

Jasmiina Ansamaa

Olympiastadionin peruskorjauksen betonitöiden laadunvarmistus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työnjohto

Mestarityö

12.2.2018

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Jasmiina Ansamaa Olympiastadionin peruskorjauksen betonitöiden laadunvarmistus 41 sivua + 2 liitettä 12.2.2018
Tutkinto	Rakennusmestari (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma
Ammatillinen pääaine	Infrarakentaminen
Ohjaajat	Lehtori Juha Virtanen Metropolia Rakennuspäällikkö Rainer Paakkari Skanska Infra Oy
<p>Tämän opinnäytetyön aiheena on paljon keskustelua herättänyt betonin laatu ja sen valvonta. Työ toteutettiin Skanska Talonrakennus Oy:lle ja työ keskittyy Olympiastadionin työmaan betonitöiden laadunvalvontaan, toteutukseen ja sen mahdolliseen kehittämiseen.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin tutkimalla betoninormeja, perehtymällä suunnitelmiin ja niiden sisältöön sekä verkkolähteisiin. Työhön haastateltiin Rudus Oy:n laatupäällikköä ja haastattelun muodossa selvitettiin kuinka he valvovat omalta osaltaan laatua ja osallistuuko laadun-tarkkailuun joku muukin osapuoli.</p> <p>Suurissa betonityöhankeissa ja sen onnistumisessa on ammattitaitoisella työnjohdolla ja betonitöiden työryhmällä suuri merkitys. Laadunvarmistuksen jäädessä työmaan vastuulle, on tärkeää saada jokainen valussa tapahtunut asia dokumentoitua, jotta esimerkiksi lujuu-den alittuessa osataan lähteä toimimaan oikealla tavalla. Näin saadaan varmasti aikaan luja sekä kestävä betonirakenne.</p> <p>Opinnäytetyössä käydään läpi teoreettisesti, kuinka saadaan aikaan hyvin valmistettu betonirakenne betoninormeja hyödyntäen. Työstä löytyy hyvää tietoa valupäivän suunnittelusta aina talvibetonointiin asti. Betoninormit ohjaavat tämän päivän betonirakentamista suunnittelijoiden laatimien suunnitelmien lisäksi, joten hyvin työhönsä perehtyneen työnjohtajan tärkeyttä tulisi entisestään korostaa, jotta betonirakentamisen maine saataisiin palautettua entiselleen.</p>	
Avainsanat	Olympiastadion, betoni, paikallavalu, laatu, laadunvarmistus

Author Title	Jasmiina Ansamaa Quality controlling of concrete works in the renovation of the Olympic Stadium
Number of Pages Date	41 pages + 2 appendices 12 February 2018
Degree	Bachelor of Construction Site Management
Degree Programme	Construction Site Management
Professional Major	Infrastructure Site Management
Instructors	Juha Virtanen, Senior Lecturer, Metropolia Rainer Paakkari, Construction Manager, Skanska Infra Oy
<p>Commissioned by Skanska Talonrakennus Oy, this thesis examines the quality of concrete and its supervising, which has caused a lot of debate recently. The study concentrates on the work carried out at the Olympic stadium, the methods, manufacturing and the possibility of improving the quality of the concrete used.</p> <p>The study was carried out by studying the concrete standards, designs and their contents also using network resources. Interviewing Rudus Oy quality manager made it possible to find out how they control the quality of the concrete and whether a third party member participates on the quality control.</p> <p>On big-scale concrete sites, the foremen and the concrete workgroup have large responsibility of the success and quality of the concrete work project. With good documentation, it is possible to make preventive alterations for problematic areas such as strength issues, which will be the responsibility of the concrete workgroup. Using methods described here it will be possible to achieve solid and sustainable concrete structures.</p> <p>The study uses the concrete standards in theory for achieving well-made concrete structures, including also information from casting day planning to concrete working on winter time. It is important for rehabilitating the reputation of concrete construction, to highlight the need of well-oriented foremen and designers, without forgetting the concrete standards that guide modern concrete construction.</p>	
Keywords	Olympicstadium, concrete, quality, casting, standards

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Työn tausta	2
2.1	Yrityksestä	2
2.2	Työn kohteesta	2
2.3	Kuntotutkimukset	3
2.3.1	Vanhojen betonirakenteiden kuntotutkimukset	3
3	Betonirakenteet	4
3.1	Betonirakenteiden sijainti	4
3.2	Massiiviset rakenteet	5
4	Talvibetonointi	9
4.1	Laadunvarmistaminen talviolosuhteissa	9
4.2	Lämpötilan vaikutus lujuudenkehitykseen	10
4.3	Lujuudenkehityksen arvioiminen	10
5	Betonirakenteiden laadunvarmistuksen suunnittelu	12
5.1	Betonityönjohtaminen ja tuotannon suunnittelu	12
5.1.1	Betonointisuunnitelma	13
5.1.2	Betonointipöytäkirja	13
5.2	Betonimassan valinta	14
5.3	Rasitusluokkien arvioiminen	15
5.4	Koekuutiot ja tulokset	16
5.5	Suunniteltujen ominaisuuksien saavuttaminen	17
5.6	Raudoitustyön edellyttämät vaatimukset	20
5.6.1	Raudoitussuunnitelma	20
5.7	Muottitöiden laatuvaatimukset	22
5.7.1	Muottisuunnitelma	22
5.7.2	Varaukset ja suojaetäisyydet	25
6	Betonirakenteiden laadunvarmistuksen seuranta ja toteutus	27

6.1	Laadunvarmistus betonin valmistajan toimesta	27
6.1.1	Ilmamäärien mittaaminen	30
6.2	Laadunvarmistus betonointityössä	31
6.3	Betonitöiden suorittaminen	32
6.3.1	Betonointiohjeita	33
6.3.2	Betonipintojen luokitusvaatimus	34
6.3.3	Työsaumat	34
7	Betonirakenteiden toteutuksen onnistumiset ja haasteet	35
7.1	Suunnitteluvaiheen toteutuminen	36
8	Yhteenveto	38
	Lähteet	40
	Liitteet	
	Liite 1. Betonointipöytäkirja	
	Liite 2. Paikallavalettavien betonirakenteiden lujuuden varmistaminen	

Lyhenteet

Betonipeite Raudoitusta suojaavan betonikerroksen paksuus

Betonirakenne

Raudoittamattoman betonirakenteen, teräsbetonirakenteen ja jännebetonirakenteiden yhteisnimitys.

brm² Bruttoneliö

Ilmamäärä Standardin SFS-EN 12350-7 mukaan tuoreesta betonimassasta mitattu ilmamäärä.

Jänne Raudoite, jonka jännittämisen avulla betonille annetaan tarkoitettu jännitystila. Jänneeseen luetaan kuuluviksi varsinainen jänneraudoitus sekä mahdolliset ankkurit ja jatkokset.

Jännitetty betonirakenne

Raudoitettu rakenne, jonka raudoitus on osittain tai kokonaan jännitetty.

Koekappale Betoninäytteen testausta varten valmistettu kappale.

Pa Pascal, paineen yksikkö

1 Johdanto

Mestarityö käsittelee Olympiastadionin mittavan perusparannustyömaan betonitöiden laadunvarmistuksen toteutumista ja onnistumista. Uusien rakenteiden betonikuutiomäärä on yli 20 000, joten laadunvarmistus on avainasemassa rakenteiden lujuudenkehityksen kannalta. Tässä työssä perehdytään myös hyvään betonityönjohtamiseen ja laadunvalvonnan tärkeyteen, jotta saavutetaan onnistunut ja kestävä betonirakenne.

Työn aihe on erittäin ajankohtainen, sillä laatuongelmia on uutisoitu jo pidemmän aikaa. Asia on, ja tulee olemaan tapetilla pitkään, joten työni ottaa kantaa Skanskan toimintatapoihin työnjohtajien laadun seuraamisessa ja valvonnassa. Ongelmana betonin vaurioitumisessa ja valun epäonnistumisessa onkin usein väärin valittu betonilaatu, jolloin oikealla ja ammattitaidolla valitulla betonimassalla voidaan mahdollistaa betonirakenteelle pitkä käyttöikä ja valutyön onnistuminen.

Betoni on yleisimmin käytetty runkomateriaali, josta neljäsosa on paikallavalutekniikkaa. Nykypäivän betonitekniikka on kehittynyt mahdollistamaan moninaista laadun ja tuotantokustannuksen säätämistä. Tällöin betonirakenteiden tuotantoa tänä päivänä leimaa tiilajan ja alan liiallinen hintakeskeisyys. Tämä herkistää tuotantoa erilaisille ongelmille, mm. side- ja lisäaineoptimoinnin sekä betonointi- ja jälkihoitovirheiden ja työmaan omien valvontapuutteiden seurauksena.

Työn lähteinä toimivat betoninormit, työmaalla käytettävät suunnittelijoiden laatimat laadunvarmistusmenetelmät ja betonirakentamista ohjaavat säännökset, normit sekä eurostandardit. Työssä käsitellyt asiat koskevat pääsääntöisesti pelkästään Olympiastadionilla suoritettavien rakenteiden suunnittelu ja tuotantovaiheita.

Opinnäytetyö tehdään Skanska Talonrakennus Oy:lle. Yrityksen omia laadunvarmistusmenetelmiä seuraamalla ja vertaamalla saadaan selville, että olisiko yrityksen syytä seurata ohjeistuksia vielä tarkemmin ja missä olisi parantamisen varaa.

2 Työn tausta

2.1 Yrityksestä

Suomessa Skanska on yksi suurimmista asuntojen, toimisto- ja tuotantotilojen sekä infrastruktuurin rakentajista ja projektikehittäjistä. Skanska-konsernin markkina-alueet toimivat Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Suomessa Skanskan toiminta kattaa rakentamispalvelut, asuntojen ja toimitilojen projektikehityksen sekä elinkaarihankkeet.

Skanska Oy on osana Skanska-konsernia ja sen alaisuuteen kuuluu rakentamispalvelut, kalustopalvelut sekä asuntoprojektikehitys. Rakentamispalveluihin kuuluu talonrakentaminen, talotekniikkapalvelut sekä infrarakentamispalvelut. Skanska Suomen henkilöstömäärä vuonna 2016 on 2012 työntekijää. [11.]

2.2 Työn kohteesta

Olympiastadion on tätä opinnäytetyötä tehdessä Suomen suurin korjausrakentamisen kohde ja näin ollen myös Skanskan suurin yksin suorittama talonrakennusurakka. Olympiastadionin perusparannuksen laajuus on yli 40 000 bruttoneliötä, josta peruskorjataan 17 000 bruttoneliötä ja täysin uusia tiloja on yli 19 000 brm². Loput neliöt ovat kylmiä tiloja varten.

Tarveselvitystä tehdessä huomattiin, ettei Olympiastadion enää täytä teknisiä ja toiminnallisia vaatimuksia. Suurareenojen turva- ja viranomais määräykset ovat myös vanhentuneet, joten Olympiastadionin täysin kattava perusparannus on koettu välttämättömäksi. Perusteellinen kuntotutkimus on tehty vuosina 2009–2010 ja tulokset osoittivat, että rakennuksen rungon kantavien betonirakenteiden (pilarit, palkit ja laatat) toteuttaminen on vielä betonikorjausmenetelmällä toteutettavissa.

Erilaisia muutos- ja kunnostustöitä on tehty mm. yleisurheilun vuoden 1971 Euroopan mestaruuskisojen ja vuoden 1983 maailmanmestaruuskisoja varten. Suurimmat muutos- ja korjaustyöt saatiin valmiiksi ennen yleisurheilun Euroopan mestaruuskisoja 1994, jolloin on uusittu muun muassa betonirakenteita. Itäkatsomon teräsrakenteinen katos on valmistunut vuonna 2005 ja vuonna 2010 uusittiin teknisine järjestelmineen koko kenttätaso. Stadionin tornia ei tätä työtä tehdessä kunnosteta lainkaan, sillä kunnostus on tehty

jo aiemmin vuonna 2011. Keväällä 2012 on jatkettu vanhan selostamon ja yleisöpalvelu- sekä vessatiloja. [1.]

2.3 Kuntotutkimukset

Olympiastadionilla on suoritettu mm. seuraavia kuntotutkimuksia:

- betonirakenteiden kuntotutkimus, WSP Finland
- pinnoitteiden kiinnipysyvyys ja korjaustarve, VTT
- katsomon liikuntasauvojen lämpöliikkeiden tutkimus, VTT
- julkisivujen kuntotutkimus, Aaro Kohonen Oy
- vauriokartoitus, Stadion-säätiö
- itäkatsomon rakenneavaukset, Vahanen Oy.

Kuntotutkimuksien perusteella puujulkisivut ovat tulleet tiensä päähän, kahi-tiiliulkoseinät ja betoniparvekkeet ovat rapautuneet sekä teräkset ovat ruostuneet.

Tutkimuksia on vielä täydennetty vuonna 2013. [2.]

2.3.1 Vanhojen betonirakenteiden kuntotutkimukset

Betonirakenteiden kuntotutkimukset ovat WSP Finlandin suorittamat, pinnoitteiden kiinnipysyvyydestä ja korjaustarpeesta sekä katsomon liikuntasauvojen lämpöliikkeiden tutkimuksesta on ottanut selvää teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.

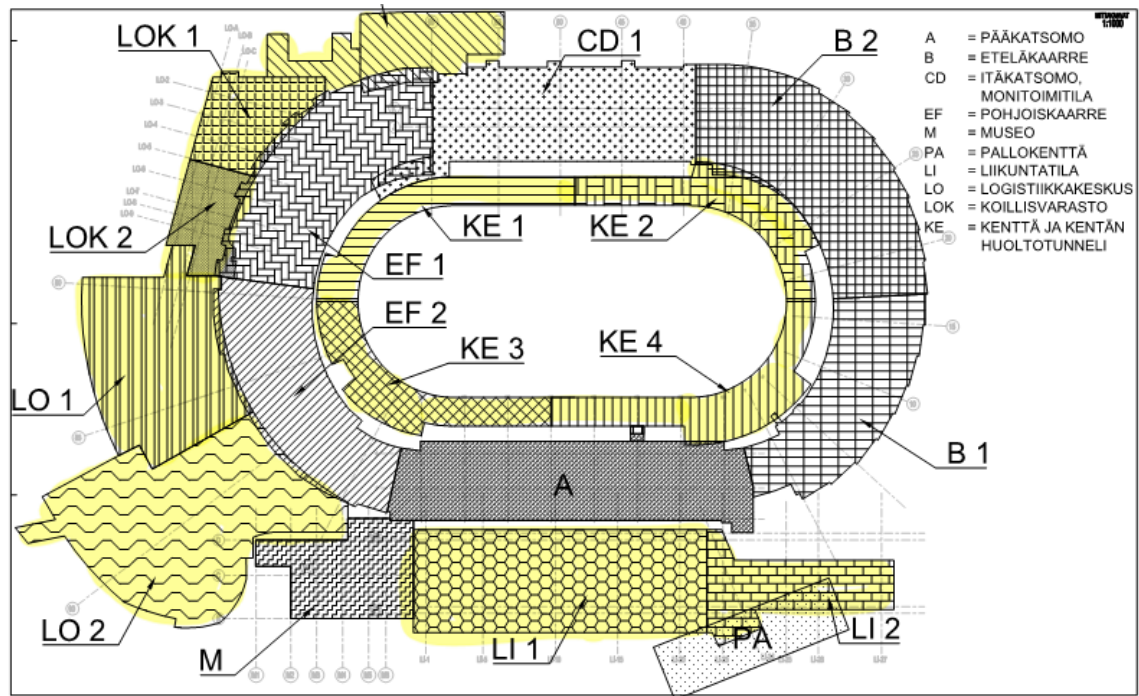
3 Betonirakenteet

Olympiastadionille valmistuu perusparannuksen myötä yli 20 000 kuutiota uusia paikallavalettavia betonirakenteita. Paikallavalurakenne tarkoittaa betonointityön suorittamista työmaaolosuhteissa. Paikallavalettavaan betonirakenteen työvaiheisiin kuuluu myös rakenteen raudoitus- ja muotitustyö. Valvojan kanssa käydyn muotti- ja raudoitustarkastuksen jälkeen voidaan aloittaa itse betonointityöt.

