttuvat merkittävästi. /4/

Koekappaleet ja näytteet voidaan ottaa yksittäisten betonikoostumusten sijaan myös betoniperheistä, jotka muodostuvat saman tyyppisistä betonikoostumuksista ja joiden laatumuutokset ovat riippuvaisia mahdollisimman harvoista tekijöistä. Betoniperheen keskivertoa parhaiten kuvaava tai eniten valmistettu betonikoostumus valitaan vertailubetoniksi tutkittavan betonin rinnalle. Alkutestauksessa määritetään betonin tavoitelujuus, jonka pohjalta tulokset muunnetaan vastaamaan vertailubetonin lujuutta. /4/

Alkutestauksessa otetaan vähintään yhdeksän koekappaletta yksittäisestä betonista, kun kolmesta betoniannoksesta otetaan kustakin kolme näytettä. Betoniperheen yksittäinen koostumus voidaan testata yhdestä annoksesta kolmella näytteellä, mutta on

huolehdittava siitä, että kaikki perheeseen kuuluvat koostumukset tulee testattua. Annoksista otettujen näytteiden keskiarvo merkataan annoksen lujuudeksi ja vastaavasti betonin alkutestien lujuus määräytyy annosten tulosten keskiarvosta. Alla olevassa taulukossa (Taulukko 2.) on määritelty vaadittu näytteidenottomäärä eri valmistusvaiheissa. Valmistuksen alkuvaiheen testauksesta puhutaan, kun käytettävissä on 35 näytteen tulokset. Tämän jälkeen alkaa jatkuvan valmistuksen vaihe, mikä tarkoittaa yli 35 näytteen saamista korkeintaan 12 kuukauden sisällä. Alkuvaiheen testaukseen siirrytään uudelleen, mikäli testatun betonikoostumuksen valmistus on ollut keskeytettynä yli 12 kuukauden ajan. /4/

**Taulukko 2.** Tarkastetun valmistuksen näytteiden vähimmäismäärä vaatimustenmukaisuuden arvioinnissa. /4/

Valmistus	Näytteiden vähimmäismäärä	
	Valmistuksen ensimmäiset 50 m <sup>3</sup>	Sen jälkeen <sup>(a)</sup> , kun on valmistettu ensimmäiset 50 m <sup>3</sup>
Alkuvaihe (kunnes on saatu vähintään 35 testaustulosta)	3 näytettä	1 näyte / 200 m <sup>3</sup> tai 1 näyte / 3 tuotantopäivää
Jatkuva <sup>(b)</sup> (kun käytettävissä on vähintään 35 testaustulosta)		1 näyte / 400 m <sup>3</sup> tai 1 näyte / 5 tuotantopäivää <sup>(c)</sup> tai 1 näyte / kalenterikuukausi

<sup>a)</sup> Näytteenotto on kohdistettava koko valmistukseen. Näytteiden määrän ei tarvitse kuitenkaan olla suurempi kuin 1 näyte 25 m<sup>3</sup>:ä kohden.

<sup>b)</sup> Jos arviointijakson viimeisen 15 tai useamman testaustuloksen keskihajonta ylittää taulukon 3. mukaisen  $s_n$ :n ylärajat, näytteiden lukumäärää on lisättävä vastaamaan tuotannon alkuvaiheen näytteiden lukumäärää, kunnes on saatu seuraavat 35 testaustulosta. Vaatimustenmukaisuus arvioidaan kuitenkin edelleen jatkuvan valmistuksen ehdoilla.

c) Tai jos 7 perättäisen kalenteripäivän aikana on yli 5 tuotantopäivää, kerran kalenterivii-kossa.

Betoninäytteet valitaan satunnaisesti ja ne kerätään tuoreesta massasta heti sekoittami-sen jälkeen. Itse puristuslujuus suoritetaan 28 vuorokautta vanhoille koekappaleille. Jos betonin käyttökohde on erityinen tai varastointi olosuhteet ovat olleet poikkeuksel-liset, voidaan puristuslujuuden mittausikä määrittää toisin. Jotta betonin vaatimuksen-mukaisuudesta voidaan varmistua, täytyy koekappaleiden täyttää tietyt ehdot (Kaava 1). Seuraava ehto tulee täyttyä kaikkien yksittäisten testaustulosten kohdalla:

$$f_{ci} \geq (f_{ck} - 4) \text{ MN/m}^2, \text{ jossa } f_{ci} = \text{yksittäinen puristuslujuustulos} \quad (1)$$

$f_{ck} = \text{kyseisen betonin nimellisljuuus (K-ljuuus)}$

Testattaessa betoniperheen puristuslujuutta, kustakin kolmesta annoksesta otettavat kolme näytettä muodostavat omat ryhmänsä. Kunkin ryhmän on täytettävä niille mää-ritelty ehto (Kaava 2) valmistuksen alkuvaiheessa. Jatkuvan valmistuksen vaiheessa pidetään arviointijakso, jolloin kuuden kuukauden aikavälille saadaan 15 – 35 koetu-losta. Arviointijaksolla saatujen betoniperheen tulosten keksiarvon on myös täytettävä alla esitetty ehto (Kaava 3). /4/

$$f_{cm} \geq (f_{ck} + 4) \text{ MN/m}^2, \text{ jossa} \quad (2)$$

$f_{cm} = \text{kolmen peräkkäisen puristuslujuustuloksen keskiarvo}$   
 $f_{ck} = \text{kyseisen betonin nimellisljuuus (K-ljuuus)}$

$$f_{cm} = (f_{ck} + 1,48 \sigma) \text{ MN/m}^2, \text{ jossa} \quad (3)$$

$f_{cm} = \text{arvostelujakson aikana saatujen koetulosten keskiarvo}$   
 $\sigma = \text{keskihajonta, joka lasketaan kaavalla 4}$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cm})^2}{n}}, \text{ jossa } f_{ci} = \text{yksittäinen koetulos} \quad (4)$$

$n = 35$

Alkuvaiheen testauksen 35 viimeisimmän koepalan tuloksista lasketaan keskihajonta. Näytteet on otettava yli kolmen kuukauden ajanjaksolla. Kyseinen keskihajonta toimii vaatimuksenmukaisuuden varmistamisen apuna ensimmäisellä arviointijaksolla, jatkuvan valmistuksen alettua. Alla olevassa taulukossa (Taulukko 3.) on esitetty testaustulosten lukumäärään suhteutetut ehdot keskihajonnan muuttumisen suhteen. Mikäli keskihajonta muuttuu merkittävästi, on laskettava uusi keskihajonta ensimmäisen arviointijakson vähintään 35 koetuloksesta. Vastaavasti uusi keskihajonta toimii seuraavan arviointijakson vaatimustenmukaisuuden tarkistamisessa. /4/

**Taulukko 3.** Ehto, jolla tarkistetaan, onko keskihajonta jakson aikana muuttunut merkittävästi. /4/

Perheestä arviointijakson aikana saatu- jen testaustulosten lukumäärä n [kpl]	$S_n$ :n raja-arvot
15...19	$0,63 \sigma \leq s_n \leq 1,37 \sigma$
20...24	$0,68 \sigma \leq s_n \leq 1,31 \sigma$
25...29	$0,72 \sigma \leq s_n \leq 1,28 \sigma$
30...34	$0,74 \sigma \leq s_n \leq 1,26 \sigma$
$\geq 35$	$0,76 \sigma \leq s_n \leq 1,24 \sigma$

Koekappaleet ovat halkaisijaltaan 150 millimetriä ja korkeudeltaan 300 millimetrisiä lieriöitä. Näistä saadut puristuslujuustulokset muutetaan 150 millimetrin kuutiotuloksiin betoninormista löytyvän muuntotaulukon avulla. Mikäli kokeeseen käytetään 100 millimetrin kuutiota, jaetaan tulos kertoimella 1,03, jotta tulos saadaan muutettua vastaamaan 150 millimetrin kuutiolujuutta. /4/

Puristuslujuus testataan koneilla, jotka on tarkastettu standardin SFS-EN 12390-4 osoittamalla tavalla. Toimintatarkastuksissa tarkistetaan kalibroinnit voiman näytön tarkkuudelle, voiman välitykselle, levyjen tasomaisuudelle sekä kuormitusnopeuden säädölle. Kuormituslevyjen kovuus- ja karheustasot on myös määritelty standardissa. Koekappaleihin tarvittavat muotit voivat olla joko kalibroituja tai kalibroimattomia.

Jokaisesta koekappaleesta on määritettävä sen suorakulmaisuus, kuormituspintojen tasomaisuus sekä perusmitat, mikäli käytössä on kalibroimattomat muotit. Kalibroiduilla muoteilla pelkät perusmitat koekappaleista riittävät. /4/

### **3.3 Työmaan toimenpiteet**

Rakennustöiden suorittamisen lisäksi rakennusurakoitsija on velvollinen valvomaan ja tarkastamaan materiaaleja, tuotteita sekä valmistuksen kulkua suunnitelmien mukaisen betonirakenteen saavuttamiseksi. Tarkastus tapahtuu omavalvontana perustuen urakoitsijan omiin menettelytapoihin. Rakenteiden toteutusluokissa 2 ja 3 vaaditaan kaikkien työvaiheiden säännöllistä ja järjestelmällistä tarkastusta sekä ulkopuolisen henkilön suorittamia tarkastuksia. /4/

Laadunvalvontaan liittyvät asiakirjat sekä tarkastusten tulokset dokumentoidaan ja säilytetään vähintään kahden vuoden ajan. Dokumentoinneista on ilmentävä työsuoritusten tapahtumat riittävän selkeästi. Valvonnan ja tarkastuksien alaiset työvaiheet ovat muotti- ja tukirakenteet, raudoitukset, mahdolliset jännitystyöt, betonointi, tiivistäminen, pinnan viimeistely, jälkihoito ja lämpökäsittely sekä betonin suunnitelmienmukaisuus. Silmämääräisten tarkastuksien lisäksi toteutusluokassa 2 vaaditaan systemaattisia ja säännöllisiä mittauksia merkittävimpien rakenteiden osalta. Vastaavasti toteutusluokassa 3 yksityiskohtainen tarkastus on tehtävä kaikkiin kantavuuteen ja säilyvyyteen vaikuttaviin rakennusosiin. /4/

Toteutusluokan 2 tai 3 rakenteita rakennettaessa täytyy valmistukseen liittyvät tiedot kirjata betonointipäiväkirjaan ja tallentaa selventävät asiakirjat. Tiedot koskevat työmaan ja työnjohdon tunnistetietoja, valmisbetonin kuormakirjoja, työmaalla mahdollisesti otettavia koekappaleita ja betonin suunnitelmienmukaisuutta. Betonointipäiväkirjasta täytyy löytyä myös tiedot betonointiolosuhteista, betonointimääristä sekä betonointitavoista. Betonoinnin alkamis- ja päättymisajankohta, mahdolliset ongelmat työn kulussa, jälkihoito ja lujuudenkehityksen seuranta kirjataan myös ylös. Muotteja ja rau-

doitteita koskevat tiedot laadunvarmistustoimenpiteineen ilmoitetaan. Rakenteille suoritettujen tarkastusten tiedot ja asiakirjat tallennetaan samoin kuin asiakirjat, joissa todetaan käytettävien rakennustuotteiden kelpoisuudet. /4/

### 3.3.1 Muottityöt

Muottijärjestelmän valinta määräytyy pääosin rakenteen sijainnista ja muodosta /2/. Tämän lisäksi täytyy huomioida rakenteelle asetetut vaatimukset valmiin pinnan sekä mittatarkkuuksien suhteen. Valitulla muottikalustolla suoritettuna betonoinnin tulee vastata rakenteelle asetettuja laatuvaatimuksia. /7/

Betonirakenteiden valuun käytettävät muotit voidaan rakentaa joko työmaalla tai koota muotit valmiista muottielementeistä. Pystysuuntaisten rakenteiden muottina voidaan käyttää lauta- ja levytavarasta koottuja muotteja, jotka pystytetään suoraan kohteeseen. Mikäli valettavan rakenteen muoto on haastava tai se sijaitsee vaikeasti työstettävässä paikassa, on lauta-levymuotti hyvä ratkaisu. Mikäli työvoimaa halutaan säästää, ovat valmismuotit parempi ratkaisu. Pilarimuoteilla saadaan helposti vaaditun kokoinen ja muotoinen rakenne säädettävien muottien avulla. Kohteisiin joissa on paljon toistuvuutta, voidaan käyttää suurmuotteja. Muottien etuna on niiden helppo jatkettavuus sekä muotin lämmitysmahdollisuus. Järjestelmämuotit koostuvat määrämittaisista kaseteista, jotka kootaan nosturin avulla haluttuun linjaan. Kasettien saumakohdat ja muottisiteet jättävät valmiiseen betoniin jäljen, mikä tulee ottaa huomioon, etenkin jos rakenteella on erityisiä pintavaatimuksia. Mikäli tarkkojen pintavaatimusten lisäksi myös rakenteen muoto on erityisen vaativa tai muotilla korkeat lujuusvaatimukset, kannattaa muotteina käyttää pysty- ja vaakapalkeista koottavia vakio-palkkimuotteja. /2/

Vaakarakenteet joissa ei ole toistuvuutta eikä yhtäläistä laattapaksumuutta, voidaan muotittaa puupalkkimuoteilla. Puupalkkimuotit pystytetään kohteessa terästukien päälle kasattavista niskapalkeista, koolauspalkkeista, levyistä ja lisätuista, minkä vuoksi muottityö vaatii paljon työvoimaa. Mikäli kohteessa on runsaasti toistuvia rakenteita, voidaan käyttää muottikierroltaan nopeaa pöytämuottia. Muotti kootaan vakio-osista, kun-

kin kohteen tarpeiden mukaiseksi. Määrämittaisista osista, eli kaseteista saadaan rakennettua suoriin ja matalaa tuentaa vaativiin rakenteisiin kasettimuotit. Myös kasettimuoteilla on lyhyt muottikierto. /2/

Lisäksi voidaan käyttää eri käyttötarkoituksiin suunnattuja erityismuotteja. Tällaisia ovat esimerkiksi suhteellisen kapeisiin ja korkeisiin rakenteisiin soveltuvat kiipeävät muotit, joissa on työtasot muotteihin integroituna. Vastaavasti tunneli- ja siltarakenteille on erityisesti niiden valuun suunnattuja muotteja. /2/

Käytettäville muoteille ja tukirakenteille laaditaan muottisuunnitelma. Poikkeuksena toimii yleiset muotti- ja tukijärjestelmät. Näille ei tarvitse tehdä erillistä muottisuunnitelmaa, sillä järjestelmän omaa ohjeistusta voidaan käyttää erillisen suunnitelman sijaan. /8/ Mikäli käytettävä betonimassa on itsestään tiivistyvää, täytyy muottisuunnitelma laatia aina, käytettävästä muottijärjestelmästä huolimatta /7/.

