

Otto Kriktilä

Puhdasvaluseinien työmenetelmien kehittäminen

Opinnäytetyö
Rakennustekniikka

2018



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Otto Kriktilä	Rakennusinsinööri (AMK)	Joulukuu 2018
Opinnäytetyön nimi		30 sivua 1 liitesivua
Puhdasvaluseinien työmenetelmien kehittäminen		
Toimeksiantaja		
Skanska Talonrakennus Oy		
Ohjaaja		
Sirpa Laakso		
Tiivistelmä		
<p>Ajatus opinnäytetyöni aiheesta syntyi Olympiastadionin perusparannuksen työmaalla, jossa Skanska Talonrakennus toteutti porraskuilujen ja alituskäytävien puhdasvalurakenteita vanhan stadionin alle louhittuihin tiloihin. Työkohteet olivat erittäin haastavia sekä tilanpuutteen, että haastavan logistiikan vuoksi. Rakenteet olivat pääsääntöisesti korkeita seiniä, jotka toteutettiin koottavilla suurmuoteilla. Muottityö tehtiin käsityönä, sillä nostokaluston käyttö ei ollut mahdollista. Betonoinnit toteutettiin pitkällä letkulinjoilla ja tästä syystä betonointi satoi normaalia suuremman työryhmän. Betonoinnissa käytettiin pääsääntöisesti hienosuhteitettua rakennebetonia ja valuteknisesti erityisen haastavissa kohteissa IT-betonia.</p> <p>Opinnäytetyössäni pyrin selvittämään puhdasvalurakenteiden työmenetelmien kehittämistä kohteissa, joissa kaikki työ joudutaan tekemään käsityönä. Opinnäytetyöni tutkimus keskittyy selvittämään muottityö- ja betonointitekniikoita rakentajan näkökulmasta, sekä tuntitöinä tehtävien rakenteiden kustannustehokkuutta eri työmenetelmiä käytettäessä. Opinnäytetyön tutkimus perustuu pitkälti omakohtaisiin kokemuksiini Olympiastadionin työmaalla vuosina 2017 ja 2018, jolloin toimin siellä urakkavalvojana.</p> <p>Tutkimuksen lopputuloksena on yhteenveto suositeltavista työmenetelmistä, joita voidaan käyttää ja soveltaa toteutettaessa paikallavalettuja puhdasvalurakenteita haastavissa työkohteissa.</p>		
Asiasanat		
Puhdasvalu, betonointi, muottityö		

Author	Degree	Time
Otto Krikitilä	Bachelor of Engineering	December 2018
Thesis title		29 pages 1 pages of appendices
Development of working methods for fair face concrete structures		
Commissioned by		
Skanska Talonrakennus Oy		
Supervisor		
Sirpa Laakso		
Abstract		
<p>Between the years 2017 and 2018, Skanska Talonrakennus Oy had a repair construction site in Helsinki Olympic stadion. It was a largest repair construction site that Skanska had ever had in Finland. On the site, there were places where Skanska had to build fair-face concrete structures in difficult locations under the old stadion. There were no chance to use lifting machines for the formwork so everything had to be done with manual work. Most of the structures were high walls, slabs and stairwells.</p> <p>The objective of this thesis was to develop working methods for handling fair face- concrete structures in difficult places and also to compare for costs between different working and casting methods.</p> <p>Research was mostly done on the site by comparing different working methods.</p> <p>The final result of this thesis is a summary of advisable working methods on fair face concrete structures.</p>		
Keywords		
Fair facing, cast-in-place concrete, surface		