Stadionille rakennetaan monenlaisia rakenteita eri olosuhteisiin. Pilarianturoita on kymmeniä, jälkijännitettäviä holvirakenteita useampi kappale, paikallavaluseinää yli kilometrin verran, tukimuuria sekä sulkulaattaa kymmeniä metrejä, nauha-anturasta aina hissi-kuilun seinärakenteisiin. Betonitöiden edistymisen kannalta pilarit tilataan elementteinä ja asennetaan kohteesta riippuen nopeasti parissa päivässä, jolloin holvirakenteiden teko jatkuu aikataulussa. Työssä on myöhemmin esitelty muutamia rakenteita niiden raudoitus- ja muottisuunnitelmien.

3.1 Betonirakenteiden sijainti

Olympiastadionin uudet betonirakenteet rakennetaan stadionin ympärille, jolloin ne jäävät remontin edistyessä maisemoinnin alle. Nämä betonirakenteet sijaitsevat vaihtelevasti hyvinkin erilaisissa rasitusoloissa, joten suunnittelijoiden määrittämiä rasitusluokkia ja rakenteen käyttöikä määrityksiä tulee seurata tarkasti. Rasitusluokkia käydään läpi luvussa 3.3..



Kuva 1. Olympiastadionin lohkokaavio. Väritetyt osat ovat uudisrakenteita. [16.]

Kuva 1 näyttää betonirakenteiden sijainnin ja esimerkiksi logistiikkakeskuksen pihakan-
nen rasitusluokka määräytyy sen altistuessa pakkas- ja kloridirasitukselle. Holvi on myös
jälkijännitettävä rakenne, joka puolestaan vaatii omia toimenpiteitä esimerkiksi betonoin-
tityötä ajatellen.

3.2 Massiiviset rakenteet

Betonirakenne luokitellaan massiiviseksi, jos sen katsotaan olevan mitoiltaan niin suuri,
että on tarpeellista ryhtyä toimenpiteisiin hydrataatiolämmöstä johtuvan tilavuudenmuu-
tosten aiheuttaman halkeilun rajoittamiseksi. Huomio kiinnitetään erityisesti lämpötila-
erojen ja muutosten vaikutuksiin. [4.]

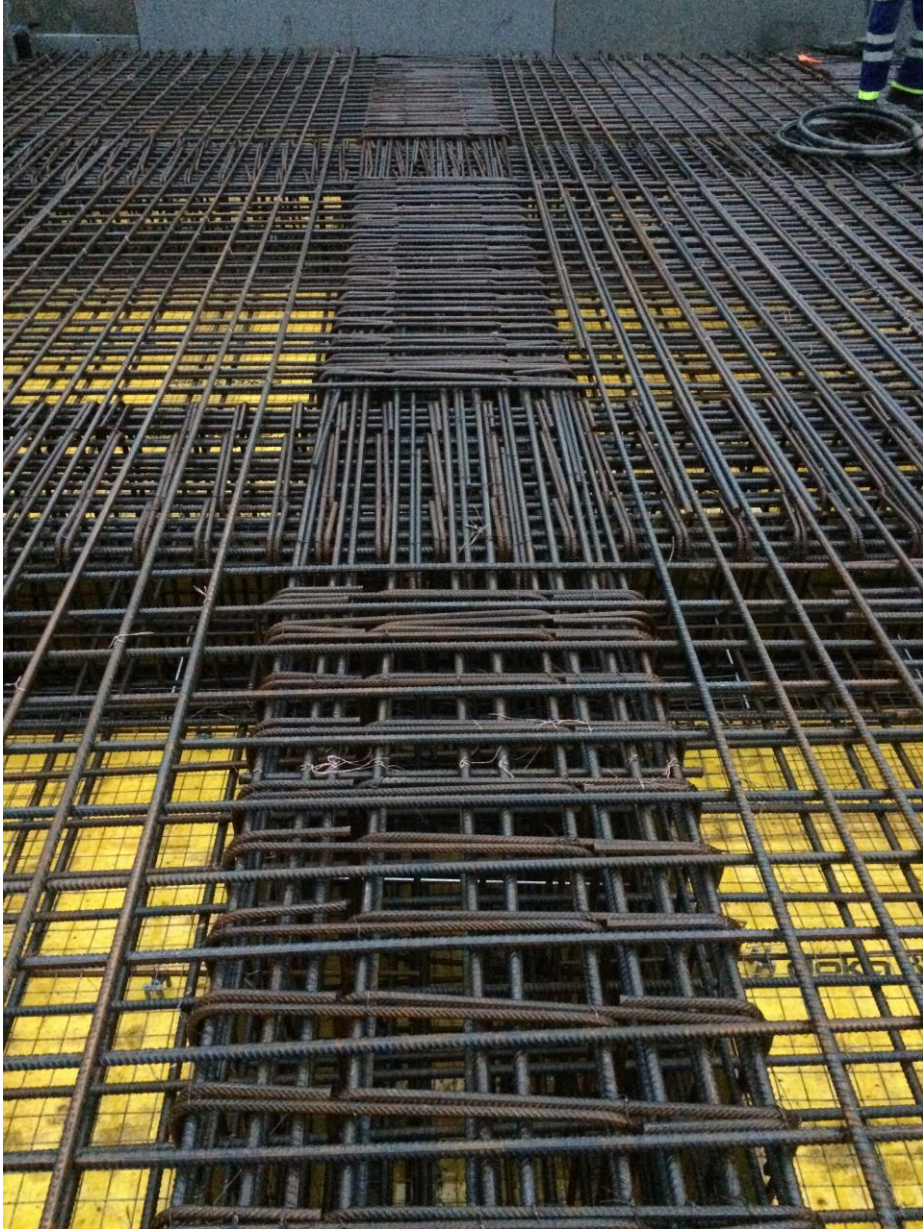
Stadionilta löytyy useampi massiivivalukohde ja valutyön onnistumisen takaamiseksi täy-
tyy tehdä paljon töitä tehtäväsuunnittelulla ja hyvällä ennakkoon valmistautumisella va-
lupäivään.

Massiivivalujen onnistuminen on tärkeää, ja Stadionilta löytyy muitakin haastavia valukohteita. Esimerkiksi kentän alueelle suunniteltu sisäjuoksurata tarvitsee melkein kilometrin verran paikallavaluseinää. Seinävalut on jaettu osiin, mutta näin pitkän ja seinien ollessa neljä metriä korkeita, on tasaisella laadulla ja valun onnistumisella iso merkitys.

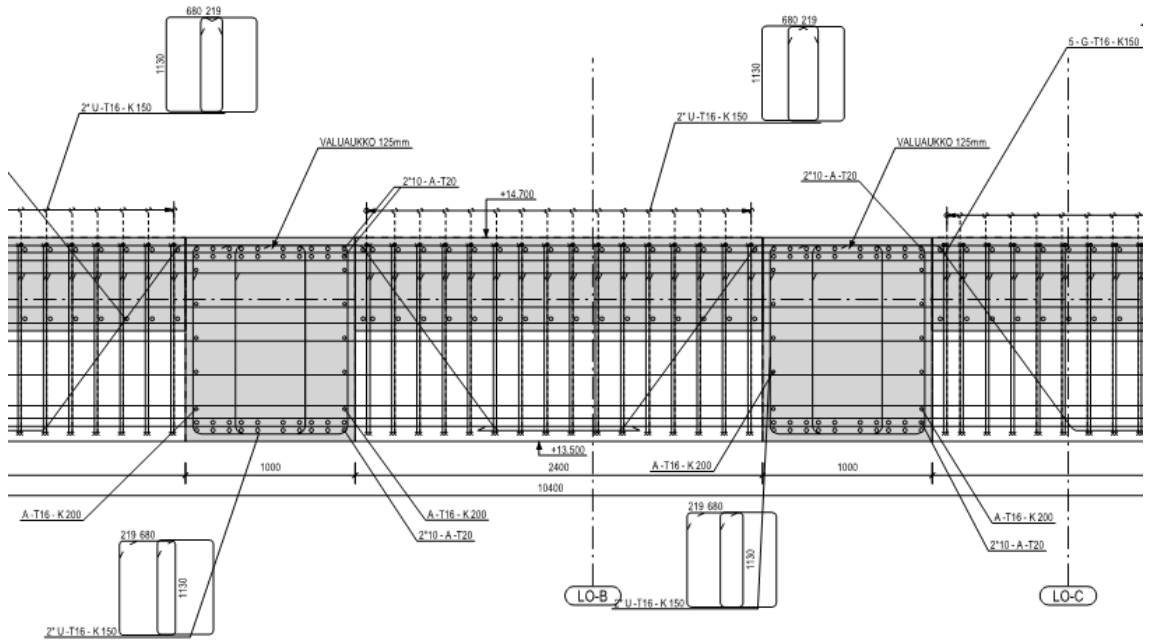


Kuva 2. Logistiikkakeskuksen holvivalun aloitus. (23.8.2017)

Muita vaativia ja raskaita rakenteita on muun muassa väestönsuoja. Väestönsuojille annettujen määräyksien vuoksi, on rakenteen onnistuttava muiltakin osin, kuin vain tavoittaa sille vaadittu lujuus. Väestönsuoja vaatii olosuhteiltaan myös kaasutiiveyttä ja räjähdyspaineen kesto.



Kuva 3. Väestönsuojan laatan valmis rauditus. (22.9.2017)



Kuva 4. Väestönsuojan laatan raudituspiirustus. [16.]

4 Talvibetonointi

Ulkolämpötilan laskiessa, hidastuvat sementin reaktiot veden kanssa. Betonin alhainen lämpötila tarkoittaa, että jäätymislujuuden ja muotinpurkulujuuden saavuttaminen siirtyy myöhäisemmäksi. Pahimmassa tapauksessa betoni voi jäätymään ja vaurioitua ennen kuin jäätymislujuus on saavutettu. Päästäkseen laadukkaaseen lopputulokseen, tulee betonityöt toteuttaa Suomen olosuhteisiin sopivalla tyylillä; talvibetonointina.

Talvibetonointikausi alkaa, kun lämpötila laskee alle +5 °C:n. Ennakkosuunnitteluun tulee käyttää aikaa jo ennen lämpötilojen laskemista, jotta pystytään reagoimaan betonin hitaampaan lujuudenkehitykseen. Talvibetonointi on mahdollista ja siihen varaudutaan riittäväällä lämmityskapasiteetilla, hyvillä suojaustoimenpiteillä sekä tärkeimpänä, oikeanlaisen betonin valinnalla. [6. s. 29.]

4.1 Laadunvarmistaminen talviolosuhteissa

Olympiastadionia rakennetaan koko talven ajan, joten talvibetonitöiden vaativuus ja lämpökäsittelyn erilaiset vaikutukset betonin ominaisuuksiin tulee huomioida etukäteen. Runkorakenteiden työselostuksen mukaan nämä asiat otetaan huomioon betonityösuunnitelmaa tehdessä ja tarvittavat toimenpiteet kirjataan itse suunnitelmaan.

Talvella työn onnistumisen ja laadullisesti hyvän rakenteen aikaansaamiseksi täytyy betoniin käytettävän runkoaineen ja veden olla lämmitetty niin, että betonimassa on betonoitaessa vähintään +10 °C:sta. Massan vastaiset pinnat, kuten kallio, perusmaa, muotti ja betoni, lämmitetään ennakolta niin, ettei betonimassa pääse jäätymään.

Betonin ominaisuuksien kehitystä seurataan lämpötilamittauksin. Anturit asennetaan niin, että jokaisen rakenneosan maksimilämpötilagradientti saadaan esiin. [7.]

4.2 Lämpötilan vaikutus lujuudenkehitykseen

Betonin varhaisesta jäätymisestä seuraa sisäisiä vaurioita sekä rapautumista, jonka takia kylmällä säällä seurataan erityisesti betonin lujuudenkehitystä. Betonirakenteen riittävän nopea kovettuminen vaatii betonilta +20 °C:n tai korkeamman lämpötilan. Lämpötila ei saa koskaan nousta yli +60 °C:n, koska vaarana silloin on lujuuskato.

Lämpötila	Huomioita
> +60 °C	Seurauksena lujuuskatoa ja säilyvyyden heikentyminen. Lujuuskadon määrä selvitetään ja otetaan huomioon.
+50...60 °C	Yhden vuorokauden lujuudet nousevat, mutta valmiin betonin lujuusominaisuudet saattavat kärsiä (lujuuskato).
+30...40 °C	Betonimassan suositeltava kovettumislämpötila.
+20 °C	Betonin tavoitelujuus saavutetaan n. 28 vrk:n kuluttua.
+5 °C	Betonilla ei ole havaittavaa lujuutta vielä yhden vuorokauden iässä.
< 0 °C	Betonin lämpötilan laskiessa alle 0 °C:n lujuudenkehitys käytännössä lakkaa. Betonissa oleva vesi alkaa jäätymään.
-10...-15 °C	Lujuudenkehitys pysähtyy käytännössä katsoen kokonaan. Jäätäneellä betonilla saattaa olla valelujuutta.

Kuva 5. Lämpötilojen vaikutukset betonimassan lujuudenkehitykseen. [6. s.15.]

4.3 Lujuudenkehityksen arvioiminen

Lujuudenkehitys alkaa heti, kun vesi ja sementti yhdistetään. Lujuus kehittyy niin kauan kuin betonissa on vapaata vettä ja reagoimatonta sementtiä jäljellä. Tämän vuoksi betonin tulisi pysyä kosteana koko lujuudenkehityksen ajan eli jälkihoidon tärkeyttä tulisi ennestään korostaa.

Voimakkain lujuudenkehitykseen vaikuttava tekijä sementtimäärän lisäksi on betonin lämpötila. Lujuudenkehityksen aikana siis syntyy lämpöä ja betonin lujuudenkehitysreaktiot nopeutuvat lämpimässä ja puolestaan hidastuvat kylmässä. Rakenteen lämpötila kohoaa sitä enemmän, mitä massiivisempi se on. Stadionin työmaalta löytyy massiivirakenteita, ja näitä rakenteita seurataan digitaalisilla lämpötilamittareilla. Lämpötiloja seuraamalla voidaan aloittaa toimenpiteet heti, jos huomataan rakenteen lämpöjen nousevan liian korkealle. Yli +60 °C:n nousu tietää jo lujuuskatoa.

Nämä lujuusreaktiot ovat sitä nopeammat mitä hienompaa sementti on. Lujuudenkehityksen hallinta kaikissa eri rakentamisolosuhteissa on taloudellisen betonirakentamisen lähtökohta. [14.]

Betonin lujuudenkehitystä voidaan seurata laskennallisesti, kun käytetyn sementin lujuudenkehitys ja lämpötila tunnetaan. Lämpötila mitataan rakenteen oletetusti kylmimmästä kohdasta, jossa hydrataatioreaktiot ovat hitaimmat. [4. s. 72.]

5 Betonirakenteiden laadunvarmistuksen suunnittelu

Työmaalla tapahtuvan laadunvarmistuksen seuranta on betonityönjohtajan tärkeimpiä vastuualueita. Laadullisesti, suunnittelijoiden laatimien piirustuksien sekä työselostuksen mukaan noudatettu rakenne on ilo luovuttaa asiakkaalle.