Muottisuunnitelmaa laadittaessa käsitellään valmiin rakenteen laatuvaatimusten lisäksi työn aikaiset kuormitukset, jotka koostuvat kalustosta, henkilöstöstä sekä betonoinnista. Betonimassasta siirtyy muoteille sysäyksen omaisia kuormia ja esimerkiksi kaltevia rakenteita valettaessa muodostuu vaakakuormia, jotka muottien tulee kantaa. /8/ Betonimassan muoteille aiheuttama paine tulee myös huomioida ja laskea. Mahdollisten tuuli- ja lumikuormien lisäksi on laskettava kuormat, jotka syntyvät betonista, raudotteista sekä itse muoteista. Suunnitelmaan kirjataan tiedot siitä millä menetelmillä muotit ja tukirakenteet tullaan asentamaan. Myös purkumenetelmät ja purkujärjestys tulee ilmoittaa, sekä mahdolliset jälki- ja uudelleentuentasuunnitelmat. /4/

Betonin valamisen jälkeen vesi ja sen mukana betonin hienot osa-aineet eivät saa päästä erkaantumaan muusta massasta, minkä vuoksi muottien tulee olla riittävän tiiviit. Mikäli käytössä on muotit, jotka täytyy öljytä ennen valua, käsitellään pinnat läpeensä. Öljyämiseen voidaan käyttää vain tarkoitukseen soveltuvaa muottiöljyä, joka ei vaikuta rakenteen valmiiseen pintaan. Muottien sisäpinnoilla ei saa olla lunta, jätää eikä mui-



takaan materiaaleja, jotka heikentävät betonin kovettumisen kehittymistä tai vaikuttavat valmiin rakenteen pinnan ulkonäköön. Muottipinnan tulee vastata haluttua betonipintaa, etenkin puhtasvalupintoja valettaessa. /4, 7, 9/

Mikäli betoni valetaan lämmöneristeiden päälle, tai valun yhteydessä käytetään esimerkiksi ääneneristyslevyjä, on varmistettava, että levyt eivät pääse puristumaan kokoon. Levyjen tulee olla myös riittävän jäykkiä, jottei betoni pääse painamaan niitä pois paikaltaan, jolloin valmiin rakenteen mittavaatimukset eivät enää täyty. Betoni ei saa myöskään päästä valumaan levyjen saumakohdista, joten levyt limitetään ja asennetaan toisiaan vasten saumojen koko matkalta. Lämmön- sekä ääneneristyslevyjen tulee olla betonointiin soveltuvia. /7/

Muottien tulee olla mitoiltaan ja muodoltaan suunnitteluasiakirjojen mukaisia. Muottien tulee pysyä muodossaan betonoinnista aina muottien purkuun asti. Muotit täytyy tukea riittävän hyvin ja käyttää tarvittava määrä muottisiteitä, jotta muotit eivät pääse liikkumaan. /4, 7/

### **3.3.2 Raudoitteet**

Betonin heikon vetolujuuden vuoksi, täytyy rakenteet vahvistaa raudoituksilla. Betonirakenteiden raudoitteina käytetään yleisimmin muotteihin asennettavia irtoteräksiä ja raudoitusverkoja tai raudoitekuituja, jotka lisätään betonimassaan. Yleisimmin käytetyt harjateräkset ovat hiiliteräksestä, ruostumattomasta austeniittisestä teräksestä tai ruostumattomasta austeniittis-ferriittiteräksestä valmistettuja hitsattavia teräksiä. Valmistusvaiheessa teräkset muokataan kuumavalssaamalla tai kylmämuokkaamalla. Terästen lujuus on 400 – 700 MPa. /2, 4/

Kohdekohtaisissa suunnitelmissa määritellään vaatimukset käytettävän teräksen materiaalille, lujuudelle, koolle ja sijainnille. Kyseisten vaatimusten lisäksi terästen tulee olla raudoitteita koskevien Suomessa voimassa olevien vahvistettujen standardien täyttävät. Raudoitteiden laatu tulee olla todennettavissa valmistetunnuslapuista, jotka ovat kiinnitettyinä raudoitenippuihin. Raudoitteita tulee käsitellä ja varastoida niin, etteivät

ne pääse vaurioitumaan, taivuttamaan, syöpymään tai ruostumaan. Pintaruoste sallitaan, mutta tartuntaan ja lujuuteen vaikuttava ruosteen määrä ei ole sallittua. Teräksissä ei saa olla likaa tai muuta tartuntaa heikentävää ainetta. /4, 7–9/

Kun raudoitustyöhön valmistaudutaan, tulee varmistaa, että työmaalla on tarvittava kalusto raudoitustyöhön. Tähän lukeutuu muun muassa leikkurit, raudoitteiden taivutus-pöytä, välineet raudoitteiden sidontaan sekä mahdollinen hitsauskalusto. /9/ Käytettävä raudoitteiden laatu ja muoto on määritelty suunnitelma-asiakirjoissa. /4/

Työmaalla joudutaan usein taivuttamaan teräksiä. Raudoitteen suunniteltu teräslaatu sekä paksuus määrittävät taivutussäteiden suuruudet. Suomen Rakentamismääräyskoelman laatiman taulukon (Taulukko 4) mukaan taivutussäteet ovat seuraavan laiset. /8/

**Taulukko 4.** Tankojen sisäpuoliset taivutussäteet. /8/

Teräslaatu	Haat, koukut ja lenkit	Pääraudoitus
A500HW	2,0Ø kun Ø ≤ 10 2,5Ø kun 10 < Ø ≤ 20 3,5Ø kun Ø > 20	12Ø
A700HW	2Ø kun Ø ≤ 10 2,5Ø kun 10 < Ø ≤ 20	17Ø
B500K	3,0Ø kun Ø ≤ 12	12Ø
B700K	4,5Ø kun Ø ≤ 12	17Ø
B600KX	3,0Ø kun Ø ≤ 12	15Ø

Taulukon (Taulukko 4) arvot kerrotaan luvulla 1,5 mikäli pääraudoitukseen käytetään tankonippua tai kyse on kevytsorabetonirakenteesta. Vastaavasti kevytsorabetonirakenteen tankonippujen taivutussäteet ovat taulukon arvot kerrottuna kahdella. Kohdekohtaisissa piirustuksissa on yleensä aina ilmoitettu vaaditut raudoitussäteet ja toisi-naan niissä saattaa olla poikkeamia yllä esitetyn taulukon (Taulukko 4) arvoihin. /4, 8/ Tankoja taivutettaessa lämpötilan tulee olla yli -5 °C eikä taivutusta saa tehdä kuumentamalla. Näin osaltaan varmistetaan, etteivät tangot vaurioidu taivutettaessa. /4/

Raudoitteet sijoitetaan muotteihin kohteen raudoituskuvien osoittamalla tavalla. Raudoitteille määritelty sijainti on tärkeä, sillä näin varmistutaan siitä, että saavutetaan riittävä suojabetonipeite. Suojabetonipeitteen nimellisarvo mittapoikkeamiseen on merkittävä raudoituskuviin. Suojabetonipeite käsittää rakenteen pinnan ja sitä lähimpänä olevan teräksen tai mahdollisen haan tai työteräksen välisen etäisyyden. /4/

Raudoitteet nostetaan irti muotin pohjasta raudoitustuilla. Tangot sidotaan tai hitsataan toisiinsa sekä muotteihin kiinni niin hyvin, etteivät ne pääse liikkumaan betonoinnin aikana. Kiinnityksen apuna voidaan käyttää myös erillisiä työteräksiä, mutta on katsottava, että vaadittu suojabetonipeite toteutuu myös näiden kohdalla. Raudoitusten tuentaa voidaan käyttää myös raudoitusvälikkeitä. Välikkeen korroosiosuojan tulee olla samaa tasoa itse betonirakenteen kanssa, mikäli käytössä on betoninen raudoitusvälike. /4/

Raudoitteita voidaan jatkaa pääsääntöisesti kolmella eri menetelmällä. Yksi jatkomenetelmä on limittää tangot vieretysten suunnitelmissa määritellyllä limityspituudella. Tangot sidotaan toisiinsa, mikäli kyseessä on palkki- tai pilarirakenne, muutoin tangot voidaan asentaa vain kiinni toisiinsa. Mikäli raudoitteet ovat hitsattavaa laatua, voidaan jatkokset hitsata kiinni toisiinsa. Hitsausmenetelmien tulee vastata SFS-EN ISO 17660-1 -standardeja. Limitykseen voidaan käyttää myös muhveja tai muita erikoisjatkoksia. Tällöin käytettävistä jatkoksista täytyy löytyä varmennettu käyttöseloste ja selvitys koetuslaitoksessa erikoisjatkoksille tehdyistä kokeista. Raudoituspiirustuksissa on ilmoitettu kohdat, joihin jatkokset voidaan tehdä. /4, 8/

Mikäli rakenne on erittäin tiheään raudoitettu, on tangot syytä niputtaa. Näin varmistetaan, ettei betonin levittyminen tasaisesti tankojen eri puolille esty ja betonia päästään tiivistämään riittävästi. Tankojen vapaalle välille on esitetty minimiarvot, jotka pätevät sekä yksittäisiin tankoihin, että tankonippuihin. Vapaan välin mitta on joko tangon tai tankonipun halkaisijan mitta, käytettävän betonin kiviaineksen suurin raekoko, johon lisätään 3 mm tai suoraan 20 mm. Näistä kolmesta tekijästä valitaan suurin vaihtoehto. Mittavaatimukset koskevat myös työraudoituksia. /4/

### 3.3.3 Betonoinnin suunnittelu

Kohdekohtaisissa sopimusasiakirjoissa on määritelty betonimassalle laatuvaatimukset. Vaatimukset koskevat betonin laatua ja betonointimenetelmiä. Myös mittatarkkuuksille on asetettu tietyt toleranssit, mihin osaltaan vaikuttaa muottien kestävyys. Raudoitusten ja varausten tulee pysyä paikallaan ja betonimassan olla riittävässä määrin tiivistetty sekä pinnan tasainen. Betonin jälkihoito on suunniteltava myös etukäteen. /9/

Näiden vaatimusten pohjalta laaditaan betonointisuunnitelma, jolla varmistetaan laatuvaatimusten toteutuminen. Suunnitelmassa otetaan huomioon sopimusasiakirjoissa esitettyjen seikkojen toteutumisen lisäksi lopputulokseen vaikuttavat tekijät ennen betonointia sekä betonoinnin aikana. Suunnitelmassa käsitellään muottien ja niiden tukirakenteiden toteutus sekä raudoitukset tuentoineen ja jatkoksineen. Näiden lisäksi suunnitellaan miten betonin siirrot toteutetaan, jaetaanko betonointi osiin, mihin liikunta- ja työsaumat sijoitetaan, mikä on käytettävä betonointinopeus, sekä kuinka massa saadaan riittävästi tiivistettyä. Oleellinen osa suunnitelmaa ovat myös jälkihoidon, betonin kovettumisen seurannan sekä muottien purkamisen suunnittelu. Talvityön tuomat haasteet ja mahdolliset lämpökäsittelyt vaativat omat suunnitelmansa. /4/