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	5
2. OLYMPIASTADIONIN TYÖMAA	6
PUHDASVALUPINNAT	8
3.1 Betonipintojen laatuluokitukset	8
4. PUHDASVALUPINNAN ARKKITEHTI- JA RAKENNESUUNNITTELU	10
5. PUHDASVALURAKENTEISSA KÄYTETTÄVÄ MUOTTIKALUSTO	11
6. PUHDASVALURAKENTEIDEN DETALJIIKKA	12
6.1 Työsaumat	12
6.2 Työsaumalistat	12
6.3 Tiivisteet ja listat	13
7. PUHDASVALURAKENTEEN BETONOINTI JA KÄYTETTÄVÄT BETONILAADUT	13
7.1 Betonointi	14
7.2 Betonimassat ja niiden suhteitus	15
7.3 Itsetiivistyvä betoni	16
8. VIRHEET VALMIISSA BETONIPINNOISSA	18
8.1 Betonipintojen värivirheet	18
8.1.1 Kalkkihärme	18
8.1.2 Alkalihärme	19
8.1.3 Pystypintojen verhomainen väriero	19
8.1.4 Betonipintojen likaantuminen	20
8.2 Betonipintojen geometriset virheet	21
8.2.1 Valuhuokokset	21
8.2.2 Pintojen käyryys ja aaltoilu	22
8.2.3 Valuhaavat	22
8.2.4 Pintojen hammastukset, syvennykset ja nystermät	22
8.2.5 Pintabetonin irtoaminen	23
8.2.6 Betonin halkeilu	23
8.2.7 Harvavalu	23
9. PUHDASVALUPINTOJEN KORJAUS	24
10. TUTKIMUS	27
11 TULOKSET	29

LIITTEET

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tiedot ja tutkimukset perustuvat pääsääntöisesti oma-kohtaisiin kokemuksiin puhdasvaluseinien työmenetelmistä Olympiastadionin perusparannuksen työmaalla vuosina 2017 ja 2018. Hanke on suurin Skanskan koskaan Suomessa toteuttama urakka, jossa Skanska on yksin pääura-koitsijana.

Skanska-konserni on kansainvälinen rakennusyhtiö, joka toimii Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Skanska Oy on Suomen suurimpia tuotanto- ja toimistotilojen, asuntojen sekä infrastruktuurin projektikehittäjiä ja rakentajista. Vuonna 2017 Skanskan uusien tilausten määrä oli 772,9 miljoonaa euroa. Tilauskannassa oli kasvua 8 % vuodesta 2016. Vuoden 2017 suurimmat tilaushankkeet olivat Olympiastadionin työmaa (156 M €) ja Kainuun sairaala Kajaanissa (69 M €). Suomessa Skanskan toiminta kattaa asuntojen ja toimitilojen projektikehityksen, elinkaarihankkeet sekä rakentamispalvelut. Toiminta Suomessa on jaettu viiteen yhtiöön; Skanska Talonrakennus Oy, Skanska Rakennuskone Oy, Skanska Infra Oy, Skanska Asfaltti sekä Skanska CDF Oy. Toiminta on keskittynyt suurimpien kaupunkien ja niiden kehyskuntien ympärille.

Olympiastadionin perusparannuksen työmaalla rakennettiin paikallavaluna uusia maanalaisia tiloja, kuten alituskäytäviä ja porraskuiluja vanhan stadionin alle, joissa nostokaluston käyttö oli mahdotonta ja seinien muottityö toteutettiin Dokan Frami- käsimuoteilla sekä Dokan Top50 koottavalla suurmuotilla paikalla kasaten.. Puhdasvaluseinien muottipinnaksi arkkitehti oli hyväksynyt Wisa-form Elephant- muottivanerin. Käytettävä betoni oli valkobetonia, jonka väri tehtiin lisäämällä titaanioksidia 2 % sementin määrästä.

Tarve työmenetelmien kehittämiseen ilmeni haastavien muottityö- ja valukohdeiden vuoksi. Kohteet toteutettiin tuntitöinä. Vaikeiden työkohteiden johdosta ei urakoiden aikataulu, eivätkä kustannukset pitäneet. Opinnäytetyöni tarkastelee erilaisten muottityö - ja betonointitekniikoiden vaikutusta aikatauluun ja kustannustehokkuuteen. Opinnäytetyön näkökulmana on ” kuinka rakenteet olisi pitänyt toteuttaa” ja siinä on tarkasteltu menetelmiä, joita olisi ollut mahdollista käyttää Olympiastadionin työkohteissa.