Työmaan koekappalesuunnitelma on laadittu suunnittelutoimiston toimesta ja työmaan laatuinsinööri on tarkentanut otettavien koekuutioiden ottopaikan. Koekappalesuunnitelma löytyy sähköisenä työmaan projektipankista ja liitteenä on betonoinnin laadunvarmistuksen muistio (Liite 2).

5.1 Betonityönjohtaminen ja tuotannon suunnittelu

Betonirakentamisessa noudatetaan ympäristöministeriön rakennusmääräyskokoelman kohtaa B4, betonirakenteet sekä uudistettuja betoninormien (By 65) määräyksiä. Sellaiset rakenteet, joiden suunnittelu vaatii erityistä pätevyyttä tai valmistus erityistä huolellisuutta katsotaan olevan toteutettavan 1. rakenneluokassa. Vaativiksi luetaan jännitetyt rakenteet ja esimerkiksi tavanomaisesta poikkeavat suuret tai monikerroksiset elementtirakenteet. Suunnittelija päättää rakenteelle luokan ja tämän luokitus määrää betonityönjohtajalta vaadittavan pätevyyden.

Betonityönjohtaja johtaa alusta loppuun rakenteiden valmistuksen ja hänellä täytyy olla tehtävän mukainen pätevyys. Hänellä tulee olla riittävä asiantuntemus betonin ominaisuuksista ja sen valinnasta sekä riittävä käytännön kokemus rakenteiden valmistuksesta. Betonityönjohtajan on oltava oleellisten työvaiheiden kuten betonoinnin aikana paikalla. Jos 1. tai 2. luokan betonityönjohtaja joutuu poistumaan paikalta, tulee häntä korvata vähintään 2. luokan betonityönjohtaja. Koulutus betonityönjohtajalla tulee olla rakenneluokan mukainen sekä tehtävään soveltuva ja käytännön kokemuksen on oltava riittävä, vähintään kaksi vuotta. Betonityönjohtajan pätevyyden ja kelpoisuuden toteaa Fise Oy. [16.]

Olympiastadionilla työskentelee viisi betonityönjohtajaa, joista kahdelta löytyy 1. luokan betonityönjohtajan pätevyys. Betonityönjohtajia koulutetaan, ja tarkastuksen alle joutuvat myös aliurakoitsijoiden työnjohdon ammattitaito ja pätevyys. Stadionin työryhmä on ammatillisesti pätevää ja jokainen on perehtynyt paikallavalun työselostukseen.

5.1.1 Betonointisuunnitelma

Betonointisuunnitelma kertoo kaiken olennaisen betonointityön suorituksesta. Hyvin laaditusta betonointisuunnitelmasta löytyy seuraavia tietoja:

- betonointiosien jako.
- Perustiedot betonin ominaisuuksista.
- Betonointimenetelmä, betonin siirrot, tiivistäminen, betonointinopeus, työsaumat.
- Betonimenekki, työnjohto, henkilövahvuus, työvuorot, varautuminen häiriötekijöihin ja ennakointi sekä kokeiden vaatimat toimenpiteet.
- Jälkihoito, lujuuden ja muiden ominaisuuksien kehityksen seuranta ennakkokokeiden tulosten perusteena, muottien ja tukirakenteiden purkaminen, kun ennako- ja työnaikaiset kokeet sen sallivat ja muotinpurkulujuus on saavutettu.
- Talvityöhön, lämpökäsittelyyn ja erityismenetelmiin liittyvät toimenpiteet.

Lisäksi suunnitelmassa käsitellään osittain muottityötä ja raudoitusta. Tässä ajatuksena on, että työntekijöiden ei tarvitsisi lukea koko betonityösuunnitelmaa, ainakaan muistaa sitä ulkoa, vaan lyhyt lomakkeen omainen betonointisuunnitelma toimisi työntekijöille annettavana suunnitelmana. Lisäksi suunnitelmassa on esitetty aikataulu, joka koskee pelkästään betonointia.

5.1.2 Betonointipöytäkirja

Betonointipöytäkirja (liite 1) on työaikana työn seurantaan käytettävä lomake. Siihen kirjataan valukohteesta kaikki asianmukainen tieto tuotantoprosessin dokumentointia varten (muun muassa betonointityön kulku, poikkeamat, resurssit). Betonointipöytäkirjan liitteeksi laitetaan raudoitustarkastuspöytäkirja valokuvineen, betoniautojen kuormakirjat sekä valukohteen paikantamiseksi voi lisätä valutyön pohjakuvan merkintöineen.

5.2 Betonimassan valinta

Betonimassa koostuu kalkkikivestä valmistetun sementin, veden ja kiviaineksen sekoituksesta. Betonimassan eri ominaisuudet valikoidaan siten, että massa soveltuu työstettävyydeltään ja koossapysyvyydeltään käytettävään valmistus-, käsittely- ja betonointipaahan. Massan koostumus tulee olla sellainen, että se tarkoitukseen soveltuvin menetelmin oikein tiivistettynä ja käsiteltynä kovettumisen jälkeen täyttää sille asetetut vaatimukset. Betonimassa luokitellaan notkeutensa perusteella. [4. s. 34.]

Taulukko 1. Standardin SFS-EN 12350-2 mukaan testatut betonimassan notkeusluokat. [4. s.34.]

Luokka	Standardin SFS-EN 12350-2 mukaisesti määritelty painuma millimetreissä.
S1	10...40
S2	50...90
S3	100...150
S4	160...210
S5	>220

5.3 Rasitusluokkien arvioiminen

Olympiastadionin paikallavalurakenteiden sijaitessa erilaisissa ympäristörasituksissa, on suunnittelijoiden tarkkaan arvioitava rasitusluokka rakenteelle. Vaativat rasitukset ovat pakkasrasitus, kloridirasitus sekä erilaiset kemialliset rasitukset. Rasitusluokkien määrittäminen vaatii kokemusta, ja päätöksentekoon on saatu helpotusta BY51 ohjekirjan muodossa. Kun betonia tilataan, täytyy osata ilmoittaa rakenteen rasitusluokka, koska se toimii lähtötietona suhteutukselle. Rasitusluokka vaaditaan ilmoitettavan myös kuor-
makirjassa. [3. s. 408.]

Rasitusluokkia on 18 ja ne on jaettu 5 ryhmään.

X0-luokka, Ei korroosion tai syöpymisrasituksen riskiä. Ympäristöllä ei ole rajoittavaa tekijää rakenteen käyttöiälle. Yleensä tällaisissa rakenteissa ei ole raudoitusta tai raudoitettu rakenne on kuivissa olosuhteissa eikä pakkasrasitusta ole lainkaan.

XC-luokat, karbonatisoitumisesta aiheutunut korroosio. Betoni suojaa raudoitusta korroosiolta sekä kemiallisesti että fysikaalisesti. Betoni on todella emäksinen aine (pH n. 13...14) johon kemiallinen suoja perustuu ja näin teräksen pintaan muodostuu oksidikalvo. Reagoidessa ilman hiilidioksidin kanssa, betonin emäksisyys laskee, ja tätä ilmiötä kutsutaan karbonatisoitumiseksi.

XD- ja XS-luokat, kloridien aiheuttama korroosio. Betonin emäksisestä ympäristöstä huolimatta voivat kloridit aiheuttaa teräskorroosion raudoitukseen. Teräskorroosion tuhoja ovat terästen poikkipinnan pieneneminen ja korroosiotuotteiden aiheuttama betonipeitteen lohkeaminen lyhentää merkittävästi rakenteen elinikää. Riittävä betonipeite raudoitteelle, mahdollisimman tiivis betoni sekä pienet halkeamaleveydet ovat paras keino suojautua kloridien aiheuttamalta korroosiolta.

XF-luokat, jäätymis-sulatusrasitus. Kapillaarihuokosissa jäätyvä vesi aiheuttaa betonin pakkasrapautumisen. Betoniin kohdistuva pakkasrasitus kasvaa, kun mukana on suo-
loja. Suolojen vaikuttaessa imeytyy betoniin kosteutta entistä alhaisemmissa lämpötiloissa ja suolat kasvattavat jäätympainetta. Betonin pakkasenkestävyyttä voidaan parantaa parhaiten lisäämällä huokostinta betoniin.

XA-luokat, kemiallinen rasitus. Betonin kemiallinen vaurioituminen Suomessa johtuu yleensä siitä, että betoniin kulkeutuu ympäristöstä kemiallisia aineita, jotka happamina liuottaa sementin omia hydrataatiotuotteita ja heikentää näin niiden ominaisuuksia tai paisuttavat sementtikiveä ja sitä kautta vaurioittaa itse rakennetta. Kemiallisen korroosion edellytyksenä on yleensä se, että haitallisten aineiden lisäksi löytyy betonista jossain muodossa vettä. Tyypillisimmät betonille vahinkoa tekevät aineet ovat mm. sulfaatit, hapot ja aggressiivinen hiilidioksidi. Mahdollisimman tiivis betoni on paras tapa suojautua aineiden tunkeutumiselta ja parantaa betonin kemiallista kestävyyttä. [5.]

BETONI:	C30/37	PAIKALLA VALETUT RAKENTEET YLEENSÄ
	C35/45	ELEMENTIT KS. ELEMENTTIPIIRUSTUKSET
		JÄLKIJÄNNITETYT TASOT, LAATTA, PALKISTOT
KIVIAINEKSEN SUURIN RAEKOKO Ø16 YLEENSÄ		
SUUNNITTELUKÄYTTÖIKÄ:		50 v RUNKORAKENTEET
YMPÄRISTÖRASITUS:	XC1	LÄMPIMÄT SISÄTILAT
(SFS-EN 206-1)	XC3, XF4	PIHAKANNEN LAATTA, ULKOPINTA
		MUUT RASITUSLUOKAT MÄÄRITETTY RAKENNEOSIEN SUUNNITELMISSA
PALOLUOKKA:	R60 (P1)	ELLEI TOISIN MERKITTY
		TARKEMMAT PALORAJAT KTS. ARK-SUUNNITELMAT
BETONIPEITE:	25 mm	RASITUSLUOKASSA XC1 (MINIMIEHTO)
		SALLITTU MITTAPOIKKEAMA 10 mm
	45 mm	TARKEMMAT MÄÄRITYKSET RAKENNEOSAKOHTAISESTI
		RASITUSLUOKASSA XC3, SALLITTU MITTAPOIKKEAMA 10 mm

Kuva 6. Logistiikkakeskuksen pihakannen betonointitiedot. [16]

Logistiikkakeskuksessa ympäristörasituksia löytyy useampia sen sijainnin takia. Alueelta löytyy lämpimiä sisätiloja, jolloin ympäristössä saattaa esiintyä karbonatisoitumiselle altistumista. Pihakannen laattaan tulee myös jäätymis-sulamisrasitusta jolloin rasitusluokaksi tarvitaan XF-luokkaa.

5.4 Koekuutiot ja tulokset

Tärkein ominaisuus betonin vaatimuksenmukaisuudessa on sen puristuslujuus. Koekappalesuunnitelma on laadittu kohdetta varten, joten tuoreesta betonista on otettava standardinmukaiset betoninäytteet suunnitelman mukaisesti. Koekappaletyyppi on betoninvalmistajan käsissä ja Suomessa käytetään kuutioita sekä lieriöitä. Koekappaleiden ohjeistus ja tekotapa löytyy eurostandardista SFS EN-12350-3. Betonin lujuuskoekappaleet voidaan SFS EN-206:n mukaan valmistaa betoniasemalla. Huomioitavaa on, että

koekuutiot, joita ei ole valmistettu eurotestausstandardien mukaisesti, eivät ole kelpollisia vaatimuksenmukaiseen arviointiin. [3. s. 415.]

Otetut koekuutiot varastoidaan työmaalla sijaitsevaan olosuhdekonttiin, josta kuutiot postitetaan Jyväskylän ammattikorkeakouluun koestettavaksi. Kuutioiden kehitysaika on 28 vuorokautta ja tulokset saadaan JAMK:in laboratoriosta pikimmiten.

Koekappalesuunnitelma ottaa myös kantaa betonimassan notkistamiseen työmaalla. Jos betonimassaan lisätään betonin laatua muuttavia lisäaineita, tulee koekappaleen otto suorittaa työmaalla.

Betonin vaatimuksenmukaisuuden ja lujuuden alittuessa, tulee siitä työmaalle ilmoitus. On myös betonityönjohtajan ammattitaitoa huomata rakenteissa olevat puutteet, joiden perusteella voidaan epäillä betonointityön onnistumista. Nämä puutteet huomattaessa voidaan alkaa jatkotoimenpiteisiin ja valmiista betonirakenteesta porataan koelieriöitä lujuuden tai pakkaskestävyyden varmistamiseksi. [3. s. 416.]

5.5 Suunniteltujen ominaisuuksien saavuttaminen

Suunniteltujen ominaisuuksien saavuttamisen varmistamisella eli jälkihoidolla estetään betonille mahdollisia vaurioita aiheuttavia tekijöitä. Stadionilta löytyy monen eri rasisluokan alla olevia rakenteita ja varsinkin talviajan betonoinnin aikaan, tulee jälkihoidon olla asianmukaista.

Jälkihoito toteutetaan rakennuskohteen työselostuksen mukaan, jossa viitataan yleensä BY 65 normeihin. Suunnittelijat omalta osaltaan kirjaavat työselostukseen tarvittavat toimenpiteet.

Massiivivaluissa jälkihoidon tarkoitus on rajoittaa suuria lämpötilaeroja valetun rakenteen poikkileikkauksissa. Betonilattioissa estetään jälkihoidolla juuri valetun pinnan liian pikainen kuivuminen.

Talviolosuhteissa jälkihoito voi tarkoittaa betonin suojausta, lämmittämistä ja/tai lämmöneristämistä betonin liian aikaisen jäätyksen estämiseksi. [4. s.72.]

Betonille muita vaurioita aiheuttavia tekijöitä ovat:

- Säätä johtuvat tekijät muun muassa suora auringonpaiste ja tuuli.
- Viileä betoni (sitomisreaktio on hidasta ja pitkä kosteuden haihtumisaika).
- Lämmin betonimassa ja kylmä tai kuiva ilma.
- Silikajauheen käyttäminen (vähentää vedenerottumista).
- Lentotuhkan ja masuunikuonan runsas käyttö (hidastuttaa sitomisreaktiota).
- Notkistimien käyttö (alhaisissa lämpötiloissa hidastaa betonin sitomisreaktiota).