Työnsuoritus tulee suunnitella aikataulullisesti, työvoiman- ja johdon sekä työvuorojen suhteen. Myös häiriöihin varautuminen ja laadunvarmistuksen toimenpiteet on otettava huomioon. Työn toteutuksesta sekä materiaaleista on pidettävä suunnitelmien mukaiset tarkastukset sekä tarvittavat tiedot dokumentoitava. Kaikkia työvaiheita suunniteltaessa on otettava työturvallisuus huomioon. /4/

Betonimassan tilaus työmaalle tehdään hyvissä ajoin ja sovitaan toimituspäivä- ja aika sekä betonin työmaalla tapahtuva siirtotapa sekä toimitusnopeus. Mikäli kyseessä on erikoiskuljetus, valettaessa käytetään erikoismenetelmiä tai säiliöauton koolle, korkeudelle tai kokonaispainolle on joitain rajoitteita tai vaatimuksia, on näistä ilmoitettava betonintoimittajalle betonin tilauksen yhteydessä. /4/

Tilatun betonimassan valutapa, jälkihoito ja lujuuden kehityksen arvio ovat tietoja jotka betonin toimittajan on pyydettäessä ennen betonointia pystyttävä antamaan. Lujuusluokan lisäksi tulee valmistajan kertoa betonimassassa käytettävä sementti- ja kiviainesten tyyppi, käytetyt lisä- ja seosaineet sekä näiden alkuperät. Tämän lisäksi tulee ilmoittaa vesi-sementtisuhteen tavoitearvio, tiedot lujuuden kehityksestä sekä testaus tulokset betonille aikaisemmin suoritetuista laadunvalvonnoista tai alkutestauksista. /4/

Jokaisen työmaalle toimitettavan betonikuorman mukana tulee olla kuormakirja. Valmistaja laatii kuormakirjan, josta on ilmentävä eri osapuolten ja tilausta koskevat tiedot, aikataulu jolloin vesi ja sementti ovat ensimmäisen kerran sekoittuneet sekä aikataulu jolloin betoni on työmaalle saapunut ja milloin betonointi on aloitettu ja lopetettu. Toimitetun betonin tarkat tiedot täytyy löytyä myös kuormakirjasta, kuten lujuus- ja rasitusluokat, kloridipitoisuusluokka sekä betonin notkeusluokka. Kuormakirjasta on ilmentävä massan koostumuksen raja-arvot, sementin lujuusluokka ja tyyppi sekä lisä- ja seosaineiden tyyppi, mikäli nämä tekijät vaikuttavat betonin määrittelyyn. Kiviaineksen ylänimellisraja on myös ilmoitettava, sekä tiheysluokka, mikäli käytössä on kevyt- tai raskasbetoni. /4/

Kuormakirjaan tulee aina tehdä merkintä, mikäli työmaalla betonimassaan lisätään vettä tai lisäaineita. Lisättyjen aineiden määrät on myös ilmoitettava. Lisäys on betonivalmistajan vastuulla, eikä sitä yleisesti suositella tehtävän, muuta kuin erityistapauksissa. Tällaisia ovat esimerkiksi tilanteet, kun betonin notkeus täytyy muuttaa suunnitelmien mukaiseksi työmaalla lisättävän lisäaineen avulla. Lisäaineiden lisääminen näin myöhäisessä vaiheessa muuttaa massan koostumusta, mikä vastaavasti saattaa vaikuttaa kovettuneen betonin ominaisuuksiin ei toivotulla tavalla. Tämän vuoksi lisäaineiden lisääminen työmaalla on yleensä kiellettyä. Samaa pätee veden lisäämiseen massaan työmaalla. Se voidaan tehdä ainoastaan valmistajan toimesta ja vastuulla. Betonimassan homogeenisuus, notkeus ja määritetyn mukainen koostumus täytyy pystyä veden lisäyksen jälkeen todentamaan. Tähän valmistaja käyttää omaa laadunvarmistusmenetelmää ja ottaa näytteen massasta lisättyään veden. /4/

### 3.3.4 Betonointi

Ennen betonoinnin aloitusta on hyvä varmistaa muotien kunto ja tuenta, sekä raudoitteiden paikat. Valuun tarvittavien telineiden paikat, pystytykset ja kaiteet on hyvä tarkistaa ja katsoa, että tarvittavat koneet ja kalusto ovat työmaalla ja asianmukaisessa kunnossa. /9/

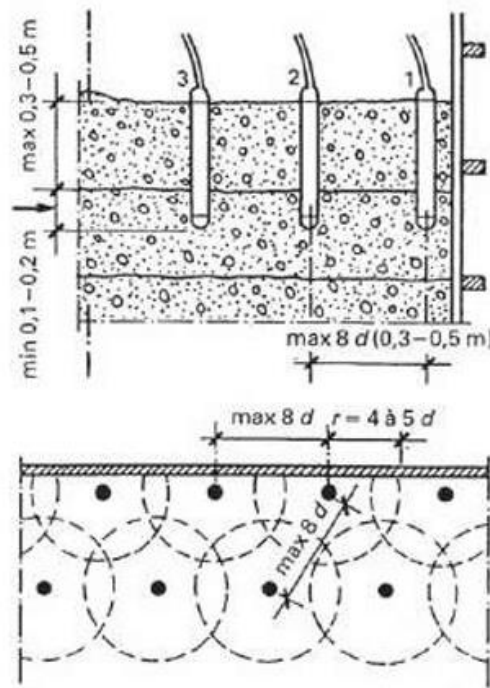
Betonia pudotetaan muottiin mahdollisimman matalalta, korkeintaan 1–1,5 metrin korkeudelta. Mikäli betoni pudotetaan tätä korkeammalta, alkaa betoni erottumaan. Erottumiselta vältytään laskemalla betoni kohtisuoraan muotin pohjalle tai valmiin betonin päälle, eikä päästetä betonia putoamaan viistosti kohti muotteja tai raudoitteita. Muotit täytetään niin, että betonimassa levittyy tasaisesti muotin sisällä, myös varausten ja raudoitteiden alle ja väliin. Betoni siirretään muottiin varovasti, jotteivat raudoitteet pääse liikkumaan valun aikana. /4, 9/

Mikäli suunnitelmissa ei ole määritelty tarkempaa kerrospaksuutta betonoinnille, on yleinen ohje pystyrakenteiden kerrospaksuudelle 300 – 500 mm. Betonikerrokset tulee valaa aina ennen kuin edellinen valukerros alkaa sitoutumaan. Betoni tärytetään tiiviiksi tasaisin välein täryttimellä, joka puolelta muottia. Muotien reunoja ja raudoitteita tulee kuitenkin varoa täryttämästä, jotta ilmakuplat eivät kerääny niiden pintaan. Betonimassaa ei saa yrittää siirtää täryttimen avulla, eikä sauvatärytintä tule pitää vaakatasossa, ettei betoni ala erottumaan. /2/ Tärytys tulisi aloittaa pääsääntöisesti tunnin sisällä valusta. Kun ilmakuplia ei enää nouse betonin pinnalle ja pinta muuttuu kiiltäväksi, voidaan tärytys lopettaa. Tärytyksen jälkeen on syytä tarkistaa, että muotit ja tukirakenteet ovat pysyneet paikallaan ja säilyttäneet tiiveytensä. /18/

Pystyrakenteissa betoni tiivistetään niin, että tärytin yltää 150 mm verran alempaan valukerrokseen. Tärytysväli riippuu täryttimen halkaisijan koosta, mutta maksiarvo etäisyydelle kaikissa tapauksissa on 400 mm. Kun kyseessä on pystyrakenne, ilmakuplat pääsevät nousemaan valun pintaan huomattavasti hitaammin kuin matalammissa rakenteissa. Tämän vuoksi rakenteiden yläosat on jälkitärytettävä uudelleen betonin

ollessa plastisessa tilassa, ennen sitoutumisen alkamista. Jälkitärytys tiivistää betonia entisestään ja päästää erottuneen veden poistumaan. /2, 4/

Vaakarakenteissakin tärytysväli määräytyy täryttimen halkaisijan mukaan. Tärytin puolestaan valitaan sen mukaan, että se mahtuu joka puolelta läpi rakenteen yläpinnan raudoitteista. Tärytyspisteiden välimatka saa olla maksimissaan kahdeksan kertaa täryttimen halkaisijan mitta. Mikäli valu suoritetaan kerroksissa, täytyy täryttimen antaa upota alempaan valukerrokseen 200 mm verran. Alla olevassa kuvassa (Kuva 1) on esitetty tärytysvyvydet ja pisteet tärytysväleille. /2/



**Kuvio 1.** Vaakarakenteen betonin systemaattinen tiivistys. /2/

Betonivaluille annetut ohjeavrot vaihtelevat myös sen mukaan, mille rasitusluokalle betoni on valmistettu. Esimerkiksi mikäli rakenne kuuluu rasitusluokkaan X0 tai XC1, pätee näille yhtenäiset ohjeet valun suorittamisen suhteen. Tarkasteltaessa seinärakenteen betonointia kyseisillä rasitusluokilla, voi betonin pudotuskorkeus olla maksimissaan 1,5 m ja betoni tulee laskea muotin sisään vähintään kolmen metrin välein. Valukerrokset saavat olla maksimissaan metrin korkuisia ja nousunopeus korkeintaan 1

m/h. Tärytysväli on kymmenkertainen tärytyssauvan halkaisijaan nähden. Betonin notkeusluokka määrittelee tarvittavan tärytysajan. Ajat on määritelty alla olevassa taulukossa (Taulukko 5). /4/

**Taulukko 5.** Notkeusluokan määrittelemä tärytysaika betonille rasitusluokissa X0 ja XC1. /4/

Notkeusluokka	Tärytysaika s/m <sup>3</sup>
S3	200
S2	300
S1	350

Mikäli seinärakenteen rasitusluokka on XC2, XC3, XC4, XS, XD, XF tai XA pätee rakenteeseen seuraavat valuohjeet. Betoni voidaan pudottaa muottiin korkeintaan yhden metrin korkeudelta ja valuputki siirtää maksimissaan kaksi metriä kerrallaan eteenpäin. Valukerrokset saavat olla korkeintaan puolen metrin korkuisia ja valunopeus 0,5 m/h. Tärytysväli ei saa olla suurempi kuin sauvatäryttimen halkaisijan mitta kerrottuna kahdeksalla. Alla olevassa taulukossa (Taulukko 6) on annettu tärytysajat, jotka määrytyvät betonin notkeusluokan mukaan. /4/

**Taulukko 6.** Notkeusluokan määrittelemä tärytysaika betonille rasitusluokissa XC2-XC4, XS, XD, XF ja XA. /4/

Notkeusluokka	Tärytysaika s/m <sup>3</sup>
S2	300
S1	400

Mikäli käytössä on itsetiivistyvä betoni, ei massaa tarvitse erikseen täryttää. Painovoima saa itsetiivistyvän betonin tiivistymään. Pystyrakenteissa valunopeus ei ole rajoitettu. Itsetiivistyvässä betonissa on suhteellisen vähän vettä ja paljon notkistimia, minkä vuoksi valun pinta nahkoittuu, eli pintakuivu erittäin nopeasti. Mikäli valuputki pidetään puolen metrin verran jo valetun betonin sisällä, ei nahkoittuneita pintoja tai



työsaumoja pääsee jäämään valukerrosten väliin. Toinen vaihtoehto on suorittaa valunostamalla massa muotin alaosa käyttäen valuventtiiliä. /4/

Betonivalun pinta tulee tiivistää hiertämällä valun jälkeen. Tärytys ja massan plastinen painuminen nostaa valun pintaan vettä ja sementtiliima. Kun betoni alkaa sitoutumaan ja kovettuminen alkaa, pyrkii vesi takaisin rakenteen sisälle pois pinnalta. Tällöin hierto voidaan aloittaa. Hierto suoritetaan yleensä hiertokoneella, lukuun ottamatta paikkoja johon kone ei mahdu. Tällöin hierretään käsin puu- tai teräshiertimellä. Hierron vaikutuksesta pinta tiivistyy ja muuttuu tasalaatuisemmaksi muun rakenteen kanssa, jolloin pinnan lujuus ja kulutuksenkesto paranevat. Rakenteen säilyvyys saattaa tosin kärsiä, mikäli yläpinnan raudotteita liikutetaan hierron yhteydessä. Hierrot suoritetaan kahdessa osassa. Ensin tehdään tasaushierto ja sen jälkeen viimeistelyhierto. Mikäli betonin pintaan halutaan sirotepinnoite, levitetään se hierron yhteydessä. /2, 4/

### 3.3.5 Betonointiolosuhteet

Työmaasuunnitelmassa määritellyt liikennejärjestelyt tulee suunnitella niin, että betonikuljetuskalusto pääsee tontille. Liikenneväylien on oltava riittävän leveitä ja kantokyvyltään sellaisia, että ne kannattelevat kuljetuskaluston. Mikäli kuljetusauton mentävää kulkuväylää ei ole mahdollista järjestää valukohteelle asti, täytyy laastin siirto esimerkiksi valusiilojen avulla suunnitella ennakkoon. /9/