2. OLYMPIASTADIONIN PERUSPARANNUS

Helsingin olympiastadionin rakennustyöt alkoivat helmikuussa vuonna 1934 ja se valmistui 12. kesäkuuta 1938. Stadionin suunnittelusta vastasivat arkkitehdit Toivo Jäntti ja Yrjö Lindegren. Helsinki sai järjestettäväkseen vuoden 1940 kesäolympialaiset, joiden vuoksi stadionia alettiin pian valmistumisen jälkeen laajentaa. Marraskuun lopulla 1939 syttyneen talvisodan johdosta olympialaiset jouduttiin kuitenkin perumaan mutta stadionilla järjestettiin pienimuotoisia urheilutapahtumia myös sotavuosina. Helsingin oikeus 12. kesäolympialaisten järjestämiseen varmistui kuitenkin 1947 ja ne pidettiin heinä-elokuussa 1952. Kisat alkoivat 19. heinäkuuta ja niihin osallistui 4925 urheilijaa 63:sta eri maasta. Olympialaiset avasi tasavallan presidentti J.K. Paasikivi ja olympiatulen sytytti itseoikeutetusti juoksijalegenda Paavo Nurmi. Suomi saavutti ki-soissa 22 mitalia, joista kuusi oli kultaisia.

Helsingin olympiastadionin perusparannus on hanke, jonka pääurakoitsijana toimii Skanska Talonrakennus Oy ja se toteutetaan vuosina 2016- 2019. Urakamuotona on yhteistoiminnallinen projektinjohtourakka ja tilaajana Helsingin kaupunki. Perusparannus- ja uudistamishanke mahdollistaa olympiastadionin toimimisen kansainvälisten standardien mukaisena monipuolisena tapahtumakeskuksena, niin suurille urheilu kuin kulttuuritapahtumille.

Uudistettavalle stadionille rakennetaan tapahtumajärjestäjille ja yleisölle noin 21 000 m² kokonaan uusia ja 20 000 m² vanhoja tiloja peruskorjataan. Projektin kokonaislaajuus kenttäalue ja katsomoiden uudistus huomioon ottaen on noin 90 000 m². Lisäksi stadionin katsomot katetaan ja WC- ja ravintolatilojen määrä kaksinkertaistetaan (Kuva 1).

Taulukko 1. Olympiastadionin uudistettavat rakenteet (Skanska)



Maanalaiset uudistilat	Museo ja A-katsomo	Teräskatos	Rakenteiden vahvistaminen
Maanalaiset uudistilat nousevat maan pinnalle huimaa vauhtia. Viimeiset suuremmat betonointityöt tehdään kesän 2018 aikana.	A-katsomossa tehdään pienempiä valuja ja alueen katoksen rakenteita korjataan ja uusitaan. Urheilumuseon tiloissa on käynnissä perusparannustyöt.	Stadionin katsomoiden teräskatoksen asennus aloitetaan loppukeväällä 2018.	Julkisivurakenteiden vahvistus eli manttelointi on jo valmistumassa eteläkaarteessa. Manttelointityö jatkuu itäkatsomossa kohti pohjoiskaarretta.

3. PUHDASVALUPINNAT

Infrarakentamisessa puhdasvalupintoja on perinteisesti käytetty siltojen ja tukimuurien näkyviin jäävissä rakenteissa. Talo – ja toimitilarakentamisessa puhdasvalua suositaan sisätilojen betonipinnoissa ja rakennusten julkisivuissa. Tällöin arkkitehdin määräämät betonipinnan vaatimukset ovat usein tiukempia kuin infrakohteissa, sillä loppukäytössä rakennetta tarkastellaan läheltä. Talon ja toimitilarakentamisessa suositaan myös väribetonilla toteutettuja puhdasvalupintoja. Paikallavaletuille betonirakenteille on olemassa useita termejä, joilla pyritään kuvaamaan pinnan laatuluokkaa. Niitä käytetään antamaan kuva halutusta lopputuloksesta.