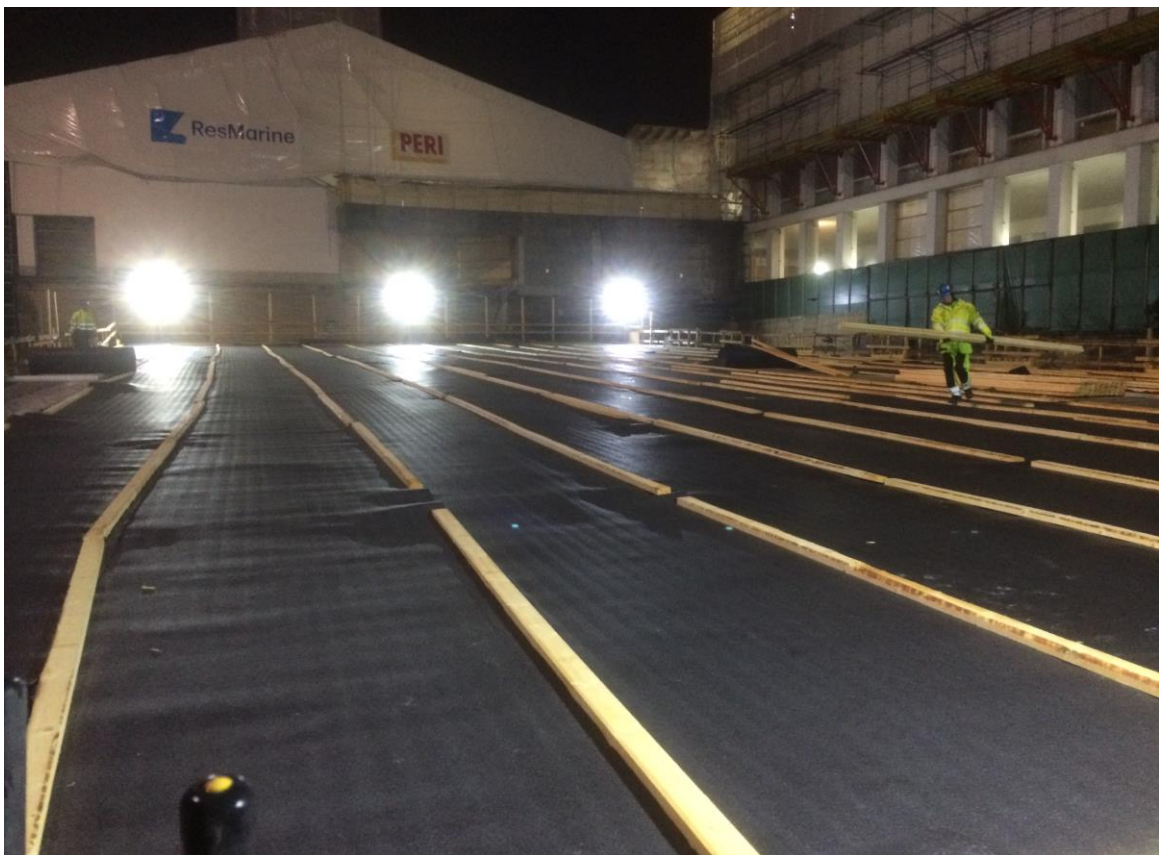
Jälkihoitoa voidaan tehdä esimerkiksi

- Jälkihoitoaineita käyttämällä.
- Kastelemalla rakennetta.
- Jättämällä muotit paikoilleen.
- Lämmöneristyksillä (solumuovi)
- tai käyttämällä muovipeitteitä.

Rasitusluokkien XC0 ja XC1 kohdalla jälkihoito voidaan lopettaa, kun betonin nimellislujudesta on saavutettu 50%. Muissa kuin XF2 ja XF4 rasitusluokissa tulee saavutetun lujuden olla 70%, ja pakkasrasitusluokkien kulutuskestävyydestä johtuen tulee jälkihoitoa jatkaa kunnes saavutettu nimellislujuus on 80%. [4. s. 72.]



Kuva 7. Holvirakenteen jälkihoitoa kastelemalla. (24.8.2017)



Kuva 8. Holvirakenteen jälkihoitoa talviaikaan. (10.11.2017)

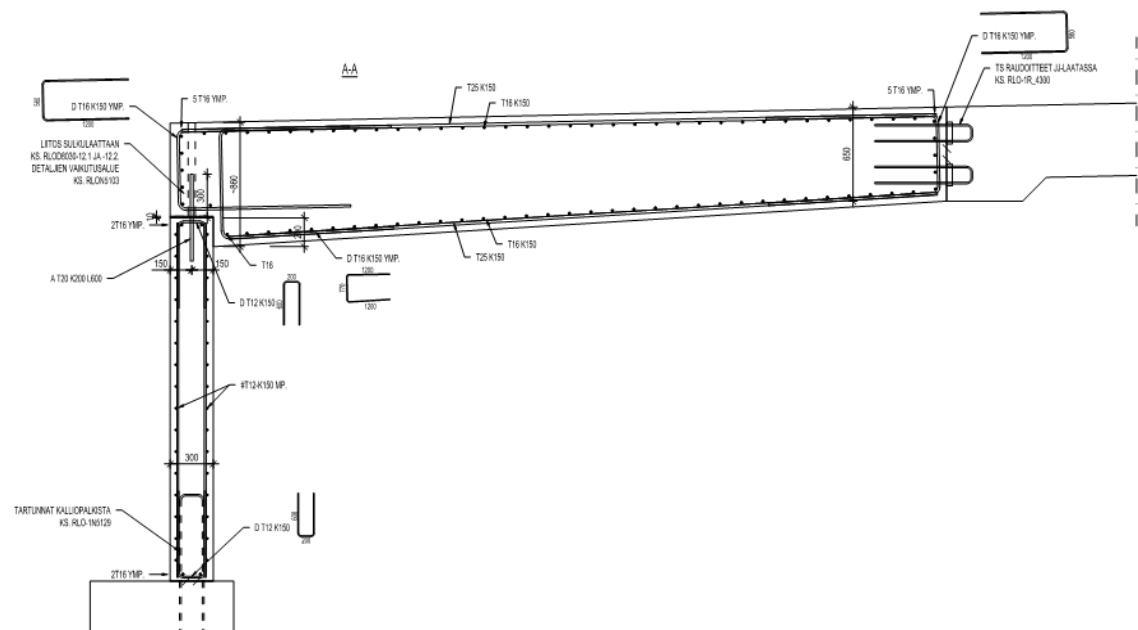
5.6 Raudoitustyön edellyttämät vaatimukset

Raudoitukset tulee asentaa ja valmistaa piirustusten mukaisesti ja annettujen ohjeiden mukaan. Käytettävät teräslaadut esitetään suunnitelmissa ja ainoastaan hitsattavia teräslaatuja saa hitsata. Raudoitteet valmistetaan käyttäen SFS-standardien mukaisia teräslaatuja sekä menetelmiä. Raudoitteet puhdistetaan tartuntaa huonontavista aineista ennen muotteihin sijoittamista. Ruosteen kehittyminen raudoituksessa ei saa olla niin pitkälle edennyt, että se heikentäisi teräksen lujuutta taikka sitkeyttä. Raudoitteet tuetaan muotteihin välikkeillä tai työraudoituksella niin tiheästi ja sidotaan vielä toisiinsa tarvittaessa työraudoitusta hyödyntäen niin lujasti, että raudoitteiden asema betonoinnin jälkeen täyttää paikallavalurakenteiden mittatarkkuusvaatimukset. [7.]

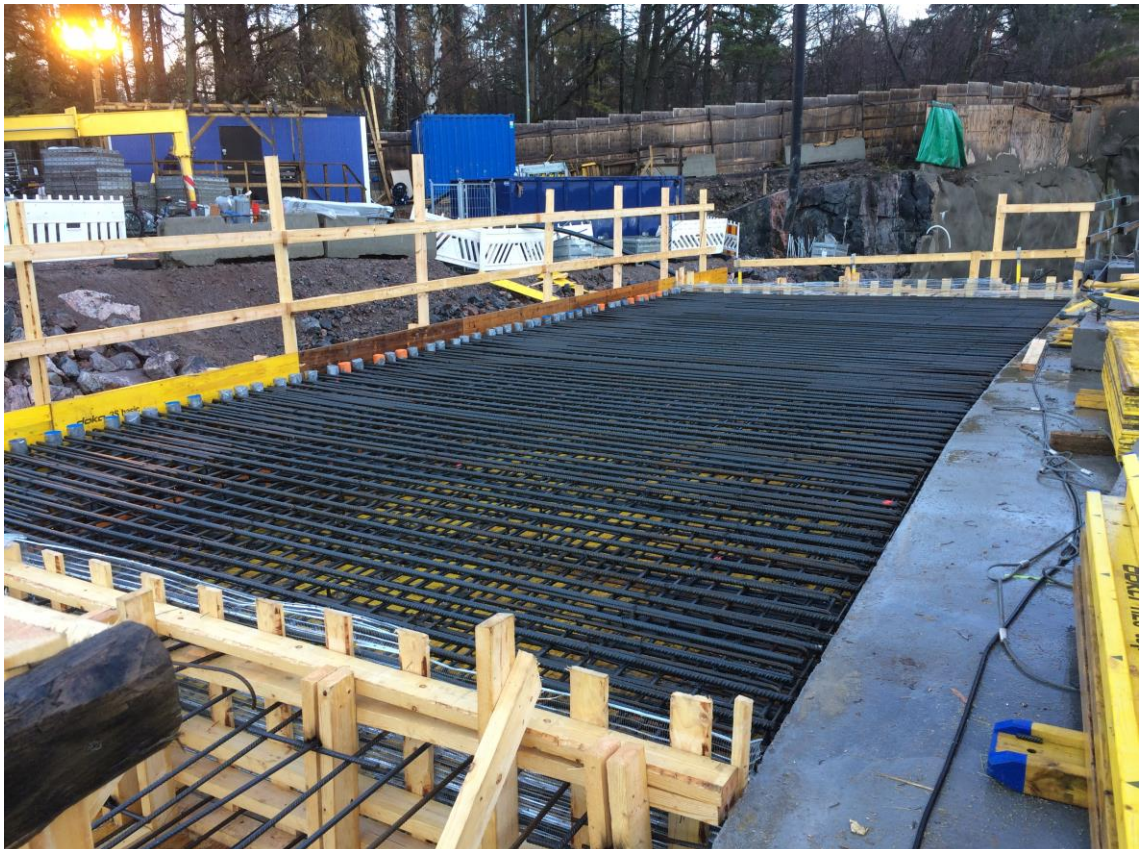
Raudoitetoimittaja on hyväksytetty tilaajalla ennen työn aloittamista ja tarvittavat laatu-dokumentit on saatu toimittajalta.

5.6.1 Raudoitussuunnitelma

Raudoitus tehdään noudattaen rakennesuunnittelijan laatimia raudoituspiirustuksia. Suunnittelu työn toteutukselle tapahtuu siten, että työturvallisuus on varmistettu ja tuleva valutyö on mahdollista suorittaa asianmukaisesti ja turvallisesti. Kaikki rakenteessa olevat varaukset, putkitukset, yms. on mahdollista asentaa ja varmistetaan betonipeitteen paksuuden toteutuminen kiinnittäen siihen erityistä huomiota. Ajatuksena on, että kaikki tämä voidaan varmistaa raudoitustarkastuspöytäkirjan avulla, joka laaditaan raudoitustarkastuksen yhteydessä ja allekirjoitetaan työnjohtajan ja kohteen valvojan puolesta. Raudoitustarkastuspöytäkirjaan on hyvä liittää valokuvia ja kirjoittaa kaikki tarkastuksen aikana esiin tulleet huomiot ja puutteet.



Kuva 9. Sulkulaatan raudoituspiirustus. [16.]



Kuva 10. Sulkulaatan valmis raudoitus. (17.11.2017)

5.7 Muottitöiden laatuvaatimukset

Muotteja ja tukirakenteita varten runkourakoitsijan on laadittava muotti- ja tuentasuunnitelma. Suunnitelmaa laadittaessa otetaan huomioon myös työsuorituksen aiheuttamat kuormitukset. Tämä muotti- ja tuentasuunnitelma hyväksytetään rakennuttajalla sekä rakennesuunnittelijalla.

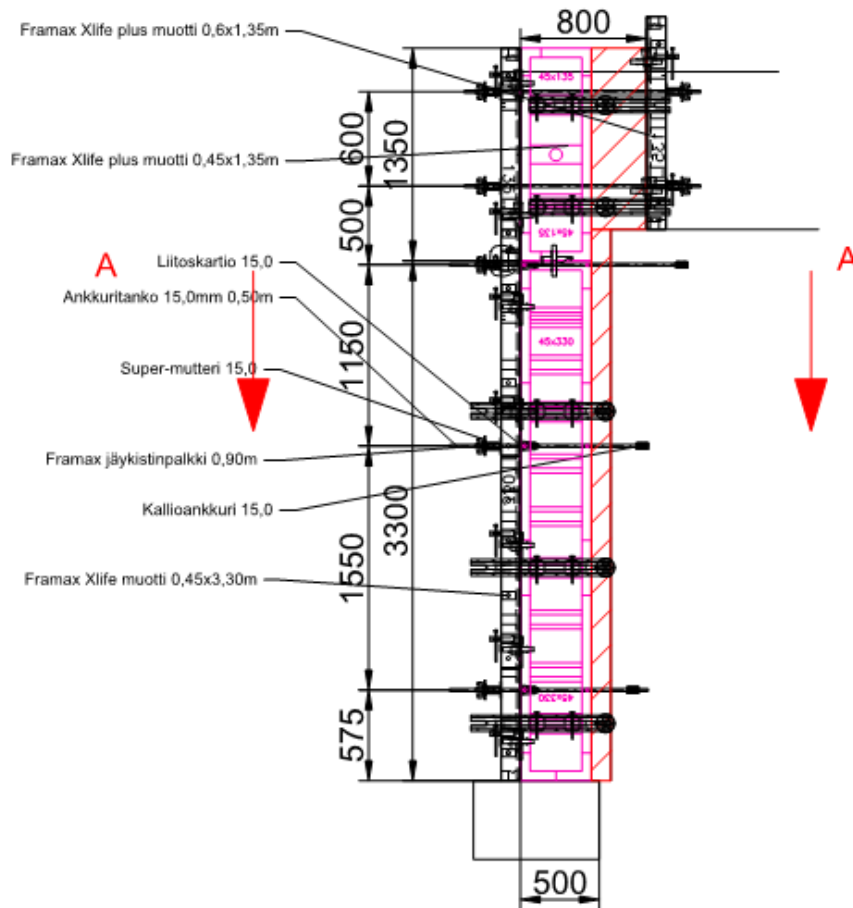
Muottien sekä tuentojen purkamisessa noudatetaan järjestyksen ja ajankohdan suhteen betoninormeja ja rakennesuunnittelijan ohjeistusta. Betonin pitää olla saavuttanut ennen purkamista edellytetty lujuus. Tarpeen niin vaatiessa on lujuus varmistettava kokeellisesti rakennesuunnittelijan ohjeiden mukaan. Muotit tehdään laudoituspiirustusten mukaisesti hyväksi tunnettujen työtapojen mukaan. [7.]

5.7.1 Muottisuunnitelma

Muotit tehdään kohteen monimuotoisuuden, työn toistumisen sekä betoni-pintojen vaatimusten vuoksi DOKA-järjestelmämuotista ja tarvittaessa sahatavarasta.