Betonointiin tarvittavat työtelineet, tasot ja telineet tulee pystyttää hyvissä ajoin ennen betonoinnin aloittamista. Siirto- ja nostokaluston sijoittelu suunnitellaan niin, että kaikki siirrot voidaan tehdä turvallisesti. Betonointiin tarvittavan kaluston saatavuus ja toimivuus tarkistetaan. Mahdolliset lämmityskalustot tai suojapeitteet hankitaan valmiiksi. /9/

Ennen betonointiin ryhtymistä on otettava huomioon sääolosuhteet, jossa betonointi tullaan suorittamaan. Erittäin kuumalla ilmalla on vaarana, että betoni pääsee kuivumaan liian nopeasti, mikä aiheuttaa betonin pinnan halkeilua. Tämä voidaan välttää

kastelemalla valualusta, suojaamalla valu suoralta auringonvalolta tai kovalta vedolta ja suorittamalla kohteeseen sopiva ja riittävän pitkäaikainen jälkihoito. Kuumalla ilmalla vettä pääsee haihtumaan normaalia nopeampaa, jolloin myös betonin työstettävyyks heikkenee. Tästä syystä tärytys ja hierontoimenpiteet on aloitettava riittävän ajoissa. /18/

Mikäli vallitseva lämpötila on huomattavasti betonin lämpötilaa alhaisempi, alkaa betoniin syntymään lämpökutistuman aiheuttamaa halkeilua. Tästä syystä lämpötilaerot tulisi tasata lämmöneristämällä betoni. Halkeilua voidaan pyrkiä vähentämään myös sahaamalla betoniin kutistumasaumat niin pian kuin se massan kovettumisen puitteissa on mahdollista. /18/ Kun ilman lämpötila on alle + 5 C asteen ja yöpakkasten mahdollisuus olemassa, siirrytään talvibetonointiin. /2/

Talvibetonointi vaatii oman talvibetonointisuunnitelmansa. Muotteihin päässyt lumi ja jää täytyy poistaa ja varmistaa ettei lunta pääse niihin uudelleen. Muotteja voidaan lämmittää infrapunasaiteilyn avulla, ilma- tai höyrylämmittimillä tai asettamalla lämmitettävät vastuslangat muottiin, jotka jäävät lopulta betonimassan sisälle. Pystyrakenteisiin voidaan käyttää myös lämmitettäviä suurmuotteja. Muotit on usein syytä lämmöneristää ja valu mahdollisuuksien mukaan suojata, jotta vesi ja lämpö eivät pääse haihtumaan betonista liian nopeasti. /2/

Betonimassan valinnalla voidaan myös vaikuttaa valun onnistumiseen. Lujuudenkehitystä saadaan nopeutettua nostamalla lujuusluokkaa, lisäämällä betoniin kiihdytin lisäaineita tai käyttämällä nopeasti kovettuvaa betonia. Toinen vaihtoehto on käyttää talvivaluihin suunniteltua kuumabetonia, jonka lämpötila nostetaan betoniasemalla. Massan sisältämän lämmön ansiosta lujuudenkehitys nopeutuu ja muottien lämmitystarve vähenee. /2/

Betonoinnin aikataulua suunniteltaessa on otettava huomioon työn tahditus ja muotinkierto. Työt hidastuvat talvella lämmöneristämistoimenpiteiden myötä ja jonkun verran myös erittäin kuumissa olosuhteissa, mikä tulee ottaa aikataulutuksessa huomioon.

Talvella täytyy varautua myös siihen, että betonointia ei voida suorittaa aiottuna ajankohtana lainkaan, mikäli pakkasen kiristyy liikaa. /2/ Esimerkiksi pumppuautoa ei voida käyttää, mikäli lämpötila laskee alle - 15 °C. /19/

### 3.3.6 Jälkihoito ja lujuuden kehitys

Heti valun jälkeen betonista alkaa haihtumaan sen sisältämää vettä. Mikäli vesi pääsee haihtumaan rakenteesta liian nopeasti, haittaa se betonin lujuudenkehitystä. Jälkihoiton tarkoituksena on varmistaa, että tarvittava vesimäärä säilyy rakenteessa koko lujuudenkehityksen ajan. Betonille asetetut ominaisuudet saavutetaan onnistuneen jälkihoiton avulla. /2, 4/

Betonirakennetta voidaan kastella joko vedellä tai lisäämällä betonin pintaan jälkihoitoainetta. Muottien jättäminen paikalleen tai valun peittäminen tiiviillä muovilla auttavat myös hillitsemään veden nopeaa haihtumista. Talvivaluissa on usein vaarana rakenteiden liian aikainen jäätyminen. Kaikkien lujuusluokkien tulee saavuttaa 5 MN/m<sup>2</sup> lujuus, ennen kuin rakenteen saa päästää ensimmäisen kerran jäätymään. Tällöin rakenne kestää sen sisältämän veden pakkasen aiheuttaman laajenemisen vaurioitumatta. /2, 4/

Ulkoisista tekijöistä pakkasen lisäksi tuuli, aurinko ja kuiva ulkoilma voivat vaikuttaa betonin kehitykseen häiritsevästi kuivattamalla sitä liian nopeasti. Vastaavasti jos betoni sisältää seosaineina käytettäviä silikaa, lentotuhkaa tai masuunikuonaa, tai isossa määrin notkistimia, vaikuttaa se betonin lujuudenkehitykseen hidastavasti. /4/

Jälkihoitoa ei saa unohtaa ja keskeyttää viikonloppuina tai loma-aikoinakaan. Kun betoni on saavuttanut tietyn lujuuden, voidaan jälkihoito lopettaa. Saavutettu lujuus lasketaan prosentteina. Rakenteelle lasketut rasisluokat määrittävät betonin vaaditun kehitystason. X0- ja XC1-rasisluokissa betonin on saavutettava 50 – 60 % nimellislajuudestaan, ennen kuin jälkihoito voidaan lopettaa. Muissa rasisluokissa vastaavan

luvun tulee olla 70 %. Poikkeuksena ovat rasisluokan XF2- ja XF4-rakenteet, tai korkealle kulutuskestävyydelle alttiit rakenteet, joiden lujuudenkehityksen täytyy olla 80 % nimellislujuudesta ennen jälkihoidon lopettamista. /4, 9/

Betonin sisältämä sementtimäärä vaikuttaa yhdessä lämpötilan kanssa betonin lujuuden kehitykseen. Kun sementin lujuudenkehitys tunnetaan, voidaan kehitystä seurata mittaamalla betonin lämpötiloja. Betoniin voidaan asentaa putket, joiden kautta lämpötilaa mitataan perinteisillä lämpömittareilla. Mittaukseen voidaan käyttää myös elektronisia mittareita, jotka lukevat lämpötilat betoniin asennetuista antureista. /2, 4/

Mitattujen lämpötilojen avulla ja kuluneen ajan perusteella pystytään tekemään kypsyyslaskelmia betonin lujuuden kehityksestä. Yksi yleinen kypsyyslaskelmiin käytettävä menetelmä on nimeltään Sadgroven menetelmä. Kyseisellä menetelmällä saadaan selville betonin kypsyysikä, käyttämällä seuraavaa kaavaa (Kaava 5) /4/:

$$t_{20} = \left( \frac{T+16}{36} \right) * t, \text{ jossa} \quad T \text{ on betonin lämpötila aikana } t \text{ [}^{\circ}\text{C]} \quad (5)$$

t on kovettumisaika [d]

Kypsyyslaskelmia varten on nykyään myös tietokonepohjaisia ohjelmia, jotka laskevat betonin lujuudenkehityksen niihin syötettävien betonin lämpötilatietojen pohjalta. Ohjelmia voidaan käyttää työmaalla ja näin myös tarvittavat tiedot ovat välittömästi saatavilla. Mikäli lämmönkehitystä halutaan tarkkailla jatkuvasti, onnistuu se siihen suunnitelluilla dataloggereilla. /2/

Betonirakenteiden tulee saavuttaa tietty lujuus, ennen kuin muotteja ja tukirakenteita voidaan aloittaa purkamaan. Betonin on saavutettava minimissään 60 % nimellislujuudestaan, ennen kuin muotteja ja tukirakenteita voidaan poistaa. Yleensä odotetaan lujuuden kehittyvän 60 – 80 % välille. Kyseisistä arvoista voidaan poiketa, mikäli rakennesuunnittelija on kohdekohtaisesti laskelmissaan sen hyväksynyt. Poikkeuksia ovat esimerkiksi seinärakenteet, joiden nimellislujuudesta tulee olla saavutettuna vain 20 – 30 % ennen muottien purkamista. /2/

### 3.3.7 Koekappaleiden ottaminen betonista työmaalla

Rakennuspaikalla ei ole välttämätöntä ottaa betonista koekappaleita puristuslujuuskokeita varten, mikäli käytetty betoni toimitetaan tarkastetulta valmisbetoniasemalta. Jos betoni valmistetaan työmaan betoniasemalla rakennuspaikalla, koskee urakoitsijaa samat säädökset, kuin valmisbetonivalmistajaa betonin lujuudentestauksen suhteen, mikäli työmaan betoniasema on tarkastettu. Kun kyseessä on betoni, joka toimitetaan tarkastamattomalta valmisbetoniasemalta tai se valmistetaan tarkastamattomalla työmaan betoniasemalla, täytyy normikokeet tehdä sekä valmisbetoniasemalla että työmaalla. /30/

Kun lujuudentestauskokeita vaaditaan, muodostetaan arvosteluerät, käytettävän betonin rakenne- ja lujuusluokkien perusteella. Arvosteluerien muodotukseen vaikuttavat myös rakenne- ja betonikokonaisuudet, betonimassan tyyppi, aikataulu, arvosteluikä sekä betonin valmistaja. Alla olevassa taulukossa (Taulukko 7.) on ilmoitettu vaadittujen koekappaleiden määrä arvosteluerien tuotannon suuruuteen nähden. /30/

**Taulukko 7.** Arvosteluerät ja arvosteluerää kohden tehtävien kelpoisuuskoekappaleiden vähimmäismäärät tarkastamattomassa valmistuksessa /30/

Lujuusluokka	Arvosteluerän suuruus V m <sup>3</sup>	Koekappaleita arvosteluerästä kpl <sup>(1)</sup>	
		Valmistuspaikka	Rakennuspaikka
≤K40	<75	6	6
	75...675	9	9
	>675	V/75	V/75

<sup>1)</sup> Näytteenottoväli enintään 3 valmistuspäivää. Samaan arvosteluerään saa kuulua koetuloksia enintään neljän valmistuskuukauden ajalta.

Koekappaleiden ohjemäärästä huolimatta yksi koekappale riittää kutakin betonianosta tai kuormaa kohden. Koekappaleiden testaus tulee suorittaa hyväksytyssä koetuloslaitoksessa. Arvosteluerien koetulokset tulee toimittaa rakennustarkastajalle. /30/

### 3.3.8 Betonin rakennuskosteuden poistaminen

Betonin valmistukseen käytetään suhteellisen suuri määrä vettä, jotta betonimassasta saadaan helpommin työstettävää. Tämän vuoksi betoniin lisätystä vedestä suurin osa muuttuu sementin kanssa tapahtuneen sitoutumisreaktion jälkeen vapaaksi, haihtumiskykyiseksi vedeksi. Vesi siirtyy rakenteen sisältä sen pintaan diffuusion ja kapillaarisen imun vaikutuksesta ja vapautuu siitä edelleen ympäröivään ilmaan. Niin rakenteen muoto ja sijainti kuin ympäristön lämpötilakin vaikuttavat betonirakenteen kuivumisnopeuteen. /2, 20, 21/

Jälkihoidolla pyritään säilyttämään betonin kosteus niin kauan, että veden ja sementin hydratoituminen ehtii tapahtumaan myös rakenteen pinnalla, mikä lisää rakenteen kestävyyttä. Kun riittävä kovettuminen on tapahtunut, täytyy rakenne saada kuivumaan, jotta sen sisältämä kosteus ei vaurioita muita rakenteita tai betonin pintaan tulevia päällystysmateriaaleja. Rakenteen kuivumista seurataan kosteusmittausten avulla. Näin saadaan arvio rakenteen kuivumisajasta, mahdollisesta kuivumisolosuhteiden parantamisen tarpeesta ja varmistetaan siitä, että betoni on riittävän kuiva päällystettäväksi. /2, 20/

Käytetyn betonin ominaisuudet kuten huokostimien käyttö sekä massan vesisementti-suhde vaikuttavat betonin kuivumisnopeuteen. Kuivuminen on tehokkainta, kun rakenteen lämpötila saadaan nousemaan. Kuivumisaika pitenee sitä mukaan, mitä paksumpi rakenne on. Kuivumista edesauttaa, mikäli rakenteen kuivuminen on mahdollista useampaan kuin yhteen suuntaan. Betonin pinta tulee pitää puhtaana ja pölyttömänä, eikä sen päällä saa varastoida tavaroita, jotka hidastavat veden haihtumista rakenteesta. /2/