Puhdasvalupinnalla tarkoitetaan hyvälaatuista betonipintaa ja yleisesti se viittaa laatuluokkaan A. Puhdasvalupinta ei kuitenkaan määritä laatuluokkaa, ohjeita betonipinnan työtekniikasta, eikä käytettävän muotin materiaalista.

Sileävalupinnalla määritetään käytettävä muottimateriaali. esimerkiksi sileät vanerit mutta ei betonipinnan laatuluokkaa.

Raakavalupinta tarkoittaa yleisesti C-laatuluokan betonipintaa ja sitä käytetään pinnoissa, jotka eivät jää näkyviin loppukäytössä, kuten esimerkiksi perustuksissa ja alakattojen yläpuolisissa rakenteissa. (Korpela ym. 2010).

3.1 Betonipintojen laatuvaatimukset ja luokitukset

Muottia vasten valetut betonipinnat jaetaan neljään luokkaan AA, A, B tai C (Korpela ym. 2010). Vaatimukset myös vaihtelevat halutun muottipintamateriaalin mukaan. Puhdasvaluissa, julkisivuissa ja näkyviin jäävissä rakenteissa laatuluokitus on yleensä AA tai A pois lukien tasoitettavat tai muuten päällystettävät pinnat.

By40- luokitusjärjestelmässä on mainittu muottia vasten valetuille pinnoille seuraavia laatutekijöitä ja niiden vaatimuksia; pintojen huokokset, hammastus, pinnan käyryys ja aaltoilu, väri vaihtelu, uran tai ulkoneman hammastus sekä uran tai ulkoneman käyryys ja aaltoilu. Arkkitehtisuunnittelussa haluttua valmista pintaa kuvataan esimerkiksi termillä MUO-AA-E-S, joka tarkoittaa muotilla valettua AA-luokan pintaa, josta on tehtävä ennen muottityön aloitusta malli ja joka suojataan pölynsidonnalla tai muulla pinnoitteella.

Taulukko 2. Paikalla valetuille betonipinnoille asetetut laatuvaatimukset (Suomen Betoniyhdistys r.y.,2003).

Laatutekijät	Vaatimukset				
		Luokka AA	Luokka A	Luokka B	Luokka C
Nystemä					
suurin korkeus	mm	2	3	6	6
suurin leveys	mm	3	9	20	20
suurin määrä	kpl/m ²	10	20	40	40
Syvennys					
suurin syvyys	mm	2	4	7	7
suurin leveys	mm	4	9	15	15
suurin määrä	kpl/m ²	10	20	40	40
Hammastus	mm	1	2	5	5
Valupurse tai valuhaava muottisauman kohdallasuurin korkeus tai syvyys	mm	1	2	4	4
suurin leveys	mm	3	3	6	6
suurin määrä (koskee myös korjatun sauman pituutta)	% muottisaumojen pituudesta	10	20	30	30
Pystysuorassa valettujen pintojen huokokset					
suurin läpimitta ja syvyys	mm	8	10	12	12
suurin kokonaismäärä	kpl/m ²	40	60	100	200
Vaakasuurassa valettujen pintojen huokokset					
suurin läpimitta ja syvyys	mm	7	8	10	10
suurin kokonaismäärä	kpl/m ²	20	40	80	160
Pystysuorassa valettujen pintojen valuvika (aina korjattava)					
suurin koko	mm	ei sallita	0,2	0,3	0,6
suurin määrä	kpl/100 m ²	ei sallita	2	2	4
Vaakasuurassa valettujen pintojen valuvika (aina korjattava)					
suurin koko	mm	ei sallita	0,1	0,3	0,6
suurin määrä	kpl/100 m ²	ei sallita	1	2	4
Pinnan käyryys ja aaltoilusuurin mittapoikkeama	mm/1,5 m	3	5	8	8
Väri vaihtelu	luokat				
harmaat pinnat		B	-		
valkobetonipinnat		A	-		
muut väribetonipinnat		B	-		