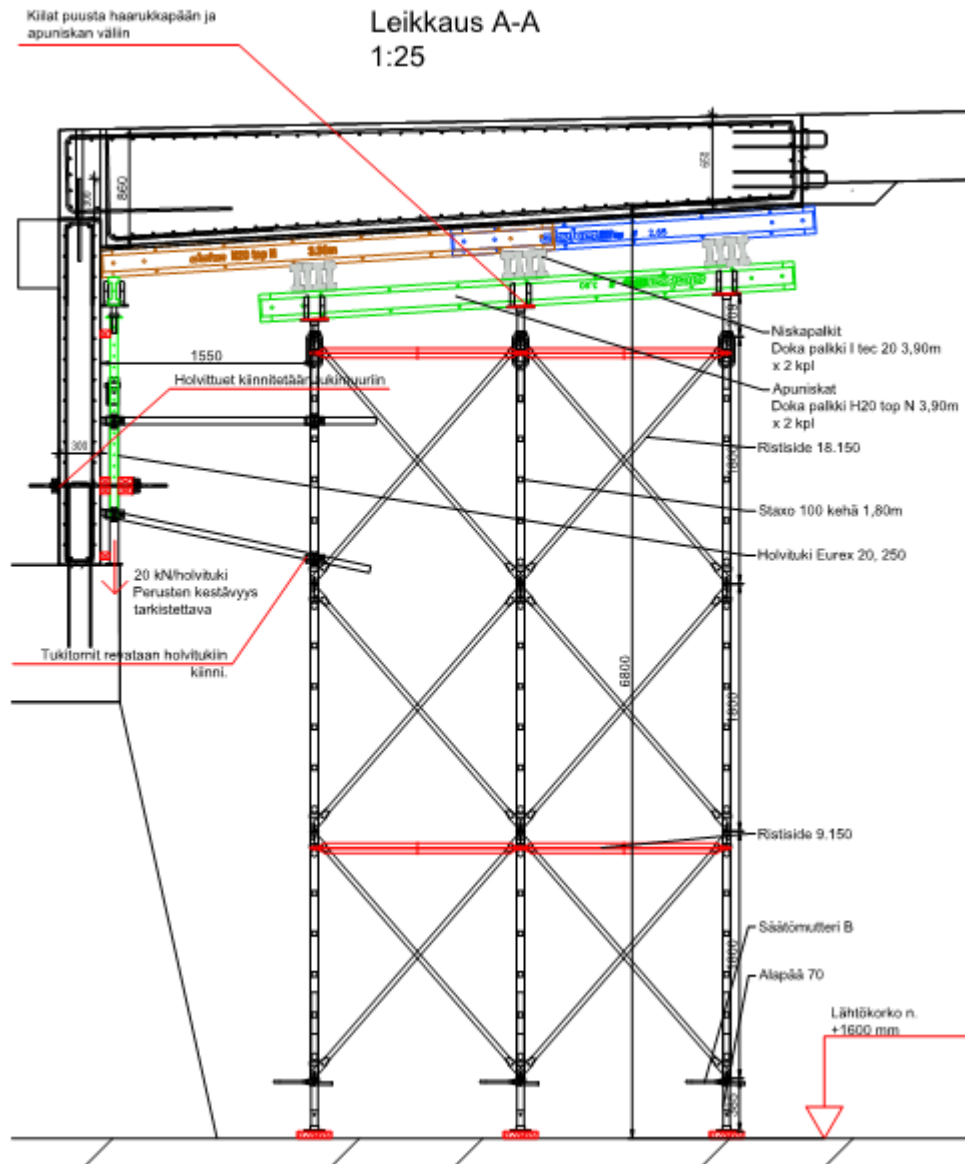
Muottimateriaali sekä muottirakenteen lujuus ja tiiviys vaikuttavat oleellisesti työmaalla valetun betonipinnan ulkonäköön ja laatuun, unohtamatta betonimassan laatua ja oikeaa työsuoritusta. Muotin on oltava lujasti tehty ja hyvin tuettu, ettei se tuoreen betonimassan aiheuttaman valupaineen takia pääse muuttamaan muotoaan. Muottiin myös kohdistuu lisää painetta kun betonimassaa tiivistetään, joten muotin täytyy olla lujasti kiinnitetty. Lisäksi on muistettava muotin tiiveys, jottei betonin sementtiliima puserru muotin saumoista ulos joka heikentää rakenteen lujuutta ja betonipinnan ulkonäköä.

Anturoiden muotti kasataan yleensä sahatavarasta, josta voi valmistaa etukäteen ns. siivuja, jolloin muotin kokoaminen helpottuu ja paikalleen tukeminen on nopeaa. [4.]



Kuva 11. Betonirakennelisäyksen muottisuunnitelma. [16.]

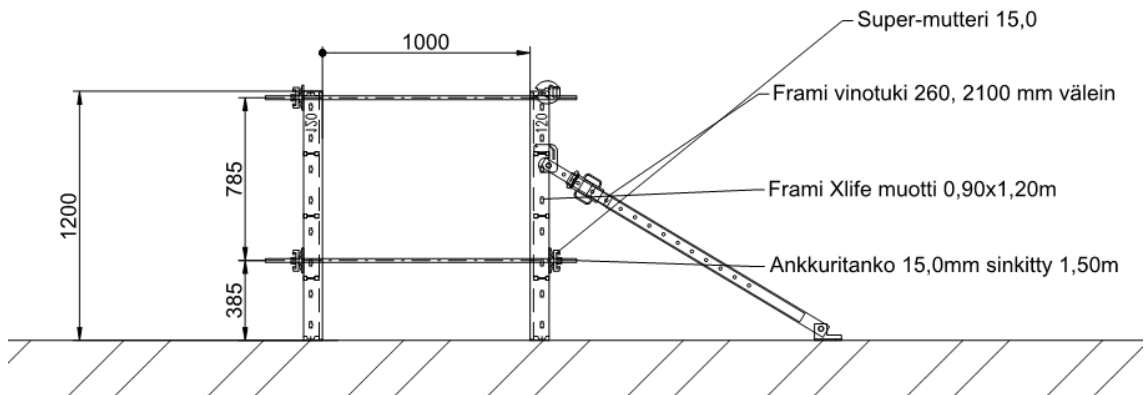
Muottisuunnitelmissa ohjeistetaan noudattamaan jokaisen järjestelmän käyttäjätieto-op-paita ja annettuja asennus- ja käyttöohjeita, ettei vaarannettaisi käyttäjien tai kolmansien henkilöiden terveyttä tai henkeä. Nämä ohjeet ovat tapaus- ja tavarantoimittajakohtaisia, joita on noudatettava.



Kuva 12. Sulkulaatan muottisuunnitelma. [16.]

Muottisuunnittelija laatii rakennelaskelmat, joista selviää käytettävän muotin mitat, jaot ja mahdolliset esikorotukset. Tässä työohjeessa esitetään sahatavarasta valmistettujen pilarianturoiden sekä järjestelmämuotista kasatun pilarin, palkin, tukimuurin ja sulkulaatan muottityön eteneminen. Kalliota vasten valettaessa muotin tiiveys varmistetaan sahatavaralla ja uretaanivaahdolla.

LEIKKAUS A-A 1:25



Kuva 13. Kehäpalkin muottisuunnitelman leikkauskuva. [16.]

Yllä periaatekuvia valukohteen muotin eri osista. Ennen betonointia muotit tarkastetaan betonityönjohtajan toimesta raudoituskatselmuksen yhteydessä. Muottien tarkastuslomake sisältyy betonointisuunnitelmaan ja betonointipöytäkirjaan.

5.7.2 Varaukset ja suojaetäisyydet

Erityistä huomiota on kiinnitettävä raudoituksen tuentaan, sähköputkien kiinnittämiseen ja varauksiin. Mahdolliset sähköputket kiinnitetään raudoitukseen siten, että niiden taipuminen ja paikoillaan pysyminen on varmistettu. Betonityönjohtaja tarkastaa kiinnitykset ja varausten suojaetäisyydet ennen valua. Varaukset tehdään riittävän vahvoiksi ja kiinnitetään riittävästi, jotta ne pysyvät muodossaan ja paikoillaan valuna aikana. Betonityönjohtaja tarkastaa varaukset ennen valua.

Välikkeiden ja kiinnikkeiden kohdalla muotti- ja raudoitustyön yhteydessä noudatetaan välikevalmistajan asennusohjetta ja suunnittelijan antamaa suojaetäisyysvaatimusta.



Kuva 14. Pumppaamon raudoitus, varausaukot ja välikkeet. (7.8.2017)

6 Betonirakenteiden laadunvarmistuksen seuranta ja toteutus

Rakennesuunnittelijat ovat laatineet muistion työkohteen betonitöiden laadun varmistamiseksi (liite 2), sekä betonointitöistä on oma työselostus, joihin jokainen betonityönjohtaja on perehtynyt. Betonointipöytäkirjat täytetään vaadituilla suunnittelijoiden lähtötiedoilla betonoitavaan kohteeseen ja liitteenä olevat betonikuormakirjat ja raudoitustarkastuspöytäkirja mahdollisine kuvineen toimitetaan valvojan allekirjoitettavaksi. Valvojan antaman suostumuksen jälkeen valu on mahdollista suorittaa. Sweco Asiantuntijapalveluiden määrittämä työselostus Olympiastadionin paikallavalutöistä on noudatettavien asiakirjojen joukossa.

Asiakirjoilla on oma pätemisjärjestys:

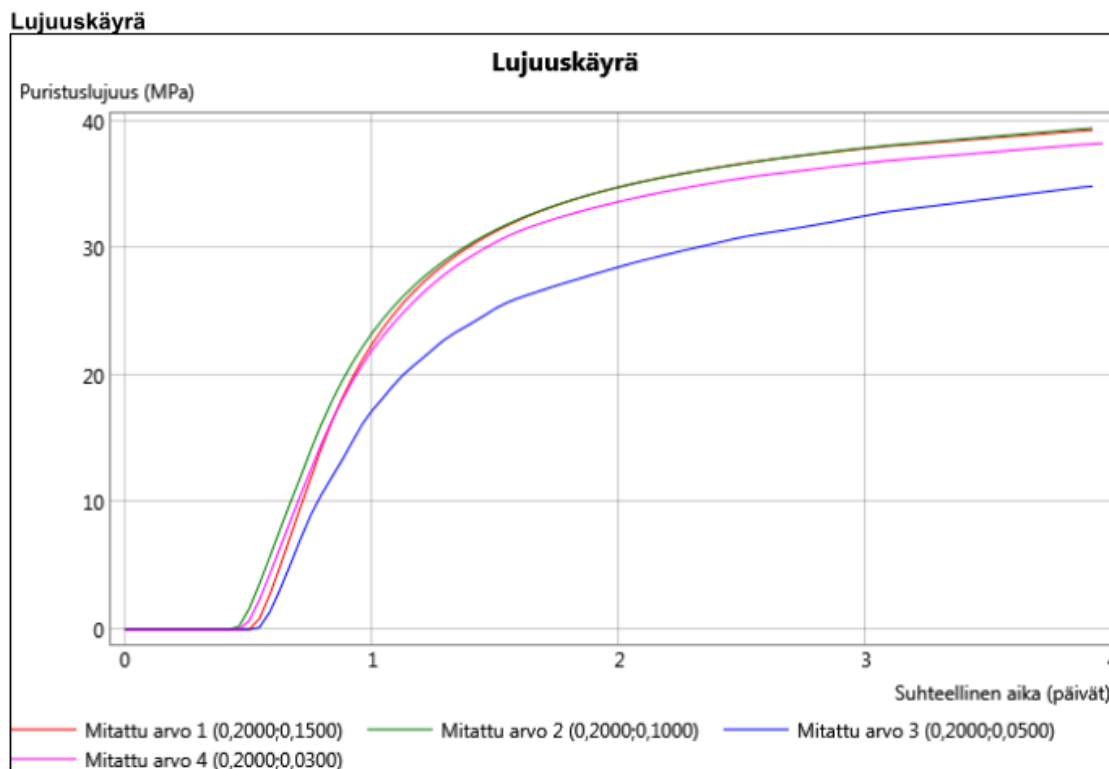
- a) Normit ja viranomaismääräykset.
- b) Paikallavalurakenteiden työselostus.
- c) Rakennepiirustukset ja niihin verrattavat kirjalliset selitykset.
- d) Rakennuttajan ja suunnittelijoiden ohjeet.

6.1 Laadunvarmistus betonin valmistajan toimesta

Olympiastadionille valmisbetonin toimittaa Rudus Oy ja betonipumppauksen hoitaa Betonik Oy. Skanskan oman laadunvarmistuksen ja yhteistyön sujuvoittamiseksi on toimittajille saatettu tietoon Skanskan omat vaatimukset betonimassan toimituksista ja betonin pumppaamisesta.

Ruduksella on käytössä BetoPlus-niminen betonin lujuudenkehityksen hallintaan käytettävä tietokoneavusteinen mittaus- ja laskentapalvelu. Tämän palvelun avulla voidaan tehdä betonirakenteiden lujuus- ja lämmönkehitysarvioita jo ennen valun suorittamista.

Ohjelmalla voi laskea myös valuista tehtyjen lämpötilamittausten perusteella betonin todellista lujuudenkehitystä, joka auttaa muottien purkamisen tai rakenteiden jälkijännittämisen ajankohdan arvioimiseksi. [8.]



Kuva 15. Betoplus-laskelman lujuuskäyrä rakenteen ollessa neljä vuorokautta vanha.

Betonitehtailla laadunvalvonta on yleisellä tasolla kunnossa. Suomessa laadunvalvontakulttuuri betonialalla on elänyt pitkään, joten tehtaita ja betonin valmistusta tarkastetaan tiheään, yleensä kaksikin kertaa vuodessa, kolmannen osapuolen toimesta. Betonin valmistus on normitettu tiukasti ja kun poikkeamia huomataan, niihin osataan puuttua ja korjaavia toimenpiteitä tehdään heti. Tehtailla tehtävä laadunvalvonta on pääosin kunnossa ja täyttää niille asetetut vaatimukset. [12.]

Betonitoimittajan oma laadunvalvonta tehtaalla tapahtuu noudattamalla eurooppalaista standardia SFS-EN 206, jossa on määräykset valmisbetonin valmistukseen ja laadunohjaukseen. Tarkennuksia tähän on annettu kansallisessa liitteessä SFS-7022. Lisäksi Suomessa toimiva KIWA Inspecta (valvova elin) velvoittaa valmisbetonitehtaita noudattamaan heidän valmisbetonin tuoteryhmäohjeita. Näissä viitataan Suomen betoninormiin BY 65, josta löytyy tarkat ohjeet kuinka laadunvalvonta tulee suorittaa. Liikenneviraston kohteissa (sillat) on vielä erikseen Liikenneviraston omat ohjeet siltoihin käytettävään betoniin. Käytännössä tämä siis tarkoittaa sitä, että betonitehtailla otetaan jatkuvasti näytteitä eri betoniperheistä joista tutkitaan notkeutta, lujuutta, lämpötilaa, tiheyttä ja huokostetuista massoista ilmamäärää. Näytteenottotiheys on määrätty BY 65 normeissa ja riippuu esimerkiksi betoniperheen menekistä. Näytteitä tehdään pääkaupunkiseudun

vilkkaalla tehtaalla lähes tuhat vuodessa. Virallisen arvostelun 28 vuorokauden lujuu-
det puristetaan Ruduksen keskuslaboratoriossa Helsingissä.

Betonia kuljettaessa pääasiallinen tapa tuotteen laatua varmistaessa on riittävän suuri
betonin sekoitusaika. Tällöin betonissa olevat raaka-aineet eivät enää reagoi kuljetuksen
aikana ja pysyy näin stabiilina kuljetuksen ajan. Betoniauton myllyä pyöritetään ohjeen
mukaisesti aika ajoin, että notkeus pysyy toivottuna. Jos kuljetus tai valu venähtää, on
kuljettajilla mukana notkistinta, jota he voivat lisätä ohjeen mukaisesti autokuormaan.
Silmämääräinen tarkastelu on myös olennainen osa. Lisäksi nykyään voimakkaasti kas-
vanut työmaalaadunvalvonta valvoo saapuvan tuotteen kelpoisuutta ja laatua työmaalla.

Ruduksella on käytössään oma laadunvalvonnan käsikirja, jota päivitetään aktiivisesti ja
käydään läpi säännöllisesti. Laadunvalvonnan käsikirjassa on kuvattu muun muassa laa-
dunvalvonnan tehtävät ja osoitettu niille vastuuhenkilöt.