Ympäröivillä olosuhteilla voidaan vaikuttaa kuivumisprosessiin. Lämpötilaa nostamalla ilman suhteellinen kosteus laskee vesihöyrymäärän pysyessä vakiona. Betoni pyrkii hygroskooppiseen tasapainoon ympäristönsä kanssa, eli se luovuttaa vettä niin kauan, kunnes betonin huokosten ja ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ovat keskenään samansuuruisia. Tämän vuoksi ympäröivän ilman lämpötilan tulisi olla vähintään + 20 °C ja suhteellisen kosteuden ylimmillään 50 %. Rakennettavan kohteen omaa

lämmitysjärjestelmää ei ole välttämättä ehditty ottaa käyttöön tai se yksin ei ole riittävä betonin kuivattamiseen, minkä vuoksi lämpöpuhaltimet ovat usein tarpeen. Puhaltimien tarve tulee mitoittaa ja laitteiston saatavuus varmistaa ennakkoon. Lämpöpuhaltimet on sijoitettava niin, että ilmavirta mukaillee betonin luonnollisen kuivumisen suuntaa. Ilmanvaihdon tulee toimia niin, että kosteus ohjautuu pois kuivattavan rakenteen ympäröivästä tilasta. Kosteudenpoistoa voidaan tehostaa kosteuden kerääjillä. Tällöin kuivattava tila on hyvä saada tiiviiksi, jotta ulkoilman tai viereisten tilojen mahdollisesti kosteampi ilma ei pyri tilaan ja kerääjiin. On huomioitava, että liian äkillinen tai korkealämpöinen lämmitys saattaa johtaa betonin halkeiluun, etenkin talviaikaan, jolloin ilman suhteellinen kosteus on hyvin alhainen. /2, 21/

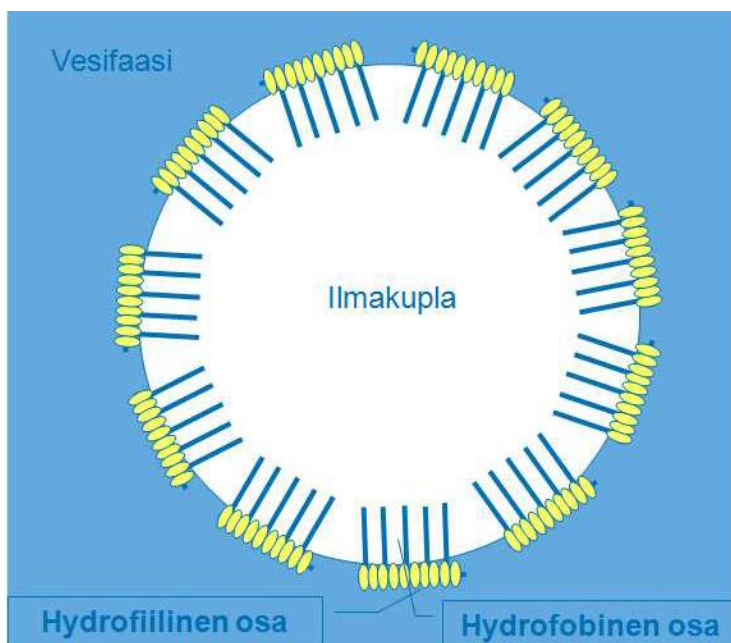
Kuivumista ei pääse tapahtumaan, mikäli betonirakenne on kylmässä ja kosteassa ympäristössä. Mikäli sade, lumi, maaperän kosteus tai vesihöyryt pääsevät betoniin sen valun jälkeen, hidastaa se betonin kuivumista betonin sitoessa vettä itseensä huokoisena materiaalina. Kuivuminen on sitä hitaampaa, mitä myöhemmin rakenteen kastuminen tapahtuu. Kastumisen myötä on myös vaarana, että vesi jää rakenteiden välitiloihin ja onkaloihin. Kastumisen välttämiseksi betonipinnoille satanut vesi ja lumi tulee poistaa ja suojata rakenne tarvittaessa sääsuojilla. Mitä nopeammin rakennuksen vaippa saadaan umpeen, sitä aikaisemmassa vaiheessa lämpötilaa päästään säätelemään. /2, 21/

## 4 HUOKOSTIMET JA BETONIN ILMAMÄÄRÄN MITTAUS

### 4.1 Huokostimet

Ulkotiloihin rakennettavien betonirakenteiden tulee lähes poikkeuksetta olla pakkasenkestäviä Suomen talviolosuhteissa. Pakkasenkestävä betoni kestää kovettuttuaan toistuvaa jääytymistä ja sulamista betonin sisältämästä vedestä huolimatta. Betonirakenteiden pakkasenkestävyyttä saadaan nostettua lisäämällä betonimassaan huokostimia. /23, 24/

Huokostimet muodostuvat hydrofiilisistä, eli vesihakuisista sekä hydrofobisista, eli vettä hylkivistä molekyyliyhdistyksistä. Nämä molekyyliyhdistykset muodostavat keinotekoisia ilmahuokosia betonin sisään. Kun rakenne jäätyy, sen sisältämä vesi laajenee 9 %, mikä aiheuttaisi huokostamattomassa betonissa mikrohalkeilua, joka johtaa ajan mittaan betonin rapautumiseen. Huokostetussa betonissa vesi pääsee laajenemaan ilmahuokosiin vahingoittamatta betonia. Alla olevassa kuvassa (Kuva 2.) on kuvattu ilmahuokoksen muodostuminen. /23, 24/

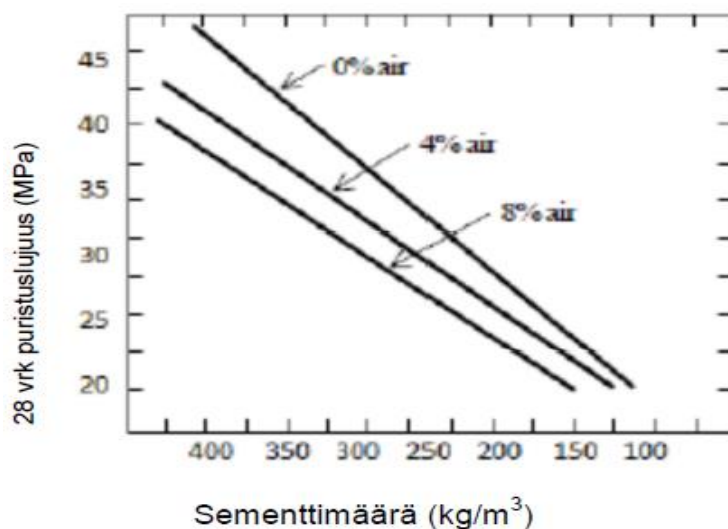


**Kuvio 2.** Huokostimien käyttäytyminen veden vaikutuksesta. /24/



Huokosten tulee olla riittävän pieniä ja tiheään sementtikiven ympärille jakautuneita, jotta ne suojaavat betonia halkeilulta. Huokosen ominaispinta-ala tulisi olla pienempi kuin  $25 \text{ mm}^2 / \text{mm}^3$  ja huokosten välimatkan korkeintaan  $0,23 \text{ mm}$ . Kokonaisilmamäärää tärkeämpää on huokosten jakauma, minkä vuoksi sideaineen kokonaismäärästä huokostinannostukset ovat usein vain  $0,01 - 0,03 \%$ . Huokostimien ansiosta betonin työstettävyys paranee ja notkeus sekä koossapysyvyys lisääntyvät. Tämän lisäksi osaineiden erottuminen vähenee, etenkin filleriköyhässä betonissa. Huokostus lisää betonin kuljetuskestävyyttä. /24, 26/

Huokostamattoman betonin ilmamäärä on noin  $20 \text{ dm}^3 / \text{betonikuutio}$ , kun vastaavasti huokostetun betonin ilmamäärä on jopa  $50 \text{ dm}^3 / \text{betonikuutio}$ . Huokostimia käytettäessä on aina huomioitava, että betonin ilmamäärä lisääntyy, jolloin myös sen puristuslujuus pienenee. Ilmamäärän lisääminen vaikuttaa betonin lujuudenkehitykseen samaan tapaan kuin ylimääräisen veden lisäys. Kun betonin ilmamäärää nostetaan  $1 \%$  verran, tarkoittaa tämä  $5 \%$  lujuuden heikentymistä. Jotta huokostetun betonin lujuusluokka saadaan pidettyä suunnitelmien mukaisena, täytyy betonin vesimäärää vähentää ja sementtimäärää lisätä. Alla olevassa kuvassa (Kuva 3) on esitetty sementtimäärän kasvattamisen vaikutus betonin puristuslujuuteen eri ilmamääriä sisältävissä betoneissa. /24, 25/



**Kuvio 3.** Betonin puristuslujuus eri ilma- ja sementtimäärien suhteutuksella. /24/

Huokostimien käyttö yhdessä notkistimien kanssa on usein ongelmallista. Notkistimet itsessään saattavat muodostaa betoniin väylämäisiä ja suuria ilmahuokosia, jotka eivät paranna pakkasenkestävyyttä. Tämän lisäksi notkistavat lisäaineet saattavat estää huokosten synnyn tai ajaa huokokset pois betonimassasta. Betonin sekoitusjärjestyksellä voidaan vaikuttaa huokostuksen onnistumiseen, etenkin notkistimien yhteiskäytössä. Betonin raaka-aineita tulee sekoittaa niin kauan, että ainesosat ovat kostuneet. Huokostin tulisi lisätä loppuveden kanssa vasta tämän jälkeen. Notkistin lisätään massaan vasta, kun huokostinta on ehditty sekoittaa noin minuutin ajan. Huokostettuun betoniin on suositeltavinta käyttää melamiinipohjaista notkistinta tai yhä yleistyvämpää polykarboksylaattieetteri notkistintyyppiä. /24, 26/

Huokostetun betonin ilmamäärä saattaa hävitä liiksi betonin pinnasta kuivumisen ohessa, mikäli betonin työstöaika on liian pitkä. Tämän vuoksi sitoutumista hidastavia lisäaineita ei tulisi käyttää huokostetussa betonissa. Huokostimia käytettäessä tulee myös tärytys suorittaa maltillisesti, jotta ilmaa ei poisteta liikaa. Huokosrakenne voi myös vaurioitua, mikäli tärytys on epätasaista tai liian tehokasta. /24/

#### **4.2 Betonin ilmamäärän mittaamenetelmät**

Tuoreesta betonista otettavilla ilmamäärämittauksilla voidaan varmistaa huokosten määrä betonissa. Kun kyse on normaalipainoisesta tai suhteellisen tiivistä raekooltaan korkeintaan 63 mm kiviaineesta valmistettu betoni, voidaan ilmamääränmittaus tehdä joko vesipatsasmenetelmällä tai painemittarimenetelmällä. Tulokset ilmoitetaan prosentteina yhden marginaalin tarkkuudella. /27/

Molemmissa menetelmissä käytetään omaa laitteistoaan, jotka täytetään ohjeen mukaan tutkittavan betonin tuoreilla näytekappaleilla. Näytteet tiivistetään ja tärytetään varovasti. Vesipatsasmenetelmässä näytteen päälle lasketaan betonin ilmamäärään suhteutettu määrä vettä. Veden pinnan alenemasta voidaan laskea betonista poistuvan ilman tilavuus. Painemittarimenetelmässä tietyn paineen omaava tunnettu ilmamäärä

lisätään laitteiston sisältämän betoninäytteen ilmamäärään. Astian ilmanpaineet tasaan paineentasausventtilillä, jonka jälkeen betonin ilmamäärä voidaan lukea suoraan laitteiston mittarista. /27/

Vesipatsasmenetelmällä ja painemittausmenetelmällä saadaan selville betonin sisältämien ilmahuokosten määrä, mutta mittaukset eivät kerro minkä kokoisia huokokset ovat tai kuinka hyvin ne ovat betoniin jakautuneet. Huokosten kokoa ja jakaumaa voidaan tarkastella tarkemmin AVA (Air Void Analyzer) -mittarilla. Laitteiston pohjassa on vettä korkeampi viskositeettista AVA-nestettä, jossa ilmakuplat nousevat eri nopeudella niiden koon mukaan. Nesteeseen lisätään tuoretta betonia 20 millilitran suuruinen näyte. Sekoituksen jälkeen betonin ilmakuplat vapautuvat ja alkavat nousta nesteessä kohti pintaa, Stokesin lain mukaisesti suurimmat ilmakuplat nopeimmin. Huokosjakauma sekä ilmakuplien ominaispinta-ala saadaan selville vesipatsaan päällä olevan vaakalautas-keräimen avulla, joka kerää nousevat ilmakuplat mitaten niiden aiheuttaman nosteen painon menetyksenä. AVA-mittarin näytteestä antama kokonaisilmamäärä on arviolta 1,5 – 2 % pienempi, kuin muilla menetelmillä mitattuna, koska AVA-mittari mittaa ainoastaan alle kolme millimetriä halkaisijaltaan olevat ilmakuplat. /28/

#### 4.2.1 Ilmamäärille asetetut rajoitukset

Betonin koostumukselle ja ominaisuuksille, ilmamäärä mukaan lukien on määritelty rasitusluokkien mukaiset raja-arvot. Arvoihin vaikuttaa onko suunnittelukäyttöikä 50 vai 100 vuotta. Alla olevissa taulukoissa (Taulukko 8. ja Taulukko 9.) on esitetty betonin ilmamäärät jäätymis-sulamamisrasituksen alaisissa rakenteissa. /4/