4 PUHDASVALUPINNAN ARKKITEHTI- JA RAKENNESUUNNITTELU

Arkkitehdin suunnitelmassa puhdasvaluna toteutettavaa betonipintaa on otettava huomioon, onko lopullinen tavoite tasainen muottia vasten valettu pinta vai esimerkiksi rimalla kuvioitu, käytetäänkö betonissa mahdollisesti väriaineita vai valetaanko normaalilla harmaalla betonilla. Myös kuvioitun pinnan yksityiskohdat ja valettavan kohteen rakenne on huomioitava. Määritettävän

rakenteen ja pintalaadun arkkitehtisuunnittelussa voidaan käyttää apuna jo aikaisemmin tehtyjä rakenteita ja niiden toteutustietoja.

Arkkitehtisuunnittelussa osittain määräävänä tekijänä ovat myös kohteen aiheuttamat mahdolliset rajoitukset, esimerkiksi paikkakunnalta saatavissa olevat betonilaadut, käytettävissä oleva muottikalusto sekä joissain tapauksissa myös työmenetelmien toteutettavuus.

Puhdasvalukohteiden rakennesuunnittelussa on kiinnitettävä huomiota rakenteen mitoitukseen, rakennustekniseen toimivuuteen -ja toteutettavuuteen työmaalla. Kohteen toteutettavuutta voidaan rakennesuunnittelussa huomioida raudoituksen määrällä, työsaumojen jaolla, rakenteen mitoituksella ja sovittamalla yhteen kokonaisuus ja detaljit, jotta toteutus työmaalla on helpompaa. Rakenteet on myös suunniteltava siten, että betonin halkeilun mahdollisuus minimoidaan.

Työmaan ja rakennusurakoitsijan näkökulmasta arkkitehti- ja rakennesuunnittelun yhteistyö suunnitelmia laadittaessa on ensiarvoisen tärkeää. Tällöin suunnitelmat ovat yhdenmukaisia ja ristiriidoilta piirustuksissa vältytään. Yhdenmukaiset ja tarkat suunnitelmat helpottavat toteutusta työmaalla ja näin myös rakennusvirheiden mahdollisuus saadaan minimoitua.

5 PUHDASVALURAKENTEISSA KÄYTETTÄVÄ MUOTTIKALUSTO

Puhdasvalurakenteet voidaan toteuttaa lukemattomilla erilaisilla muottiratkaisuille mutta valmiin betonipinnan laatuvaatimukset toimivat määräävänä tekijänä käytettävän muotin pintamateriaalille.

Yleisesti käytetyimpiä muottimateriaaleja puhdasvalupinnoille ovat erilaiset puupohjaiset muottilevyt, kuten vanerit. Muottilevyt on yleensä pinnoitettu esimerkiksi puumuovikomposiitilla tai fenolifilmikalvolla. Pinnoituksella saavutetaan sileämpi betonipinta ja parempi levyn käyttökestävyys. Pinnoitettujen puulevyjen kestävyys ja käyttökertojen määrä riippuu työtekniikoiden huolellisuudesta ja valmiin betonipinnan laatuvaatimuksista (Petrow, S 2010).

Rima- ja lautamuottipintoja on perinteisesti käytetty rakennuksilla ja ne ovat nykyäänkin suosiossa, kun halutaan ns. elävää betonipintaa. Rima- tai lautamuotin valupintaan voidaan vaikuttaa käyttämällä mitoitettua ja höylättyä sahatavaraa, jolloin pinnasta saadaan sileä ja tasainen. Höyläämätöntä materiaalia käytetään lähinnä raakavalupinnoille. Sahatavarasta tehdyt muotit on myös kastettava tai öljyttävä ennen valua, sillä puu imee vettä betonista ja tällöin sementin sitoutuminen betonipinnassa saattaa pysähtyä ja pintakerros jää irtonaiseksi ja pölyväksi. Lisäksi betoni tarttuu helpommin kiinni öljyämättömään puupintaan ja aiheuttaa muottia purettaessa epätasaisen lopputuloksen. Sahatavarasta valmistetuissa puhtasvalumuoteissa on myös kiinnitettävä huomiota saumojen tiivistämisen yksityiskohtiin, sillä tiivistämättömistä saumoista vuotanut vesi ja sementtiliima aiheuttavat saumaan harvavalun. (Betonikeskus. 2003).