Betonitoimittajan laatua valvoo myös ulkopuolinen osapuoli, KIWA Inspecta. KIWA In-
specta valvoo kaksi kertaa vuodessa jokaisen Ruduksen tehtaan, jossa käydään läpi
jokainen laadunvalvontatulokset, näytteenottoitiheys, annostelutarkkuus sekä henkilökun-
nan pätevyydet. KIWA Inspecta käy myös keskuslaboratoriossa kaksi kertaa vuodessa.

Betonin lujuuden alittuessa betonitoimittaja ottaa käyttöön Inspectan tuoteryhmäohjeen
(TR 14), jossa on tarkka ohjeistus kuinka toimitaan epätyytyttävän laadun johdosta. Asi-
asta on ilmoitettava välittömästi asiakkaalle ja Inspectalle, jolloin aloitetaan selvittämään
alituksen vaikutusta käyttökohteessa sekä etsimään syytä lujuuden alitukselle. BY 65
normeissa käydään läpi lujuustulosten vaatimuksenmukaisuus, mikä on melko monimut-
kainen prosessi. (Esimerkiksi yksittäinen 0,5 megapascalin alitus on eri kuin 4,5 MPa:n
alitus.) Vaatimuksenmukaisuudet raportoidaan aina Inspectalle. Syy voi kuitenkin löytyä
esimerkiksi huolimattomasti tehdystä koekappaleesta tai standardin vastaisesta koekap-
paleen säilytysolosuhteesta (työmaalla tehdyt koekappaleet).

Betonitoimittaja seuraa ilmamääriä mittaamalla niitä tehtailla päivittäin useampaan ker-
taan. Jos ilmamäärä on liian suuri, kuormaa ei toimiteta työmaalle. Ilmamääriä mitataan
nykyään hyvin paljon myös työmailla, joista kuorma lähetetään kierrätykseen (kaatopai-
kalle), ilmamäärän ollessa liian suuri. Betoniasemilla joudutaan melko usein muutta-
maan betonimassan huokostinmääriä ilmamittaustulosten perusteella. Ennakkokokeita

tekemällä on tarkoitus selvittää ilmamäärän pysyvyys kuljetuksen ja esimerkiksi pump-pauksen jälkeen. [15.]

6.1.1 Ilmamäärien mittaaminen

Pakkas- ja säänkestäviin rakenteisiin lisätään huokostimia tuomaan rakenteelle kykyä kestää märkänä toistuvaa sulamista ja jäätymistä. Huokostimet ovat pinta-aktiivisia lisä-aineita, jotka vaikuttavat betonimassaan sekoituksen aikana tekemällä siihen pieniä py-syviä ilmahuokosia. Riittävä suojahuokosmäärä ja betonin huokostaminen ovat tärkeitä silloin kun betonin pakkasenkestävyys halutaan varmistaa. Vesi laajenee jäätyessään 9%, jos betonin huokokset ovat täynnä vettä, aiheutuu jäätyvän veden paineesta betoniin mikrohalkeilua. Huokostimia käyttämällä vähenee yleensä betonin vedentarve ja mas-saan syntyvät ilmakuplat parantavat massan työstettävyyttä sekä koossapysyvyyttä. [13.]

Säänkestävien betonien lisäaineiden toiminnan hallittavuudessa on ollut ongelmia, jol-loin osa lisäaineyhdistelmistä yhdistettynä betonin muuhun suhteitukseen ja lyhyeksi jää-nyt sekoitus aika ovat johtaneet betonin ilmamäärien merkittävään nousuun. Ilmamäärät ovat nousseet vielä kuljetuksen ja ehkä myös valutyön aikana. Ilmamäärien hallitsema-ton kasvu on aiheuttanut lujuuden jäämistä vaadittua heikommaksi. [12.]

Olympiastadionille tulevan betonin ilmamäärät otetaan painekokeellisesti laborantin toi-mesta työmaalla. Kuluneen vuoden aikana on laitettu ilmamäärät tarkkailuun kesällä 2016 sattuneiden lujuuspuutteiden takia epäonnistuneet betonirakenteet. Ilmamäärien mittaaminen on tärkeä osa laadunvarmistuksen toimivuutta, sillä jo yhdenkin prosenttiyk-sikön muutos rakenteen ilmamäärässä vastaa viiden prosentin menetystä betonin puris-tuslujuudesta. Tämän vuoksi Aalto yliopiston toteuttama 'Robust Air' -nimellä kulkeva tilaustutkimus betonin ilmamäärien kohoamiseen vaikuttavista tekijöistä aloitettiin alku-vuodesta 2017 useamman eri tahon rahoittamana (mm. Liikennevirasto, Betoniteollisuus Ry, Finnsementti Oy). [9.]



Kuva 16. Ilmamäärämittaus ja painumakoe tuoreesta massasta. (23.8.2017)

6.2 Laadunvarmistus betonointityössä

Lähtökohtana betonointityön onnistumiselle on suunnittelijoiden laatima paikallavalurakenteiden työselostus. Kaikkia betonitöitä varten on laadittu betonointisuunnitelma ja se tulee olla esitettyä rakennesuunnittelijalle 2 viikkoa ennen työn aloittamista. [7.]

Betonoinneista pidetään betonointipöytäkirjaa, jonka liitteeksi tulevat kuormakirjat, raudoitustarkastuspöytäkirja ja mahdolliset muut valvojan kanssa läpikäytyt asiat.

Toteutusluokka 3 ja toleranssiluokka 2 tehtävien rakenteiden aikana tulee työmaalla olla poikkeuksellisen vaativan luokan betonityönjohtajan pätevyyden omaava henkilö.

6.3 Betonitöiden suorittaminen

Massiivirakenteet betonoidaan käyttäen rakenteen tarkoitukseen sopivaa sementtiä sekä sellaista betonin koostumusta ja valmistusmenetelmää, että rakenteelle saavutetaan sille asetetut vaatimukset ja vältetään haitoilta, kuten halkeilulta.

Betonointityö suoritetaan siirtämällä betonimassa muotteihin niin, että massa tulee tiivistettyä kauttaaltaan ja liittyminen saumattomasti jo muotissa olevaan tuoreeseen betoniin tapahtuu ennen massan kovettumista. Pystyrakenteiden nousunopeus rajataan niin, ettei haitallisia jälkipainumia pääse syntymään. Tärkeää on muistaa, ettei betonimassan pudotuskorkeus ole niin suuri, että betonimassa pääsee erottumaan. Rakenteiden poikileikkausmuutosten kohdalla pidetään tauko tarvittaessa ja suoritetaan jälkitiivistys.

Huomion arvoisia betonimassan tiivistysohjeita on muun muassa:

- Palkin ja laatan valukerroksen paksuuden tulee olla enintään 500 mm.
- Tiivistyksen helpottamiseksi massaa voidaan notkistaa. Nesteytettykin betoni on tärytettävä, mutta vähemmän kuin jäykkää massaa.
- Massaa ei pidä siirtää täryttämällä sen erottumisvaaran vuoksi.
- Betonimassan pudotuskorkeus rajataan valuputkea käyttämällä korkeintaan yhteen metriin. Itsetiivistyvillä massoilla suurempi pudotuskorkeus sallitaan, mikäli massan koossapysyminen on ennakkokokeilla varmistettu.
- Jälkitärytys poistaa plastisen painuman aiheuttamat ongelmat esimerkiksi poikileikkausten muutosten ja yläpinnassa olevan raudoituksen kohdalta.

- Jälkitäryttäminen tiivistää tehokkaasti betonia ja jälkitärytys tehdään ennen kuin betoni on sitoutunut.

Tärytyksen ja plastisen painuman aikana betonin pintaan nousee sementtiliimaa ja vettä. Tämän takia pintakerroksen ominaisuudet jäävät huonommiksi kuin muun betonin. Pinnan hiertämisellä pyritään tiivistämään ja homogenisoimaan pintakerrosta. Pinnan hierontaa aloittaessa betonin pinnalla ei saa olla erottunutta vettä. Hiertotyötä tehdessä on erityisesti varottava kuormittamasta yläpinnan raudoitetta niin, että siihen syntyy raudoitusta betonista irrottavia ja siten tartuntaa sekä säilyvyyttä huonontavaa taipumaa. Itsetiivistyvää betonia käytettäessä tiivistyminen tapahtuu painovoiman vaikutuksesta. Työmenetelmät itsetiivistyvän betonivalun toteutukselle on laadittava toteuttajan ja betonin valmistajan omien kokemusten ja/tai ennakkotestien perusteella. Valettaessa pystyrakenteita itsetiivistyvällä massalla valun nousunopeutta ei tarvitse rajoittaa, vaan valu on edullista suorittaa mahdollisimman nopeasti ilman taukoja. Suositeltava tapa valaa on tehdä muotin alareunaan valuventtiilit. Valuputkea käyttämällä yläkautta valettaessa putki tulisi upottaa jo valettuun betoniin noin puoli metriä. Syy tähän on itsetiivistyvän betonimassan yläpinnan nopea kuivuminen (tätä kutsutaan nahkoittumiseksi) massassa esiintyvän suuren notkistinmäärän ja alhaisen vesimäärän vuoksi. Nahkoittuminen voi aiheuttaa rakenteeseen tahattomia työsaumoja eri betonikuormien välille tai ulkonäköä haittaavia raitoja puhtasvalupintoihin.

Betonointityön suorittajan tulee olla tietoinen yrityksen ja tilaajan laatuvaatimuksista, jotta voidaan pyrkiä laadukkaaseen rakenteeseen. Ennen tehtävän aloitusta on hyvä käydä läpi työryhmän kanssa tehtävän aikataulutavoitteet, kaikki ne keinot, joilla halutut laatuvaatimukset saavutetaan sekä työmaan ja tavarantoimittajien logistiset ratkaisut.

Ongelmien ilmeneminen kustannuksissa, aikataulussa taikka laadussa eivät ole toivottavia etenkin tehtävän jo ollessa käynnissä. Yhtenä tehtäväsuunnittelun osana on hyvä laatia potentiaalisten ongelmien analyysi (POA). Näin pystytään ennakoimaan mahdolliset ongelmat, jotka rakentaessa saattaa ilmetä. [4.]

6.3.1 Betonointiohjeita

Suunnittelijat ovat antaneet rakenteille betonointitöitä varten ohjeistuksen, kuinka vaakasuorat- ja seinärakenteet tulisi valaa.

Vaakarakenteiden joiden korkeus on pienempi kuin 350 millimetriä, voidaan valaa yhdessä kerroksessa. Seinien kohdalla valu on suoritettava vaakasuorina kerroksina, jossa pienin sallittu paksuus on 150 millimetriä, kun taas suurimman ollessa 500 millimetrin suuruusluokkaa.

Valunopeuden tulee olla niin, että nousunopeus on vähintään 200 millimetriä tunnissa ja enintään 500 millimetriä tunnissa. Jos valetaan pilareita, seiiniä taikka korkeita palkkeja niin valussa käytetään valuputkea ainesosien erottumisen estämiseksi. [7.]

6.3.2 Betonipintojen luokitusvaatimus

Betonirakenteiden työselostus vaatii betonipintojen luokitusvaatimuksissa noudatettavan BY 40, Betonirakenteiden pinnat 2003 -kirjan luokan A vaatimuksia, ellei työselostuksessa taikka suunnitelmissa toisin mainita.

Lattiapintojen kohdalla noudatetaan BY 45, Betonilattiat 2014 kirjan mukaisia vaatimuksia, kohdasta rakennetyypit.

Runkourakoitsijan tehtävä on esittää rakennuttajalle mallit eri betonipinnoista ja saatava pinnalle hyväksyntä ennen työn toteutuksen aloittamista. [7.]

Esimerkkinä ennen betonoitavan rakenteen lopullista rakentamista, toteutetaan työmaalla mallivalu, jossa pinta työstetään suunnitelmien mukaan. Mallikatselmus pidetään työnjohtajan, kohteen valvojan sekä arkkitehdin kanssa ja kaikkien osapuolien ollessa tyytyväisiä tulokseen, tehdään tämän hyväksytyyn mallikappaleen mukainen lopullinen rakenne.

6.3.3 Työsaumat

Työsaumoissa käytetään karheaa työsaumaa. Karhea työsauma voidaan toteuttaa ns. pestyllä työsaumalla. Sauma, jonka pinnasta on poistettu laasti pesemällä tai vastaavalla tavalla 2...5 millimetrin syvyydeltä, katsotaan olevan pesty työsauma. Työselostus ohjaa toteuttamaan työsaumat BY50 kohdan 4.2.4.10 mukaan.

Rakenteen ollessa toteutusluokka 3, tulee työsaumat aina esittää piirustuksissa. [7.]

7 Betonirakenteiden toteutuksen onnistumiset ja haasteet

Olympiastadionin betonirakenteet ovat suurimmaksi osaksi valmistuneet, joten onnistumisprosentti on korkealla. Massiivivalujen ennakkosuunnittelun avulla on tehty hyvää tuloista ja pienempienkin valujen toteutuminen on ollut kohteelle vaativiin olosuhteisiin ja tavoitteisiin nähden onnistunutta. Olympiastadionin valutöistä erikoisen tekee myös se, että täytyy yhdistää uutta vanhaan ja rakenteita on niin monenlaisia. Sijaintinsa ja mittavan kokonsa puolesta stadion ei ole mikään helpoin paikka työskennellä.

Laadullisesti ja suunnitelmien mukaan rakennetun rakenteen muitakin tärkeitä seikkoja, jotka täytyy ottaa työvaiheessa huomioon, on saada tavoitteena betonityöt tehdyksi yleisaikataulun määrittämässä ajassa. Yleisaikataulussa ei ole eritelty rakenneosan tekemiseen tarvittavia työvaiheita, vaan ne suunnitellaan siten, että kaikkine työvaiheineen betonirakenne on valmis yleisaikataulussa varatussa ajassa.

Olympiastadionin uudisosan rakentaminen alkoi huhtikuussa 2017 logistiikkakeskuksesta sekä kentän uudelta juoksuradalta. Ensimmäiset valutyöt olivat pilarianturoita tulevaa holvia varten sekä kentällä nauha-anturaa seinän pystytystä varten. Anturoiden muotti- ja raudoitustyö on siinä mielessä helppoa, että työ on todella toistuvaa ja suunnitelmat eivät juurikaan muutu. Alkuun työn haltuunotto on aikaa vievää, mutta aliurakoitsijan kehittyessä ja tottuessa itse kohteeseen, työrytmiin sekä työnjohtajien tyyliin, alkoi näkyä selkeästi parempaa työjälkeä. Betonitoimittajan kanssa kohdatut ongelmat hoituvat keskustelemalla ja tarvittaessa järjestämällä palaveri mahdollisista betonin koostumukseen vaikuttavista asioista tai kuljetuksessa esiintyneistä ongelmista.

Yhteistyö Ruduksen kanssa on sujunut hyvin, ja suurimmat niin sanotut ongelmat on kohdattu massan laadun tasaisuudessa sekä massan tullessa eri tehtailta, on sen koostumuksesta löytynyt omat eroavaisuutensa. Kuljetuksen suhteen Stadionin työnjohtajat ovat olleet tiukkoja, sillä muutaman kerran epäpätevän kuljettajan sattuessa kohdalle, on saattanut valunopeus ja sen myötä valutyö kärsiä tästä häiriötekijästä. Työnjohtajat vuorollaan ovat olleet tarkkoja betonimassan suhteen ja Rudus on ymmärtäväisesti ottanut huonolaatuisen tai vääränlaisen massan takaisin tehtaalleen kaatopaikalle, sillä jokainen osapuoli tiedostaa sen, että vain sellainen massa sijoitetaan muotteihin, joka on suunnitelmiin määrätty. Näin suurissa betonimäärissä mikä Stadionillekin valetaan, on yhteistyön oltava kummankin osapuolen puolesta toimivaa.