**Taulukko 8.** Betonin ilmamäärä [%] jäätymis-sulamamisrasituksen alaisissa rakenteissa, kun suunniteltu käyttöikä on 50 vuotta. /4/

Rasitusluokka	XF1	XF2	XF3	XF4
Ilmamäärä [%]	4,0 <sup>(1)</sup>	5,0	4,0 <sup>(1)</sup>	5,5

<sup>(1)</sup> Ilmamäärävaatimus koskee betonia, jossa kiviaineksen ylänimellisraja on vähintään 16 mm. Ylänimellisrajan ollessa 12 mm ilmamäärävaatimusta nostetaan 0,5 prosenttiyksikköä ja ylänimellisrajan ollessa 8 mm 1,0 prosenttiyksikköä

**Taulukko 9.** Betonin ilmamäärä [%] jäätymis-sulamisrasituksen alaisissa rakenteissa, kun suunniteltu käyttöikä on 100 vuotta. /4/

Rasitusluokka	XF1	XF2	XF3	XF4
Ilmamäärä [%]	5,5 <sup>(1)</sup>	- <sup>(2)</sup>	5,5 <sup>(1)</sup>	- <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Ilmamäärävaatimus koskee betonia, jossa kiviaineksen ylänimellisraja on vähintään 16 mm. Ylänimellisrajan ollessa 12 mm ilmamäärävaatimusta nostetaan 0,5 prosenttiyksikköä ja ylänimellisrajan ollessa 8 mm 1,0 prosenttiyksikköä

<sup>(2)</sup> Betonin pakkas-suolakestävyys osoitetaan toiminnallisin kokein

Laskettaessa betonin käyttöikää, täytyy selvittää sen F-luku. F-luku määrittää kuinka hyvin betoni vastustaa pakkasrasitusta, rasitusluokissa FX1 ja FX3. Näissä luokissa rakenteet ovat joko kohtalaisen tai suuren vedellä kyllästymisen alaisia, ilman jäänsulatusaineita. Betoninormeissa on määritelty betonin vähimmäisilmamäärälukemat, jotka täytyy toteutua, kun F-lukua lasketaan. Taulukossa 10. on esitetty betonin vähimmäisilmamäärät kun kyseessä on tiivistettävä betoni ja taulukossa 11. vastaavasti itsetiivistyvän betonin ilmamäärien vaatimukset. /4, 25/

**Taulukko 10.** Tiivistettävän betonin vähimmäisilmamäärät rasitusluokissa FX1 ja FX3, kun kiviaineksen ylänimellisraja on D. /4/

Rasitusluokka	Betonin sallittu ilmamäärä [%]		
	D = 8 mm	D = 12 mm	D = ≥ 16 mm
FX1	4,5	4,0	3,5
FX3	5,0	4,5	4,0

**Taulukko 11.** Itsetiivistyvän betonin vähimmäisilmamäärät rasitusluokissa FX1 ja FX3, kun kiviaineksen ylänimellisraja on D. /4/

Rasitusluokka	Betonin sallittu ilmamäärä [%]		
	D = 8 mm	D = 12 mm	D = ≥ 16 mm
FX1	3,5	3,0	2,5
FX3	4,0	3,5	3,0

Mikäli FX1- ja FX3-rasitusluokkien betonin vaadittu notkeusluokka on sellainen, ettei ilmamääriä kyetä vesipatsas- tai painemittarimenetelmällä standardiohjeen mukaisesti mittaamaan, ei vähimmäisilmamäärävaatimuksia tarvitse noudattaa. Tällaisessa tapauksessa rakenteen pakkasenkestävyys tarkastetaan joko jäädytys-sulatuskokeella tai laattakokeella. Laattakokeessa betonin pinnan rapauman sekä suhteellisen dynaamisen kimmokertoimen tulee molempien täyttää niille asetetut vaatimukset. Jäädytys-sulatuskokeessa riittää, että betoni täyttää vaatimukset joko sen vetolujuuksien tai suhteellisen dynaamisen kimmokertoimen osalta. /4/

Rasitusluokissa FX2 ja FX4, jossa rakenteet ovat pakkas- sekä suolarasituksen alaisia, betonirakenteille määritellään P-luku. P-luku kertoo betonin vastustuskyvyn pakkasta ja suolarasitusta vastaan. Rasitusluokkien FX2- ja FX4-rakenteiden käyttöikä lasketaan P-lukua apuna käyttäen. Rakenne kestää pakkasta sitä paremmin, mitä suurempi P-luku on. Esimerkiksi siltarakenteissa pakkasenkestävyysluku P on jaettu pakkasenkestävyysluokkiin. Luokat ovat P20, P30, P50, ja P70. Mitä suurempi P-luku on, sitä helpommin rakenteen toivottu laatu saattaa jäädä suunniteltua heikommaksi, mikä on syytä ottaa suunnittelussa huomioon. /4, 29/

Eri pakkasenkestävyysluokille on määritelty betonin vähimmäisilmamäärät sekä ilmamäärien enimmäisarvot prosentteina. Ilmamäärät ovat sidoksissa betonin vesi-sideainesuhteeseen. Sideaineiksi luetaan betonin sisältämä sementti, sekä valmistuksessa mahdollisesti käytetyt seosaineet. Alla olevassa taulukossa (Taulukko 12.) on esitetty ilmamäärien raja-arvot eri pakkasenkestävyysluokissa, kun kiviaineksen ylänimellisraja on 16 mm tai enemmän. Mikäli kiviaineksen ylänimellisraja on 8 mm, tehdään

taulukon osoittamiin arvoihin 1 % lisäys luokassa P20, 2 % lisäys luokassa P30 ja 3 % lisäys luokissa P50 sekä P70. Väliin jäävät arvot interpoloidaan suoraviivaisesti. /29/

**Taulukko 12.** Betonimassan vähimmäisilmamäärävaatimukset ja ohjeellinen enimmäisilmamäärä eri pakkasenkestävyysluokissa, kun kiviaineksen maksimiraekoko  $\geq 16$  mm. /29/

Vesi-sideaine- suhde	Ilmamäärän vähimmäisarvo ja ohjeellinen ilmamäärän enimmäisarvo eri pakkasenkestävyysluokissa			
	P20	P30	P50	P70
0,60	5 – 7 %	5 – 7 %	-	-
0,50	3 – 5 %	4 – 6 %	6 – 8 %	-
0,40	2 – 4 %	3 – 5 %	4 – 7 %	(7 – 9 %) <sup>1)</sup>
0,32	2 – 4 %	2 – 4 %	2 – 5 %	3 – 5 %
<0,32	ei vaat.	ei vaat.	ei vaat.	ei vaat.

<sup>1)</sup> Vain interpolointia varten

### 4.3 Ilmamäärien mittausten suorittaminen

Betonin ilmamääriä mitattaessa kaikkien rasitusluokkien tuoreesta betonista otetaan ilmamäärämittaus päivän ensimmäisestä kuormasta tai annoksesta. Myös päivittäin suoritettavat arvostelueräkohtaiset mittaukset otetaan päivän ensimmäisestä valukuormasta tai annoksesta. 50 vuoden käyttöiälle suunnitelluista, rasitusluokkien FX1- ja FX3-rakenteiden betonista otetaan seuraavat arvostelueräkohtaiset mittaukset viimeistään kuuden tunnin kuluttua ensimmäisestä mittauksesta, mikäli valmistus jatkuu. 50 ja 100 vuoden käyttöiälle suunniteltujen, rasitusluokkien FX2- ja FX4-rakenteiden, sekä 100 vuoden käyttöiän FX1- ja FX3-rakenteiden seuraavat arvostelueräkohtaiset mittaukset täytyy suorittaa viimeistään kolmen tunnin sisällä ensimmäisestä mittauksesta, valmistuksen jatkuessa. /4/

Betonille suoritetaan tasaisesti läpi vuoden tasokokeita. Tasokokeille pätee samat vaatimukset betonin huokosjaon, jäädytys-sulatuskokeiden sekä laattakokeiden tulosten ohjearvojen suhteen, kuin muillekin mittauksille. Tasokokeiden avulla kontrolloidaan

hitaiden vaihteluiden esiintymistä materiaaleissa ja valmistuslaitteistossa sekä varmistetaan siitä, että betonin pakkasenkestävyysominaisuudet ovat säilyneet ennakkokokeiden tulosten tasolla. Tasokokeet tehdään yleisimmin suorina pakkaskokeina, mutta enintään puolet kokeista voidaan tehdä myös tuoreesta betonista, mittaamalla sen huokosjakoa. Pakkaskokeeseen tarvittava näyte otetaan suoraan valmiista rakenteesta tai vaihtoehtoisesti tehdään koekappale valmistamalla lopullista tuotantotapaa vastaava muottivalu. Tasokokeissa tuoreen betonin ilmamäärä saa olla korkeintaan yhden prosenttiyksikön korkeampi tuotannon ilmamäärään nähden. /4/

Tasokokeiden ja ennakkokokeiden lisäksi betonille tehdään jatkuvaa laadunvalvontaa. Jatkuvassa laadunvalvonnassa seurantatietoihin päivitetään tieto, mikäli mitatuissa ilmamäärissä havaitaan alituksia vaaditusta. Betonin tilaajan on velvollisuus saada tietää, mikäli sen tilaamassa betonissa on yli 0,5 prosenttiyksikön ilmamäärän alitus vaadituista arvoista. Tasokokeissa tehdyt mittaukset saavat alittaa vaatimukset korkeintaan 10 %. Tällöin riittää, että betonille suoritetaan välittömästi uusi tasokoe, mikäli uudet tulokset ovat hyväksyttävät. Jos alkuperäisessä tasokokeessa mittaustulokset alittuvat 10 – 20 %, täytyy uusien tasokokeita suorittaa välittömästi kaksi kappaletta ja näiden tulosten keskiarvon olla hyväksyttävä. Mikäli tasokokeiden tulokset ovat yli 20 % tavoitearvoista tai vaadituilla uusintakokeilla ei saada vaadittuja tuloksia, ei betonin pakkasenkestävyyttä voida pitää vaatimusten mukaisena. /4/

## 5 TEHTÄVÄSUUNNITELMA OSANA LAADUNVARMISTUSTA

Tehtäväsuunnitelma toimii työmaatuotannon tehtäväkohtaisen ohjauksen apuna. Tehtäväsuunnittelu perustuu yksittäisen tehtävän kokonaisvaltaiseen suunnitteluun, aina tehtävän aloitusedellytyksien suunnittelusta työsuorituksen viimeistelyyn saakka. Huolellisella suunnittelulla pystytään varmistamaan laatutavoitteiden saavuttaminen sekä kontrolloida tehtävän kulkua tehokkaasti. /13/

Tehtäväsuunnitelmaan määritellään asiakirjojen ja sopimusten pohjalta tehtävän tarkka aikataulu ja tuotannolliset ratkaisut joilla aikataulutavoite saavutetaan. Kustannusarvio tarkennetaan käymällä läpi tarvittavat materiaalmäärät, työmenekit sekä hintataso ja verrataan näitä tavoitearviossa laskettuihin määriin. Logistiset ratkaisut ja työmenetelmät valitaan ja tarkennetaan tehtäväsuunnitelmaan. /13/

Aikataulu ja kustannukset toimivat lähtökohtana laatutavoitteiden saavuttamisen suunnittelulle. Laatuvaatimukset määräytyvät kohdekohtaisista suunnitelmista ja työselostuksista sekä aina voimassa olevista yleisistä laatuvaatimuksista, normeista, ohjeista ja standardeista. Näiden pohjalta laaditaan työsuoritusohjeet sekä määritellään mitattavat laatuominaisuudet ja toimintatavoitteet. Laatuvaatimuksilla tarkoitetaan rakenteelle määriteltyjen mittatarkkuuksien, ulkonäön ja haluttujen ominaisuuksien toteuttamista. Myös työn suoritukseen ja lopputulokseen vaikuttavat tekijät on otettava huomioon, kuten varastointi ja jätteiden käsittelyt. Kun laatuvaatimukset tunnetaan, voidaan työnsuoritukset ja työn ohjaus suunnitella mahdollisimman virheettömäksi. Mikäli suunnitelmissa on ristiriitaisuuksia tai virheitä, voidaan näihin reagoida jo työsuorituksen suunnitteluvaiheessa ja tarkentaa laatuvaatimukset suunnittelijalta. Laatuvaatimukset tarkastellaan yleensä vähintäänkin mitta- ja sijaintivaatimusten, toiminnallisten vaatimusten sekä visuaalisten vaatimusten osalta. /13/