Tietyissä erikoisrakenteissa, kuten kupumuoteissa käytetään myös lasikuidusta ja muovista valmistettuja muotteja. Niiden kanssa työmaatekniikan on oltava huolellista, sillä tiivispintaisina muotteina ne vaativat erityisesti pystyvaluissa hyvän tiivistyksen ja matalat valukerrokset.

Teräsmuottien käyttökestävyys on hyvä verrattuna puumuotteihin mutta niiden vaikean muunneltavuuden vuoksi ne sopivat lähinnä toistuviin rakenteisiin, kuten liukuvaluihin. Teräspinnalla olevalla muotilla saadaan tehtyä suuria kokonaisuuksia, joiden pinta on yhtenäinen ja sileä. Teräsmuotit on aina öljyttävä ja betonin hyvästä tiivistyksestä huolehdittava, sillä kuten muovi- ja lasikuitumuotti teräsmuotti on hyvin tiivis (Doka Finland 2012).

Muottipinnat on puhdistettava huolellisesti jokaisen valukerran jälkeen betonista ja ylimääräisestä muottiöljystä. Muottiöljyn käyttäminen helpottaa kaluston puhdistamista ja muotin irrotusta betonipinnasta. Muottilevyjen siirto, säilytys, varastointi on toteutettava niin, että pinnat eivät pääse vahingoittumaan.

6 PUHDASVALURAKENTEIDEN DETALJIIKKA

Puhdasvalupintoja toteutettaessa on muottityössä ja betonoinnissa huomioitava monia yksityiskohtia, jotta rakenteet saadaan onnistumaan ja vaadittu laatuluokka täyttyä. Ennen työn aloittamista on suunniteltava työsaumojen ja muottilevysaumojen tarkat sijainnit, sekä niiden detaljiikka.

6.1 Työ- ja muottisaumat

Työsaumat ja niiden määrittely ovat keskeinen osa puhdasvalurakenteiden suunnittelua ja käytännön toteutusta, sillä kerralla valettavien valuosien välille syntyy aina betonin kovettuessa sekä vaaka- että pystysuuntaiset työsaumat. Uuden ja jo kovettuneen betonin saumaa ei pystytä häivyttämään ilman työsaumalistojen käyttöä. Työsaumojen suunnittelu vaatii arkkitehdin, rakennesuunnittelijan ja rakennusurakoitsijan yhteistyötä, sillä erityisesti korkeat ja pitkät rakenteet ovat työmaateknisesti haastavia toteuttaa samassa valussa ilman rakenteen valuteknistä katkaisua.

6.2 Työsaumalistat

Mikäli työsaumat eivät ole arkkitehtonisesti hyväksyttäviä ja rakenteen toteuttaminen vaatii valun katkaisua, voidaan työsaumalistoja käyttää häivyttämään eri valuosien välillä syntyvää saumaa. Työsaumalistana voidaan käyttää esimerkiksi 2x2 tuuman rimaa ja se kiinnitetään vaakasuuntaisesti tasaisena naulaamalla tai ruuvaamalla alemman valuosan yläpintaan, jolloin rima hävittää alemman valupinnan aiheuttaman epätasaisuuden ja saumasta tulee täysin suora.

6.3 Tiivisteet ja listat

Erityisesti kappaletavarasta valmistetuissa muoteissa puhdasvalurakenteen riskikohtia ovat muotin erilaiset kulmat, nurkkaukset, sidepulttien reiät ja varaukset, joista vesi ja sementtiliima pääsevät vuotamaan, mikäli muottia ei ole tiivistetty huolellisesti.