Vaikka kesä ja syksy ovatkin betonityöskentelyä varten ihanteellista aikaa, voivat vesisateet pilata hyvinkin suunnitellun valun. Näin melkein pääsi käymään liikuntatilan holvin kanssa, kun loppusyksyyn sijoittunut valupäivä ei ollut sään puolesta kovin suotuisa. Rankka vesisade loppui kaikkien onneksi aamuyöllä, kun valukin oli ohi, mutta hierontotyö ja jälkihoitovaihe pääsivät alkamaan vasta iltamyöhään. Sään armoille joutumista ei pysty väistelemään, mutta ennakoimalla ja hyvin varustautumalla voi onnistumisen todennäköisyyttä parantaa.

Asioita joita ei pysty ennakoimaan on esimerkiksi pumpun rikkoutuminen työmaalla. Varakaluston tilaaminen vie aina oman aikansa, joka merkitsee yleensä päivän pitenemistä vaikuttaen näin muun muassa kustannuksiin. Tällaisen ongelman sattuessa on yleensä saatu varakalusto työmaalle nopeimmillaan tunninkin sisällä, mutta tunti voi kuumalla kesäsäällä olla tuorelle betonimassalle liikaa. Tässä vaiheessa täytyy työnjohtajien olla hereillä, ettei tuore massa pääse jämähtämään odotellessa seuraavaa betonierää aiheuttaen näin turhia valusaumoja, jotka täytyy korjata työn edetessä.

7.1 Suunnitteluvaiheen toteutuminen

Suunnitteluvaiheessa täytyy hyvissä ajoin ottaa huomioon betonoitavan kohteen liikennejärjestelyt, koska sillä on suuri vaikutus betonimassaan ja lopulliseen tuotteeseen. Pahimmillaan betoniauto seisoo ruuhka-aikaan yli tunninkin tungoksessa, jolloin betonimassa pääsee jo vanhenemaan. Massiivivaluissa on hyvä tehdä liikennesuunnitelma ja valut onkin hyvä toteuttaa esimerkiksi ruuhka-aikojen jälkeen iltaisin ja öisin. Hyvänä esimerkkinä toimii juurikin Olympiastadion, sillä kohde on liikenteellisesti haastava ja se sijaitsee ruuhkaisimpien sisääntuloteiden varrella Helsingin keskustassa. Lähin betonitoimittajan betoniasema sijaitsee Jätkäsaarella, joka on aiheuttanut erilaisia aikatauluongelmia betonin toimitukseen ja laadun tasaisuuteen.

Suunnitteluvaihetta ja valupäivän etenemistä helpottaakseen Rudus tarjosi käyttöön vielä beta-vaiheessa olevaa mobiilisovellusta, jolla pystyy seuraamaan betonimassan menekkiä tilausvaiheessa annetun kuutiomäärän mukaan sekä seurata kartalta betoniauton matkaa työmaalle.

Betonitöiden yksi kiinnostava ja koukuttava puoli onkin, ettei koskaan voi varautua liikaa. Täytyy olla aina askeleen edellä, jolloin tarkastikin suunniteltu valupäivä saattaa muuttua

haastavaksi. Tämä tarkoittaa, että työnjohtajien tulee ylläpitää tietotaitoaan, ettei putoa nykypäivän standardien ja tiedon lisääntymisen vauhdista.

8 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin historiallisesti merkittävän kohteen betonitöiden laadunvalvontaan ja sen toteutukseen. Olympiastadion kohteena on niin laaja, että työ rajattiin käsittelemään vain uusien rakenteiden toteutusta, vaikka kohteesta löytyy myös vanhojen pilarirakenteiden manttelointitöitä. Aihe opinnäytetyölle syntyikin juuri siksi, koska tämän päivän betonirakentamisen laadun ongelmat tuntuvat olevan jokaisen ihmisen korvilla, vaikei välttämättä rakennuslalla työskentelisikään. Ajankohtaisena ja jokaista koskevana asiana, oli hyvä luoda työ tämän puheenaiheen ympärille ja koskien vieläpä merkittävää kohdetyömaata.

Työmaan oman laadunvalvonnan tarkkailu on tärkeässä roolissa valutyön onnistumisen kannalta. Verratessa opinnäytetyössä selitetyjä standardeja ja suunnittelijoiden laatimia suunnitelmia, voi todeta, että Stadionin työmaalla tapahtuva laadunvalvonta ja siihen liittyvä dokumentointi ovat hyvällä tasolla. Parantamisen varaa voisi löytyä betonitoimittajan kanssa olevasta kanssakäymisestä. Suurempien valujen pitkän keston takia niiden perinpohjainen suunnittelu on aiheellista. Valu onnistuu sitä paremmin, mitä huolellisemmin kumpikin osapuoli (työmaa ja toimittaja) ovat yhdessä käyneet asian läpi.

Laadunvalvonta on osa betonityönjohtajan ammattitaitoa, mutta ei saa unohtaa betonityöhön muidenkin osallistuvien työntekijöiden pätevyyttä. Valmiista lopputuloksesta saadaan laadullisesti pätevä ja vaatimusten mukainen, kun jokainen osapuoli hallitsee työhön tarvittavat tiedot ja ominaisuudet. Tässä kohtaa työnjohtajan pätevyyttä mitataan, sillä jos työnjohtajalla ei ole tarvittavaa tietoa laatuvaatimusten mukaan suoritettavaan betonointikohteeseen, ei betonointia pysty ohjaamaan turvallisesti hyvän lopputuloksen saamiseksi. Jotta työ varmasti luetaan onnistuneeksi, on tilaajalle saatettava tietoon tarkka dokumentointi tehdyistä betonitöistä, jolloin tilaaja voi varmistaa, että betonointi on suoritettu vaatimusten mukaisesti. Hyvä idea olisikin pitää työryhmä niin pitkään samana, kuin se on mahdollista ja käyttää hyväksi havaittuja aliurakoitsijoita. Tällä voisi varmistaa yhteneväisen sekä laadukkaan työjäljen, joka mahdollisesti pitäisi kulutkin aisoissa.

Hyvin ohjattu ja valvottu työ ehkäisevät rakenteen korjaustarvetta. Huonossa tapauksessa uuden rakenteen saa olla paikkaamassa piankin valun jälkeen ja esimerkiksi betonin pudotuskorkeuden ollessa liian suuri tai tärytys laiminlyödään, saa olla varma siitä, että rakennetta täytyy korjata.

Alalla esiintyvän laadunvalvonnan puutteen takia voisi erilaisia kehitystoimia suositella tuotantoprosessin näkökulmasta. Jo asiakkaan kiinnostuminen betonin ja betonirakenteen ominaisuuksista sekä laadusta (ei pelkästään halvimman hinnan tuijottelu) edistäisi alalla vallitsevaa epävarmuutta. Laatutietoisuus lisääntyy, jolloin keskustelua voisi kääntää laatuun avaamalla asiakkaalle betonin koko laadun sen kaupanteon yhteydessä.

Koska betonin laatu puhuttaa ravistellen koko alan mieltämään, että osaammeko enää tehdä kunnon betonia? Täytyy valmisteleviin toimenpiteisiin ryhtyä heti vaikkei ongelmat olekaan niin yksiselitteisiä. Osan ongelmista pystyy jo nimeämään ja valitettavasti hinta- ja tiukka kilpailutilanne johtavat raaka-ainesäästöihin, mikä puolestaan vaikuttaa massan hallittavuuteen. Selkeä toteamus onkin, että Suomessa talonrakentamisen laatu betonin valmistuksessa ja työmailla tapahtuvien betonointien suhteen olevan suhteellisen hyvissä käsissä. Keskustelua herättäneet lujudenalitukset ja ilmamäärät ovat enimmäkseen yksittäistapauksia ja koskevat P-lukubetoneja että säänkestäviä betoneja, joissa huokostus toimii suuressa roolissa.

Työtä tehdessä heräsi kysymys, että olisiko vielä tarvetta työmaamestareiden lisäkoulutuksiin, jossa olisi tarkemmin käsiteltynä eri betoni- ja sementtilaadut, lämpötilan vaikutukset lujudenkehitykseen, valujen nousunopeudet sekä oikeanlainen betonin tiivistys, talvibetonoinnin vaaroista puhumattakaan. Betonintoimittajatkin voisivat jakaa omaa tietotaitoaan koulutuksien muodossa ja samalla saisi työnjohtajat tuotetietoa ja informaatiota miten erilaiset lisäaineet käyttäytyvät betonimassassa.

Tavoitteeksi työlle asetettiin tarkka selvitys (teoriassa sekä betoninormeja apuna käyttäen) siitä, kuinka betonityöt on hoidettu näin massiivisessa korjausrakentamisen kohteessa, johon tehdään myös paljon uusia tiloja. Betonirakentaminen on kaikessa laajuudessaan tarkkaa ja haastavaa työtä, jota ei tulisi pitää yksinkertaisena työvaiheena. Mitä enemmän tietää betonin käyttäytymisestä eri olosuhteissa ja tilanteissa, on sillä isompi merkitys rakenteen lopullisen onnistumisen kannalta.

Lähteet

- 1 Olympiastadionin hankesuunnitelma. Stadion-säätiö, HKR-rakennuttaja. Verkkodokumentti.
<https://www.hel.fi/static/helsinki/Uutiset/Olympiastadion-hankesuunnitelma.pdf>.
Luettu 1.12.2017.
- 2 Helsingin kaupungin rakennusvirasto, Olympiastadionin kuntotutkimus, WSP Finland Oy, 29.1.2017.
- 3 Betonin valinta. Rudus Oy. Verkkodokumentti.
<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK090403.pdf>. Luettu 9.12.2017
- 4 Suomen betoniyhdistys Oy, Betoninormit 2016 By56
- 5 Betonin rasitusluokat. Finnsementti. Verkkodokumentti.
<http://www.finnsementti.fi/tietoa-betonista/tietoa-betonista-suunnittelijalle/betonin-rasitusluokat-lyhyesti>. Luettu 10.12.2017.
- 6 Talvibetonointikirja. Betoniteollisuus Ry, 2013. Verkkodokumentti.
<http://www.rudus.fi/Download/23829/Talvibetonointi-kirja%202013.pdf>. Luettu 14.12.2017
- 7 Sweco Asiantuntijapalvelut, Olympiastadionin runkorakenteiden työselostus.
- 8 Betoplus-palvelu. Rudus Oy. Verkkodokumentti.
<http://www.rudus.fi/palvelut/betoplus>. Luettu 10.12.2017
- 9 Robust Air –tutkimus. Betoni.com. Verkkodokumentti.
http://betoni.com/wp-content/uploads/2017/10/BET1703_74-79.pdf. Luettu 16.12.2017.
- 10 Robust Air-tutkimuksen tuloksia. Betoniyhdistys Ry. Verkkodokumentti.
http://www.betoniyhdistys.fi/media/betonitutkimusseminaari/al-neshawy-betoniseminaari-2017_05.pdf. Luettu 15.12.2017.
- 11 Skanska lyhyesti. Skanska Oy. Verkkodokumentti.
<https://www.skanska.fi/tietoa-skanskasta/skanska-suomessa/skanska-lyhyesti/>
Luettu 30.12.2017
- 12 Betonirakentamisen laatuketjun loppuraportti. Rakennusteollisuus RT Ry. Verkkodokumentti.
<https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/laatu/2017-betoniselvitys/betonirakentamisen-laatu-tyyppitarkastus-kuntoon-loppuraportin--tiivistelma-ja-toimenpidesuosittukset.pdf>. Luettu 30.12.2017.

- 13 Huokostimet. Finnsementti. Verkkodokumentti.
<http://www.finnsementti.fi/tuotteet/parmix-lisaaineet/huokostimet>. Luettu 5.1.2018
- 14 Betonin lujuudenkehitys. Finnsementti. Verkkodokumentti.
<http://www.finnsementti.fi/tietoa-betonista/tietoa-betonista-pienrakentajalle-ja-rautakauppiaille/betonin-kovettuminen-eli-lujuudenkehitys> Luettu 5.1.2018
- 15 Sähköpostihaastattelu 9.1.2018. Laatupäällikkö Tero Virtanen, Rudus Oy.
- 16 Olympiastadionin rakennesuunnitelmat, Sweco Oy.
- 17 Suomen Rakentamismääräyskokoelma, Osa B4: betonirakenteet. Ympäristöministeriö 2005.
- 18 Kankainen, Junnonen. 1999. Tehtäväsuunnittelu ja –valvonta rakentamisessa. Rakennustieto Oy.
- 19 Muottityö. Betoni.com. Verkkodokumentti.
<http://betoni.com/koti-betonista/rakennustapavaihtoehdot/paikallavalu/muottityo/>
Luettu 8.1.2018
- 20 Betonointisuunnitelma. Betoni.com. Verkkodokumentti.
<http://betoni.com/koti-betonista/rakennustapavaihtoehdot/paikallavalu/betonointisuunnitelma/>. Luettu 11.1.2018