Laatuvaatimukset tulee olla paitsi työnjohdon, mutta myös työryhmän tiedossa. Näin ollen ennen tehtävän aloitusta käydään työryhmän kanssa läpi, niin kutsutussa laatupiirissä, tehtävän aikataulutavoitteet, keinot joilla halutut laatuvaatimukset saavutetaan sekä logistiset ratkaisut. Tällöin mahdollisten ongelmien ilmetessä myös työryhmä kykenee nopeammin reagoimaan niihin. Tehtäväsuunnitelmaa voidaan vielä tarkentaa yhdessä työryhmän kanssa, jolloin kaikkien ammattitaitoa saadaan hyödynnettyä ongelmaratkaisussa ja epäselvissä tilanteissa. Laatupiirissä saadaan samalla luotua yhteiset pelisäännöt työlle sekä käydään läpi tehtävää koskevat työturvallisuutta koskevat asiat. /13/

Kustannuksiin, aikatauluun tai laatuun liittyvien ongelmien ilmeneminen ei ole toivottavaa, etenkin tehtävän ollessa jo käynnissä. Tästä syystä yhtenä tehtäväsuunnittelun osana laaditaan potentiaalisten ongelmien analyysi. Perustuen aiempaan tekemiseen, työntekijöiden ja työnjohdon ammattitaitoon sekä erilaisiin virhetilastoihin, ennakoidaan mahdolliset ongelmat, jotka tehtävää suoritettaessa saattaa ilmetä. Kun ongelmat sekä niiden seuraukset tiedostetaan, voidaan miettiä toimintatavat, joilla ongelmilta ja niiden aiheuttamilta viivästyksiltä, kustannuksilta ja laatuvirheiltä vältytään. Mahdollisia ongelmia lähdetään miettimään teknisten, toiminnallisten ja hankintaan liittyvien tekijöiden kannalta. Kyseisen jaottelun pohjalta ongelmat, niiden seuraukset sekä torjuntakeinot listataan analyysilomakkeelle. /13/

Tehtävään tarvittava kalusto ja työvälineet on hyvä listata ennakkoon mahdollisimman yksityiskohtaisesti. Näin osataan varmistaa niiden saatavuus riittävän ajoissa ja tehtävän alkaessa kaikki tarvittava on työmaalla. Toinen tehtävän aloitusedellytys on, että edeltävät työvaiheet on saatu suoritettua ajoissa loppuun eikä samassa mestassa ole käynnissä samaan aikaan muita tehtäviä. /13/

Yksi valvonnan keino on antaa työryhmälle itseraportointilomakkeet. Lomakkeisiin listataan toimenpiteet ja huomioitavat seikat ennen tehtävän aloitusta, tehtävän aikana sekä tehtävää lopetettaessa. Työryhmä käy läpi lomaketta työn edetessä ja merkkää

kunkin lomakkeessa mainitun kohdan tehdyksi. Lomake toimii ikään kuin muistilistana, jolloin tehtävään liittyviä yksityiskohtia esimerkiksi laatuvaatimusten täyttymiseksi ei pääse unohtumaan. /13/

## 6 YRITYKSEN NYKYISET LAADUNVARMISTUSMENETELMÄT BETONOINTITÖIDEN OSALTA

Jokaisen rakennuskohteen lähtökohtana laadunvarmistusmenetelmille on rakenne-suunnitelma ja sen asettamat vaatimukset. Aina kun kohteessa on valettavia betonirakenteita, laaditaan niille projektikohtainen betonointisuunnitelma. Suunnitelmassa huomioidaan kohteen erityispiirteet sekä betonointiolosuhteet. Suunnittelu on sitä tarkempaa, mitä vaativampi rakenne ja olosuhteet on kyseessä. Esimerkiksi merenalainen uppobetonointi vaatii huomattavasti yksityiskohtaisempaa suunnittelua, kuin tavanomainen betonianturan valu. /22/

### 6.1 Betonitöiden suunnittelu ja dokumentointi

Yrityksestä löytyy valmiit pohjat betonoinnista laadittaviin asiakirjoihin, kuten betonointisuunnitelma. Betonointisuunnitelmaan voidaan huomioida talvibetonointi sekä muut olosuhteiden tai rakenteen asettamat erityisvaatimukset. Projektikohtaisen betonointisuunnitelman lisäksi jokaiselle yksittäiselle valulle laaditaan oma betonointisuunnitelmansa (Liite 1.). Suunnitelmasta käy ilmi valuolosuhteet, valun arvioitu alkamisaika, valumäärät, käytetty massa, mahdolliset lisäaineet, onko käytössä vesitiivis betoni sekä jälkihoidon toteutus. Kyseiseen pöytäkirjaan kirjataan betonoinnin suunnitelman lisäksi toteuma. Näin ollen pöytäkirja toimii myös betonointipäiväkirjana. /22/

Betonoinnin ennakkosuunnitteluun kuuluu hankintavaihe, kun kohteeseen kilpailutetaan betonintoimittajia. Betonointiin liittyvien työvaiheiden sujuvuuteen voidaan vaikuttaa muuttamalla betonimassan ominaisuuksia. Massaa ei luonnollisestikaan lähdetä heikentämään määrittelyä, mutta lujuudenkestävyyttä voidaan tarvittaessa nostaa. Esimerkiksi talvella lujuusluokkaa nostamalla, saadaan muottien purkulujuus nopeammin saavutettua. /22/

Jokainen valu paitsi suunnitellaan, mutta myös dokumentoidaan kuormakirja- ja rakennusosa tarkkuudella. Tällöin pystytään tarvittaessa selvittämään kuormatarkkuudella mistä erästä ja minä päivänä on valettu, milloin massa on valmistettu ja mitä massaa

kussakin rakenteessa on käytetty. Valun koosta riippuen voidaan lämpötilaa tarvittaessa seurata, jotta valun sisäinen lämpötila ei pääse erottumaan liikaa. Lämpötilan erotusta voidaan minimoida käyttämällä valun jälkeen pintaan asetettavaa suojausta, kuten solukumimattoa eristeenä ja talviolosuhteissa lisäksi pintaan asennettavia lämpövastuslankoja. Lähelle valun pintaa sekä ”sydänvaluun” asetettavista lämpöantureista saadaan suoraan tieto lämpötilan kehityksestä. Seuranta voidaan tehdä muutamasta päivästä aina pariin viikkoon, tilannekohtaisesti. /22/

### **6.1.1 Koekappaleiden ottaminen**

Koekappaleiden ottaminen riippuu kohteesta. Tilaaja saattaa vaatia koekappaleiden ottamista, toisinaan koekappaleet otetaan osana yrityksen omaa laadunvarmistusta. Kun kyseessä on vaativa rakenne tai rakennuksen luonne poikkeuksellinen, otetaan betonista koekappaleet. Jos kyseessä on betonirakenne, jolla ei ole suurta rakenteellista merkitystä, kuten oveneduslaatta, ei rakenteesta ole mielekästä ottaa koekappaletta, tällöin voidaan luottaa suunnitelmien mukaiseen ja vaatimuksia vastaavaan rakentamiseen. Koekappaleiden ottamisen sijasta voidaan käyttää myös muita lujoudenkehityksen varmistavia menetelmiä, kuten kimmovasarakoetta. /22/

## **6.2 Betonitöiden työryhmän ohjaus**

Betonitöitä koskevat laatuvaatimukset tuodaan työntekijöiden tietoon töiden aloituspalaverissa. Käytettävä muottitekniikka, työn vaatimukset, työn toteutustapa, mahdollinen valun lämmitystarve ja käytettävä lämmitysjärjestelmä sekä jälkihoidon toteutus käydään palaverissa läpi. Tällöin työryhmä pystyy jo muottityövaiheessa varautumaan tuleviin työvaiheisiin ja niiden asettamiin rajoituksiin ja vaatimuksiin. /22/

Projektikohtainen betonointisuunnitelma, joka sisältää esimerkiksi mahdolliset talvi-betonoinnin vaatimat erityissuunnitelmat, esitetään työryhmälle työvaiheen aikana. Työhön liittyvät rakennekuvat käydään työnjohdon ja työryhmän kanssa läpi ja kunkin työvaiheen piirustukset luovutetaan työryhmän käyttöön kyseisen työvaiheen alkaessa. Ennen betonivalun aloitusta työnjohto tarkistaa, että aloitusedellytykset ovat kunnossa,

muottien, raudoitteiden sekä mahdollisten lämmityslankojen paikkojen ja toimivuuden osalta. /22/

Jokainen tehtävä suunnitellaan ennalta ja kaikista isoista tehtäväkokonaisuuksista tehdään aina tehtäväsuunnitelma. Jokaisella mestarilla ja työnjohtajalla on oma uran aikana muokkautunut tyyli tehtäväsuunnitelman laatimiseen, eikä se välttämättä aina ole täysin virallisen tehtäväsuunnittelumallin mukainen. Periaatteena kuitenkin on, että tehtävät suunnitellaan ennakkoon sillä tarkkuustasolla, että asiat sujuvat jouhevasti, kustannustehokkaasti ja oikein. /22/

Työnryhmille jaettavia itseraportointilomakkeita ei pääsääntöisesti käytetä. Etenkin tavanomaisissa valuissa normaalit työjohdon tekemät tarkastukset nähdään riittäviksi. Itseraportointilomakkeen avulla voidaan ennakoida yksityiskohtiin liittyviä asioita, mikäli kyseessä on vaativampi rakenne. Esimerkiksi sähköistykset, kannakoinnit, kiinnikkeet, valun sisäiset teräsosat ja muut tarkkaa mittausta vaativat osat lisäävät rakenteen vaativuutta työnsuorituksen osalta. Itseraportointilomakkeen täyttämisen asianmukaisuutta työryhmän osalta on vaikea todentaa, jolloin lomakkeen käytön luotettavuudesta ei voida olla täysin varmoja. Lomakkeen käytöllä ei myöskään voida pienentää työjohdon roolia, sillä lomakkeen käyttö ei tarkoita vastuun siirtoa työjohdolta työryhmälle. /22/

### **6.3 Betonitoissa ilmenneet ongelmat**

Viimeisen viiden vuoden tarkastelujaksolla suurimmilta betonointiin liittyviltä ongelmilta on vältytty. Laadunvarmistus on tarkentunut huomattavasti viime vuosien aikana, mikä on edesauttanut sitä, ettei betonirakenteita ole jouduttu purkamaan sen laadun tai rakenteellisen vian vuoksi. /22/

Ilmenneet ongelmat eivät ole liittyneet työsuorituksiin, vaan pääosin betonin ominaisuuksiin. Valuja ei ole esimerkiksi saatu kuivamaan, betonivalmistajan lisäaineisiin liittyvien ongelmien vuoksi, jolloin ääritapauksissa valut on jouduttu purkamaan. /22/

## 7 YHTEENVETO JA LOPPUPÄÄTELMÄT

Laadukas ja onnistunut betonirakenne on monen tekijän summa. Betonin valmistus on tarkoin säädeltyä ja tuotannon laatua pyritään tarkkailemaan säännöllisesti. Betonimassan huolellisella ja suunnitelmienmukaisella valmistuksella ei yksin saavuteta onnistunutta ja laadukasta rakennetta, vaan valmis betonirakenne vaatii useaa työvaihetta valmistuakseen, aina muoteista jälkihoitoon. Kaiken pohjana toimii suunnittelu, jonka avulla löydetään parhaat ratkaisut kuhunkin kohteeseen.

Mitä enemmän betonin ominaista käyttäytymistä joudutaan esimerkiksi lisäaineilla muokkaamaan, sitä tarkemmin on massan valmistusta valvottava ja tunnettava lisättävien aineiden yksittäinen sekä yhteisvaikutus valmiiseen betoniin. Betonimassaa muokataan osaltaan betonin työstettävyyden helpottamiseksi, mutta on huomioitava myös muut tekijät, jotka asettavat tiettyjä rajoitteita betonitoille. Esimerkiksi betoniin lisätyjä huokostimia ei haluta tärytyksen aikana poistaa kokonaan massasta. Tällöin työvaiheiden tarkka suunnittelu, ammattitaitoinen työn toteutus sekä riittävä valvonta ovat avainasemassa.

Betonivalmistaja voi todentaa valmistamansa betonimassan olevan määritellyn mukaista ottamalla betonista näytteitä ja testaamalla niitä. Vastaavasti rakennusurakoitsija pystyy osoittamaan betonitöidensä onnistumisen ja rakenteen tavoitelujuuden saavuttamisen koekappaleiden avulla. Näytteiden ja koekappaleiden tulokset toimivat työn takeena valmistajan ja urakoitsijan lisäksi myös työn tilaajalle.

Yritykseen tekemäni haastattelun perusteella selvisi, että yrityksellä on yhtenäinen linja ja ohjeistus betonirakenteiden laadunvalvonnasta. Betonitöiden suunnitteluun ja toteuman kirjaamiseen käytettävä betonointipöytäkirja on yksi yrityksessä käytettävistä betonirakentamiseen liittyvistä lomakkeista. Lomaketta täytettäessä on käytävä läpi oleellimmat betonitöitä koskevat seikat aina betonilaadusta betonointiolosuhteiden huomioimiseen. Pöytäkirjassa ei kuitenkaan ole kohtaa, jossa ilmenee käytettävän

betonin ilmamäärä. Tavoiteilmamäärä määräytyy luonnollisesti käytettävän betonilaudun ja rasisluokan mukaan. Huomioiden uutisoitujen lujusongelmien epäilty sidonnaisuus epäsuhtiin betonien ilmamääriin, olisi käytettävän betonin toteutuneen ilmamäärän kirjaus betonointipöytäkirjaan aiheellista. Myös betonikuorman mukana toimitettaviin kuormakirjoihin olisi betonivalmistajan toimesta syytä lisätä tiedot toimitettavan betonimassan ilmamäärien tiedoista.