Muotin ulkonurkkia voidaan tiivistää käyttämällä kolmiorimaa, jolloin mahdollisuus vuotoihin vähenee. Veden ja sementtiliiman vuotamista voidaan estää

myös tiivistämällä riskikohdat silikonilla, jolloin huolellisella työllä muotista tulee käytännössä vedenpitävä. Varausten ja työsaumarautojen ympärille voidaan lisätä ikkunatiivistenauhaa muottipintaa vasten, jolloin vuoto varauksen sisään estyy.

7 PUHDASVALURAKENTEEN BETONOINTI JA KÄYTETTÄVÄT BETONILAADUT

Suunnitelmien lisäksi keskeinen osa paikallavalettujen puhdasvalurakenteiden onnistumisesta on työmaatoiminnalla, betonoinnin suorittavalla työryhmällä ja betonityönjohtajalla. Työryhmän ja betonityönjohtajan on ennen betonointia pidettävä aloituspalaveri, jossa käydään läpi tulevan valun työmenetelmät, riskikohdat ja työturvallisuus. Aloitettavasta työstä tehdään myös betonointisuunnitelma, jonka toteutumista seurataan valun aikana. Erityisesti haastavissa kohteissa hyvällä suunnittelulla voidaan varmistaa valun onnistuminen ja määrätty betonipinnan laatu saavutetaan.

Ennen muottityön aloittamista muottikaluston kunto tarkistetaan ja, mikäli viallisia muotteja tai osia löytyy, ne poistetaan käytöstä. Lisäksi erityisesti puhdasvalurakenteissa tarkastetaan muottipintojen puhtaus, kunto ja tiiviys.

Työryhmän työskentely alkaa ykkösmuotin pystytyksellä ja rakenteen raudoituksella, jonka jälkeen muotti tuplataan. Muottia tehtäessä on noudatettava rakennesuunnittelun vaatimuksia ja muottisuunnitelman työohjeita. Betoni aiheuttaa muottiin aina valupainetta, joten muotin riittävästä tuennasta on huolehdittava.

Muita huomioon otettavia asioita. (Korpela ym. 2010, s 22.)

- työtelineet, kaiteet ja muut työturvallisuustekijät
- valuaukot ja niiden sulkeminen
- mahdolliset suojaukset betonoinnin aikana

- sääolosuhteiden vaikutus
- betonin lujuuden kehityksen seuranta
- muotin purku
- jälkituenta

7.1 Betonointi

Puhdasvalupintojen betonoinnin valmistelussa ja työtekniikassa on oltava erityisen huolellinen. Ennen betonoinnin alkua työryhmän kanssa käydään läpi tulevan valun yksityiskohdat, huomioidaan valun onnistumiseen vaikuttavat tekijät, kuten vallitsevat ympäristö -ja sääolosuhteet sekä muut mahdolliset skenaariot, jotka voivat vaikuttaa valun onnistumiseen negatiivisesti.

Betoni tilataan tehtaalta, kun pumppu on saapunut työmaalle. Kuormien koko ja kuormaväli on syytä suunnitella huolellisesti, sillä betoni olisi saatava valettua heti, kun se on saapunut työmaalle. Liian pitkä odotusaika työmaalla saattaa aiheuttaa kiviainesten erottumista, joka johtaa värieroihin ja epätasaisuuteen betonipinnassa. Toisaalta myös liian pitkää kuormaväliä on syytä välttää, sillä muottiin jo valettu betoni alkaa kovettua, jolloin valukerrosten väliin muodostuu työsauma. Kuormien tilauksessa on huomioitava rakenteen nostonopeus, joka on pystyrakenteissa enintään 1 m/h.

(Rudus. 2018.).

Laadukkaisiin puhdasvalupintoihin pyrittäessä valukerrosten on oltava matalia, noin 300- 500 mm kerrallaan koko muotin pituudelta. Mikäli rakenteessa on varauksia, tiheä raudoitus tai rakenne on erityisen kapea, on suositeltavaa käyttää vieläkin ohuempia valukerroksia. Betonin pudotuskorkeus on enintään 1 m, joten pystyrakenteiden valuissa on suositeltavaa käyttää valuputkea- tai sukkaa. Korkeammalta pudotettaessa betonimassa osuu raudoituksiin, jolloin kiviaines erottuu ja seurauksen voi olla harvavalu.