Sisälteen valukohtaisen betonointisuunnitelman			
Työmaa	Olympiastadion	Nro	Päivämäärä
Osoite			
Betonimestari			
Valukohde:			
Liittyy suunnitelmiin:			
MUOTIT			
Muottipinta	<input type="checkbox"/> Vaneri/ havupuu	<input type="checkbox"/> Vaneri/ koivu	<input type="checkbox"/> Filmipinta
Pinnan laatu	<input type="checkbox"/> Luokka 1	<input type="checkbox"/> Luokka 2	<input type="checkbox"/> Luokka 3
Muottioljy	<input type="checkbox"/> MasaOil	<input type="checkbox"/> Muu:	
		Muottien tarkastus	
		Varausten tarkastus	
		pvm ja tarkastaja	
RAUDOITUS (Ohjeet betonipeitteen minimivahvuudesta BY 50 / s. 73)			
Teräslaatu	<input type="checkbox"/> A500HW	<input type="checkbox"/> B500K	<input type="checkbox"/> Jännepunos
Betonipeite yp.		mm tark.	
Betonipeite ap.		mm tark.	
		Väliketyppi	<input type="checkbox"/> Muovi <input type="checkbox"/> Metalli
		Rauditus tarkastettu	
		Terästen aineostodistukset	
BETONIN VAATIMUKSET SUUNNITELMISTA			
Lujuus	<input type="checkbox"/> C20/25 (K25)	<input type="checkbox"/> C25/30 (K30)	<input type="checkbox"/> C28/35 (K35)
	<input type="checkbox"/> C32/40 (K40)	<input type="checkbox"/> C35/45 (K45)	<input type="checkbox"/> MUU:
Rasitusluokka	Suunnittelija määrittää rakenneosittain. (Malli BY 50 / s. 90-91)		
	<input type="checkbox"/> X0	<input type="checkbox"/> XC1	<input type="checkbox"/> XC2
	<input type="checkbox"/> XC3	<input type="checkbox"/> XC4	<input type="checkbox"/> XD1
	<input type="checkbox"/> XD2	<input type="checkbox"/> XD3	<input type="checkbox"/> XS1
	<input type="checkbox"/> XS2	<input type="checkbox"/> XS3	<input type="checkbox"/> XF1
	<input type="checkbox"/> XF2	<input type="checkbox"/> XF3	<input type="checkbox"/> XF4
	<input type="checkbox"/> XA1	<input type="checkbox"/> XA2	<input type="checkbox"/> XA3
		Pakkasbetoni	<input type="checkbox"/> Vesitiiviyys: <input type="checkbox"/>
Kulutuskestävyysluokka:	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
	<input type="checkbox"/> 4	Suojahuokosuhdevaaitimus:	
		Ilmamäärä:	
TOIMINNALLINEN SUUNNITTELU			
	<input type="checkbox"/> Talvibetonointi		
Betonointikalusto	<input type="checkbox"/> Pumppu	<input type="checkbox"/> Hihna	<input type="checkbox"/> Jassikka
Tiivistyskalusto	<input type="checkbox"/> Sauva	<input type="checkbox"/> Palkki	<input type="checkbox"/> Muu, mikä:
Varakaluston sijainti:			
Lämmityskalusto	<input type="checkbox"/> Puhallin	<input type="checkbox"/> Säteilijä	<input type="checkbox"/> Termooni
Suojaustapa	<input type="checkbox"/> Pressu	<input type="checkbox"/> Solumuovi	<input type="checkbox"/> Muovi
Suojausaika	<input type="checkbox"/> Heti valun jälkeen	<input type="checkbox"/> Hierron jälkeen	<input type="checkbox"/> Ilialla klo:
Lämpötilan seuranta	<input type="checkbox"/> Dataloggerilla	<input type="checkbox"/> Manuaalisesti	Vastuuhenkilö: Tommi Siren
			<input type="checkbox"/> Suoraan autosta <input type="checkbox"/> Muu:
			<input type="checkbox"/> Lankka <input type="checkbox"/> Sähkö <input type="checkbox"/> Öljy <input type="checkbox"/> Kaasu <input type="checkbox"/> Kaukolämpö
			<input type="checkbox"/> Styrox <input type="checkbox"/> Kevytpeitto <input type="checkbox"/> Muu:
			<input type="checkbox"/> Aamulla klo:
			<input type="checkbox"/> Erotus
KUSTANNUSSUUNNITTELU JA TOTEUTUMA			
Tavoitearviossa varattu		Suunnitelma	Toteutunut
Betoni	€/m3	€/m3	€/m3
Työ	€/m3	€/m3	€/m3
Pumppu	€/m3	€/m3	€/m3
			€/m3
TOIMITTU BETONI			
Betonin toimittaja	<input type="checkbox"/> Lohja Rudus <input type="checkbox"/> Toimittaja:		
Varmennettu tuotantolaitos	<input type="checkbox"/> Kyllä	<input type="checkbox"/> Ei =>	Koekuutiosuunnitelma laadittu <input type="checkbox"/>
Lujuusluokka	Suurin raekoko #	Notkeus	<input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S3 <input type="checkbox"/> S4
Sementti	<input type="checkbox"/> 32,5	<input type="checkbox"/> 32,5 R	<input type="checkbox"/> 42,5
Sementtityyppi	<input type="checkbox"/> CEM I/A	<input type="checkbox"/> CEM II/A-S	<input type="checkbox"/> CEM II/B-S
Betonityyppi	<input type="checkbox"/> CEM II/A-D	<input type="checkbox"/> CEM II/A-LL	<input type="checkbox"/> CEM II/A-M
	<input type="checkbox"/> CEM III/A	<input type="checkbox"/> CEM III/B	
Lisäaineet	<input type="checkbox"/> Notkistin	<input type="checkbox"/> Tehonotkistin	<input type="checkbox"/> Nesteytin
Seosaineet	<input type="checkbox"/> Lentotuhka	<input type="checkbox"/> Masuunikuonajauhe	<input type="checkbox"/> Jääh. masuunikuona
	<input type="checkbox"/> Jääh. ferrokromikuona	<input type="checkbox"/> Silika	

BETONOINTI

Työryhmä/ Urakoitsija _____

Betonointi alkoi _____

Suunniteltu betonimäärä, m³ _____

Toteutunut betonimäärä, m³ _____

Ilman lämpötila _____

Betonimassan lämpötila _____

Otetut koekappaleet _____

Kuormakirjat

1.		m ³	9.		m ³
2.		m ³	10.		m ³
3.		m ³	11.		m ³
4.		m ³	12.		m ³
5.		m ³	13.		m ³
6.		m ³	14.		m ³
7.		m ³	15.		m ³
8.		m ³	16.		m ³
					0 m ³

Valutauot _____

Suunniteltu valunopeus _____

Toteutunut valunopeus _____

Alussa _____ Lopussa _____

Toimittaessa _____ Peiteltäessä _____

Tunnus _____ Säilytys _____

Tunnus _____ Säilytys _____

Tunnus _____ Säilytys _____

Alka _____

yhteensä _____

JÄLKIHOITO

Pinnan hieto Käsini Kone Puuhierto Teräshieto Linjarointi

Hierro aloitettu _____ Hierro lopetettu _____

Jälkihoitotapa Kastelu Estijälkihoitoaine Jälkihoitoaine Muovi Suodatinkangas

Suojaustapa Pressu Solumuovi Muovi Styrox Kevytpeitto Muu: _____

Jälkihoidon suunniteltu kesto _____

Suojaus aloitettu, pvm/klo _____ Suojaus poistettu, pvm _____

Jälkihoito aloitettu, pvm _____ Jälkihoito lopetettu, pvm _____

LAUDOITUKSEN PURKU JA JÄLKITUENTA

Jos betonoitava kohde on vaakarakenne, suunnittelijalta vaaditaan suunnitelma jälkituennasta

Jäätymislujus _____ MN/m² Jäätymislujuus saavutettu _____

Muottien purkulujuus _____ MN/m² Muottien purkulujuus saavutettu _____

Muottien purku aloitettu _____ Lujuus muottien purkuketkellä _____ MN/m²

Lämpötilaa seurataan Manuaalisesti Lokkerilla Laskelma liitteenä _____

Jälkituennan tuentaväli _____ Jälkituennan purkulujuus _____

Jälkituenta asennettu _____ Jälkituenta poistettu _____

Lujuus jälkituennan lopussa _____ MN/m²

Jälkijännitettävä rakenne

Jännityslujuus suunnitelmassa _____ MN/m² Jännityslujuus saavutettu _____

Jännitystyö aloitettu _____ Jännitystyö lopetettu _____

Pöytäkirja toimitettu

BETONOINTIPÖYTÄKIRJAN HYVÄKSYNTÄ

Paikka _____ Paikka _____

Aika _____ Aika _____

BETONITYÖNJOHTAJA _____ VALVOJA _____



MUISTIO

TOIMEKSIANTO Olympiastadionin perusparannus 2012-2018	TOIMEKSIANNON PÄÄLLIKKÖ Jaakko Yli-Säntti	PÄIVÄYS 2017-01-13
TYÖNUMERO 52987	TEKIJÄ Juhani Tammisto	

Paikallavalettujen betonirakenteiden lujuuden varmistaminen

Helsingin rakennusvalvonta edellyttää rakenteilla olevien kohteiden paikallavalettujen kantavien ja jäykistävien betonirakenteiden lujuudesta tehtäviä lisäselvityksiä 8.12.2016 julkaistun käytännön mukaisesti. Rakennusvalvonta edellyttää pätevän asiantuntijan lausuntoa rakennuksen paikallavalettujen betonirakenteiden lujuuden vaatimuksenmukaisuudesta. Rakennusvalvonnan käytännön mukaan lausunnon antaa pätevä asiantuntija, joka määrittää lujuuden varmistamiseksi tarvittavat riittävät tutkimustoimenpiteet rakennushanke- ja rakennusosakohtaisesti.

Tehdyt paikallavalut

Jo tehtyjen paikallavalettujen betonirakenteiden lujuuden asiantuntijalausannon laatimista varten esitämme seuraavia toimenpiteitä:

1. Rakennesuunnittelijalle toimitetaan kustakin betonin arvosteluerästä seuraavat tiedot:
 - käytettyjen betonimassojen ennakkokoetulokset (tai jatkuvan laadunvalvonnan tai alkutestauksen tulokset)
 - käytettyjen betonimassojen suhteitustiedot
 - työmaalle ajettujen betonimassojen kuormakirjat (tai annosraportit)
 - tiedot siitä, onko betonimassoille tehty notkeuden korjaustoimenpiteitä työmaalla, ja jos on, miten
 - betonivalun lämmönkehityslaskelmat, mikäli sellaisia on tehty
 - betonointisuunnitelmat ja betonointipöytäkirjat
 - urakoitsijan kirjallinen todistus siitä, että betonivalut on suoritettu asianmukaisten laadunvarmistusohjeiden mukaisesti
 - betonivalun lämmönmittaustiedot ja kypsyysskalkelmat
 - betonin lämpökäsittelysuunnitelmat, mikäli tehty
 - erityismenetelmien suunnitelmat, mikäli käytetty (ruiskubetonointi, juotosvalut, sementti-injektointi yms.)
 - poikkeamaraportit, mikäli sellaisia on liittyen joko betonin valmistukseen tai betonointiin.

1 (4)

Sweco Asiantuntijapalvelut Oy

memo02.docx, 2017-03-29 14

TJ z:152987_olympiastadion03-asiakirjat-fmc1-lausunnot ja selvitykset/paikallavalujen betonin vaatimustenmukaisuus/paikallavalujen betoni.docx



2. Rakennesuunnittelijalle toimitetaan tiedot jokaisesta betonikuormasta jolle on työmaalla tehty notkeuden korjaustoimenpiteitä ja rakenneosia(t) johon ko. betonia on käytetty yksilöidään.
3. Rakennesuunnittelijalle toimitetaan tiedot kullakin arvosteluerällä valetuista rakenneosista.
4. Kustakin betonimassan arvosteluerästä valetuista rakenneosista porataan rakennesuunnittelijan määrittelemä määrä rakennekoekappaleita. Rakennesuunnittelija määrittelee rakennekoekappaleiden määrän edellisten kohtien perusteella. Rakennekoekappaleita tehdään vähintään yksi kappale / arvosteluerä.
5. Rakennekoekappaleet tehdään ja niiden puristuslujuus koestetaan standardin SFS-EN 12504-1 mukaisesti. Testaus suoritetaan akkreditoitussa testauslaitoksessa. Rakennesuunnittelija määrittelee myös tarkan paikan poraukselle jotta rakennetta ei heikennetä tarpeettomasti.
6. Mikäli rakenteissa on käytetty XF-rasitusluokan tai P-lukubetonia, määritetään puristuslujuuden lisäksi betonin teoreettinen ilmamäärä huokosjakoanalyysin ja betonin mitatun tiheyden avulla. Huokosjako tulee määrittää ohuthieestä joko menetelmällä VTT-TEST-R003-00 tai standardin SFS-EN 480-11 mukaan. Ohuthiemäärytyksiä tehdään 3 kpl / arvosteluerä.
7. Testauksen suorittanut akkreditoitu koestuslaitos esittää raportissaan täyttääkö tutkittu betoni sille suunnitelmassa asetetut lujuus-, ilmamäärä- ja muut vaatimukset. Testausraportit toimitetaan rakennesuunnittelijalle hyväksyttäväksi.
8. Jos tutkittu betoni ei täytä sille asetettuja vaatimuksia, rakennesuunnittelija päättää jatkotoimenpiteistä yhdessä tilaajan kanssa. Tulosten alittaessa vaatimukset rakennetta ei saa kuormittaa ennen rakennesuunnittelijan antamia ohjeita ja mahdollisia rakenteen vahvistustoimenpiteitä.

2 (4)

MUISTIO

memo02.docx, 2012-03-28

Uudet, tulevat paikallavalut

Uusien paikallavalettujen betonirakenteiden lujuuden asiantuntijalausunnon laatimista varten esitämme seuraavia toimenpiteitä:

1. Rakennesuunnittelijalle toimitetaan kustakin betonin arvosteluerästä seuraavat tiedot vähintään viikkoa ennen betonin valua:
 - käytettävien betonimassojen ennakkokoetulokset (tai jatkuvan laadunvalvonnan tai alkutestauksen tulokset)
 - käytettävien betonimassojen suhteitustiedot
 - betoniaseman laatima ohjeistus sallituista työmaalla tehtävistä notkeuden korjaamistoimenpiteistä. Mikäli ohjeistusta ei ole, betoniaseman on laadittava sellainen.
 - betonointisuunnitelmat
 - betonin lämpökäsittelysuunnitelmat, mikäli tehdään
 - erityismenetelmien suunnitelmat, mikäli käytetään (ruiskubetonointi, juotosvalut, sementti-injektointi yms.).
2. Kustakin betonin arvosteluerästä otetaan näytteet ja valmistetaan koekappaleet puristuslujuustestausta varten. Näytteitä otetaan ja koekappaleita valmistetaan kustakin arvosteluerästä seuraavat määrät:
 - kolme koekappaletta arvosteluerästä, jonka koko on korkeintaan 200 m3
 - lisäksi yksi koekappale kutakin alkavaa 100 m3 kohti
 - edellisten lisäksi yksi koekappale kustakin betonikuormasta, jolle työmaalla tehdään notkeuden korjaamistoimenpiteitä.Näytteet otetaan eri kuormista standardin SFS-EN 12350-1 mukaisesti.
3. Mikäli arvosteluerän betoni on XF-rasitusluokan tai P-lukubetonia, mitataan betonimassan ilmamäärät valutyön aikana standardin SFS-EN 12350-7 mukaisesti.
4. Puristuslujuustestin koekappaleet valmistetaan ja jälkihoidetaan standardin SFS-EN 12390-1 mukaisesti. Koekappaleiden puristuslujuus määritetään standardin SFS-EN 12390-3 mukaisesti. Testaus suoritetaan akkreditoitussa testauslaitoksessa.
5. Tarvittessa tarkennetaan näyteenottomäärää.
6. Testien tulokset toimitetaan rakennesuunnittelijalle.
7. Betonoinnin jälkeen rakennesuunnittelijalle toimitetaan seuraavat tiedot:
 - betonivalun lämmönmittaustiedot ja kypsyyslaskelmat
 - poikkeamaraportit, mikäli sellaisia on liittyen joko betonin valmistukseen tai betonointiin

3 (4)



- betonointipöytäkirjat
- urakoitsijan kirjallinen todistus siitä, että betonivalut on suoritettu asianmukaisten laadunvarmistusohjeiden mukaisesti.
- 8. Testauksen suorittanut akkreditoitu koestuslaitos esittää raportissaan täyttääkö tutkittu betoni sille suunnitelmassa asetetut lujuus-, ilmamäärä- ja muut vaatimukset. Testausraportit toimitetaan rakennesuunnittelijalle hyväksyttäväksi.
- 9. Jos tutkittu betoni ei täytä sille asetettuja vaatimuksia, rakennesuunnittelija päättää jatkotoimenpiteistä yhdessä tilaajan kanssa. Tulosten alittaessa vaatimukset rakennetta ei saa kuormittaa ennen rakennesuunnittelijan antamia ohjeita ja mahdollisia rakenteen vahvistustoimenpiteitä.

Arvosteluerien muodostaminen

Sekä jo tehdyissä betonivaluissa että uusissa betonivaluissa arvosteluerien muodostamisessa noudatetaan seuraavia periaatteita:

1. Arvosteluerä on valmistajakohtainen.
2. Arvosteluerä on betonilaatukohtainen. Kaikki erilaiset lujuusluokan ja XF-rasitusluokan tai P-luvun yhdistelmät kuuluvat eri arvostelueriin.
3. Suhteitukseltaan, sideainekoostumukseltaan tai lisäaineiltaan (myös työmaalla lisätyt lisäaineet) erilaiset betonimassat kuuluvat eri arvostelueriin.
4. Arvosteluerä on rakenneosakohtainen.

Tarvittaessa rakennesuunnittelija määrittelee arvosteluerät. Tulevissa betonivaluissa arvosteluerät määritellään ennen betonirakenteiden valua.

Kunnioitavasti

Jaakko Yli-Säntti, vastaava rakennesuunnittelija
Sweco Asiantuntijapalvelut Oy

4 (4)

MUISTIO