Käytännön tasolla betonirakenteiden laatu saavutetaan tehtävien riittävän tarkalla suunnittelulla, työryhmän ohjeistuksella ja työn säännöllisellä valvonnalla. Yrityksessä työryhmä perehdytetään tehtävään aloituskokouksessa. Mitä tarkemmin aloitettavan työn ja sitä seuraavien työvaiheiden tavoitteet ja vaatimukset käydään läpi, sitä paremmin työryhmä kykenee töissään ennakoimaan ja reagoimaan virheisiin.

Koekappaleiden ottamista betonista työmaalla ei rakentamisen normien ja säädösten puolesta kaikissa tapauksissa velvoiteta ottamaan. Yrityksen käytäntö perustuu tilaajan vaatimukseen tai omaan sisäiseen laadunvalvontaan ottaa koekappaleita, etenkin vaativista kohteista. Viimeaikaisten uutisoitujen lujusongelmien valossa koekappaleita on suotavaa ottaa tavanomaisemmistakin betonivalukohteista. Urakoitsija kykenee helpommin osoittamaan työnsä virheettömyyden koekappaleiden tulosten avulla, mahdollisten ongelmatilanteiden ilmetessä. Ennen kaikkea koekappaleet toimivat varmistuksena betonirakenteen laadullisesta onnistumisesta, mikä on niin valmistajan, urakoitsijan kuin tilaajankin etu ja tavoite.

## 8 LÄHTEET

- /1/ Paikallavalurakentaminen. Betoni.com verkkosivut. Viitattu 31.1.2017. <http://betoni.com/betonirakentaminen/valmisbetoni-paikallavalurakentaminen/>
- /2/ Paikallavalurakentaminen. Valmisbetoni verkkosivut. Viitattu 31.1.2017, 7.2.2017, 13.2.2017, 16.2.2017, 27.2.2017, 28.2.2017 <http://www.valmisbetoni.fi/paikallavalurakentaminen>
- /3/ Tietoa betonista. Betoni.com verkkosivut. Viitattu 3.2.2017. <http://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/lisaaineet/>
- /4/ Suomen Betoniyhdistys ry. 2016. Betoninormit 2016 BY65. Vaasa. BY-koulutus Oy.
- /5/ Betonointi. Talo-Ratu-Ohjekortti, Menetelmät ja menekit. Ratu 0403. 2012
- /6/ Betonin valinta. Vesa Anttila, Rudus Oy:n Valmisbetonin kehityspäällikkö. Viitattu 6.2.2017. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK090403.pdf>
- /7/ Runko RYL Betonirakentaminen. 2010. Rakennustieto Oy. RT-Net palvelu. RT 14-11016. Viitattu 9.2.2017. <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/tuotteet/106032.html.stx>
- /8/ Betonirakenteet. 2004. Rakennustietosäätiö Oy. RT-Net palvelu. RT RakMK – 21253. Viitattu 9.2.2017. [https://www.rakennustieto.fi/kortistot/tuotteet/RT\\_8940.html.stx](https://www.rakennustieto.fi/kortistot/tuotteet/RT_8940.html.stx)
- /9/ Rakennustieto Oy. 2017. Rakennustöiden laatu. Viro. Rakennustieto Oy.
- /10/ SFS-EN 12620. Betonikiviainekset. 2. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 2008. 49 s.
- /11/ SFS 7003. Betonikiviaineksilta eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot. 2. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 2016. 10 s.
- /12/ SFS-EN 1008. Betonin valmistukseen käytettävä vesi. Näytteenotto, testaus ja veden soveltuvuuden arviointi betonin valmistukseen, mukaan lukien betoniteollisuuden prosesseista talteen otettu vesi. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto 2016. 18 s.
- /13/ Kankainen J., Junnonen J-M. 1999. Tehtäväsuunnittelu ja –valvonta rakentamisessa. Saarijärvi. Rakennustieto Oy.



/14/ Kankainen J., Junnonen J-M. 2001. Laatuajattelu ja rakennustyömaan laatutoiminnot. Tampere. Rakennustieto Oy.

/15/ RT-kortisto - laatua rakentamiseen. Tietotuotteet Rakennustieto –verkkosivuilla. Viitattu 14.3.2017. <http://www.rakennustieto.fi/rt>

/16/ BY, betonirakentaminen. Verkkokauppa Rakennustieto –verkkosivuilla. Viitattu 14.3.2017. <https://www.rakennustietokauppa.fi/by-betonirakentaminen/2933/dg>

/17/ Kiviniemi, M. 20xx. Asuntotuotannon laadunvarmistus. Rakennustieto. Viitattu 15.3.2017.  
<https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahU-KEwjEva7RwdjSAhWDEywKHRPCAQAQFggj-MAA&url=https%3A%2F%2Fwww.rakennustieto.fi%2FDownloads%2FRK%2FRK010202.pdf&usg=AFQjCNGIX4656KWC9yWynhh3drfS8H3rBQ&cad=rja>

/18/ Betoniteollisuus Ry. Betonointiohje.pdf. Viitattu 16.3.2017.  
[https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahU-KEwj99dqCrtvSAhUCCywKHVysAwQQFgg3MAM&url=http%3A%2F%2Fohennaensora.fi%2Fuserfiles%2Fesitteet%2FBetonointiohje.pdf&usg=AFQjCNGza\\_-ARlI4QgxC0G-dVxSsjYv2MA&cad=rja](https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahU-KEwj99dqCrtvSAhUCCywKHVysAwQQFgg3MAM&url=http%3A%2F%2Fohennaensora.fi%2Fuserfiles%2Fesitteet%2FBetonointiohje.pdf&usg=AFQjCNGza_-ARlI4QgxC0G-dVxSsjYv2MA&cad=rja)

/19/ Sahlsted S., Koskenvesa A., Kivimäki C., Palolahti T., Lahtinen M. Talvibetonointi-kirja.pdf. 2013. Betoniteollisuus Ry. Viitattu 17.3.2017.  
<https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahU-KEwjT54X1st3SAhXDkSwKHWUIBwY-QFgg2MAM&url=http%3A%2F%2Fwww.rudus.fi%2FDownload%2F23829%2FTalvibetonointi-kirja%25202013.pdf&usg=AFQjCNGRmOZHMr3umeeS-BeZUcihNmfsjeQ&bvm=bv.149760088,d.bGg&cad=rja>

/20/ The Concrete Society. Question on curing and drying. Viitattu 21.3.2017.  
<http://www.concrete.org.uk/fingertips-nuggets.asp?cmd=display&id=694>

/21/ Koskenvesa A. Talvirakentaminen.pdf. 1999. Rakennustieto.fi. Viitattu 21.3.2017  
<https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahU-KEwjB2oCdmufSAhX-MAJoKHUCRbi4QFgg0MAM&url=https%3A%2F%2Fwww.rakennustieto.fi%2FDownloads%2FRK%2FRK99s697.pdf&usg=AFQjC-NEfmsXVobUZy3XB7HvrjbVFAEjVcw&bvm=bv.150120842,d.bGg&cad=rja>

/22/ Uusi-Pohjola, T. 2017. Vastaava mestari, Vaativan vaativuusluokan betonirakenteiden työnjohtaja, FISE. Haastattelu 24.3.2017.

/23/ Huokostimet. Finnsementti Oy verkkosivut. Viitattu 29.3.2017. <http://www.finnsementti.fi/tuotteet/parmix-lisaaineet/huokostimet>

/24/ Tepponen P. Betonin huokostus.pdf. 2014. Semtu Oy. Viitattu 29.3.2017. <https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahU-KEwi995qlsvvSAhVClSwKHQTz-BtQQFggoMAE&url=https%3A%2F%2Fwww.semtu.fi%2Ffiles%2F1514%2F0420%2F1037%2FHuokostimet-info-2014.pdf&usg=AFQjCNF7Fbzvh-vsse3ePcWJ-XBMFaiPJQ&cad=rja>

/25/ Suomen Betoniyhdistys ry. 2007. Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu 2007, BY51. Espoo. Suomen Betonitieto Oy.

/26/ Suomen Betoniyhdistys ry. 2004. Betonitekniikan oppikirja 2004, BY201. Vantaa. BY-Koulutus Oy.

/27/ SFS-EN 12350-7. Tuoreen betonin testaus. Osa 7: Ilmamäärät. Painemenetelmät. 2. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto 2009. 17 s.

/28/ AVA – nopea ilmajakauman mittausmenetelmä. Semtu-uutiset 2017-1.web.pdf. Verkkojulkaisu. Viitattu 31.3.2017. [https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=0ahU-KEwia2dbNrYDTAhXJ-kiwKHTp\\_DDgQFghKMAY&url=https%3A%2F%2Fwww.semtu.com%2Findex.php%2Fdownload\\_file%2Fview%2F1727%2F704%2F&usg=AFQjCNG6xM6jgqRHlBPiyN\\_RsYQ\\_fgXujg&bvm=bv.151426398,d.bGg&cad=rja](https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=0ahU-KEwia2dbNrYDTAhXJ-kiwKHTp_DDgQFghKMAY&url=https%3A%2F%2Fwww.semtu.com%2Findex.php%2Fdownload_file%2Fview%2F1727%2F704%2F&usg=AFQjCNG6xM6jgqRHlBPiyN_RsYQ_fgXujg&bvm=bv.151426398,d.bGg&cad=rja)

/29/ Siltabetonien P-lukumenettely. 2008. Tiehallinto verkkojulkaisu. Helsinki. Viitattu 3.4.2017. [https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahU-KEwird-rj4jTAhWBKcwKHXSPAUYQFgghMAA&url=http%3A%2F%2Falk.tiehallinto.fi%2Fsillat%2Fjulkaisut%2Fsiltabetonien\\_p-lukumenettely\\_10062008.pdf&usg=AFQjCNGQ640ZvRujqyYa-P9O6wUrD-woFEA&bvm=bv.151325232,d.bGg&cad=rja](https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahU-KEwird-rj4jTAhWBKcwKHXSPAUYQFgghMAA&url=http%3A%2F%2Falk.tiehallinto.fi%2Fsillat%2Fjulkaisut%2Fsiltabetonien_p-lukumenettely_10062008.pdf&usg=AFQjCNGQ640ZvRujqyYa-P9O6wUrD-woFEA&bvm=bv.151325232,d.bGg&cad=rja)

/30/ Betonirakenteet ohjeet. 2001- Suomen rakentamismääräyskokoelma, Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. Viitattu 7.4.2017. [https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0ahU-KEwjBvsu2jpLTAhVICpoKHXNnBtoQFgg8MAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.finlex.fi%2Fdata%2Fnormit%2F6364%2FB4.pdf&usg=AFQjCNHZw47SbWPVa3J1P\\_px0e-LbpATbw&bvm=bv.152174688,d.bGs&cad=rja](https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0ahU-KEwjBvsu2jpLTAhVICpoKHXNnBtoQFgg8MAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.finlex.fi%2Fdata%2Fnormit%2F6364%2FB4.pdf&usg=AFQjCNHZw47SbWPVa3J1P_px0e-LbpATbw&bvm=bv.152174688,d.bGs&cad=rja)

## LIITE 1

## BETONOINTIPÖYTÄKIRJA

N:O \_\_\_\_\_

Rakennuskohde		Työnumero		Rakennusluvan nro		
Osoite				Puhelinnumero		
Betonityönjohtaja			Betonilaborantti			
<b>BETONOITAVA RAKENNE</b>						
<b>PERUSTIEDOT BETONISTA</b>	a) kovettunut betoni	Lujuus- ja rakenneluokka	Pakkasenkestävyys	Vedenpitävyys		
		Muut ominaisuudet				
	b) betoni- massa	Notkeus	Suurin raekoko	Sementti		
		Lisäaineet ja annostus		Muut tiedot		
<b>BETONITYÖT</b>		<b>SUUNNITELMA</b>		<b>PÖYTÄKIRJA</b>		
Betonoitava osa						
Betonimäärä m <sup>3</sup>						
Betonointi nopeus m <sup>3</sup> /h						
Betonoinnin alkaminen ja päättymisen klo		Alkaa	Päättyy	Alkaa	Päättyy	
Betonin notkeus (painuma, sVB, MO, leviämä)						
Ilman lämpötila/ Betonimassan lämpötila		Ilma	Betonimassa	Ilma	Betonimassa	
Jälkihoito, betonin lämpötilan seuranta, sekä betonin lujuuskehityksen arviointi						
Muottien purku (lujuus, ikä)						
Erikoismenetelmät, lämpökäsittely jne.						
Häiriöt, varautuminen/ toimenpiteet						
Tarkastukset						
Muut tiedot, liitteet						
Päiväys		Betonityönjohtajan allekirjoitus				