Puhdasvalupintojen tärytyksessä käytetään aina sauvatäryttimiä, joiden sauvan halkaisija mitoitetaan rakenteen paksuuden mukaan ja raudoituksen tiheyden mukaan. Suositeltava halkaisija on vähintään 50 mm. Tärysauvan upotus-

kohtien etäisyys riippuu käytettävän betonin notkeudesta ja sauvan vaikutussäteestä. Etäisyys ei kuitenkaan saa olla enempää kuin 40 cm. Pystysuunnassa tärysauva upotetaan edelliseen tiivistettyyn valukerrokseen noin 30 cm matkalle. Tärytyksessä sauvan vaikutusalueiden on mentävä limittäin sekä vaaka, että pystysuunnassa. Sauva nostetaan noin 4 cm/s nopeudella ylös ja tärytysaika yhdellä upotuksella on noin 20 s. Sauvatäryttimen osumista raudoitukseen tai muottiin on vältettävä, sillä se saattaa aiheuttaa värieroja betonipintoihin. Täryttäessä sauvan etäisyys muotin sisäpinnasta on noin 10 cm. Kapeat rakenteet voidaan täryttää keskeisesti. Erityisen kapeissa rakenteissa voidaan käyttää esimerkiksi 32 mm sauvatärytintä.

7.2 Betonimassat ja niiden suhteitus

Puhdasvalubetonin suhteituksessa on tavoitteena homogeenin, hyvin koossapysyvä ja tiivistettävä massa, jonka kuivumiskutistuma on mahdollisimman pieni (Korpela ym. 2010, s 22). Rakennesuunnittelussa on määritetty valettavassa kohteessa käytettävä kiviaineksen raekoko, jonka tulisi kuitenkin olla mahdollisimman suuri. Suurinta raekokoa ja betonin suhteitusta valittaessa on hyvä huomioida betonoitavan kohteen vaatimukset, kuten rakenteen paksuus, raudoitus, varaukset ja valettavuus. Kiviainemäärän ja raekoon kasvattamisella vähennetään vesimäärää betonissa ja samalla myös betonin kuivumiskutistumaa.

Sideaineena puhdasvalubetonissa käytetään pelkkää sementtiä, sillä muut seosaineet, kuten masuunikuona ja lentotuhka saattavat aiheuttaa betonipintaan laikkuja, jotka eivät tasaannu betonin ikääntyessäkään. Tasoitettavilla tai maalattavilla pinnoilla voidaan käyttää myös seosaineita. Sileitä ja huokosettomia pintoja tehtäessä on kuitenkin huomioitava, ettei betonimassan hienoainemäärä kasva liian suureksi, sillä se aiheuttaa kuivumiskutistumaa ja betonipinnan halkeilua (Korpela ym. 2010, s 27).

Puhdasvalubetonin vesi-sementtisuhteen tulisi olla 0,55- 0,60. Kokonaisvesimäärä ei saa olla korkeampi kuin 200 kg/m³. Käytettävän vesimäärän on oltava saman koko valun ajan. Rakenteen säilyvyysvaatimukset aiheuttavat myös rajoituksia vesi-sementtisuhteelle. Puhdasvalubetonin vesimäärää on syytä rajoittaa kulloinkin mahdollisimman pieneksi useammastakin syystä; kuituma pienenee, tiiviys paranee, pienempi vesimäärä takaa tasaisemman värin ja plastinen painuma pienenee. (Korpela ym. 2010, 17.)

Betonimassan pumpattavuuteen vaikuttaa kiviaineksen raekoko sekä hienoaineksen määrä. Mikäli betonoitavalle kohteelle on vedettävä letkulinja, on betonin suhteitus ja valettavan rakenteen vaatimusten kohdattava (Betonikeskus. 2003).

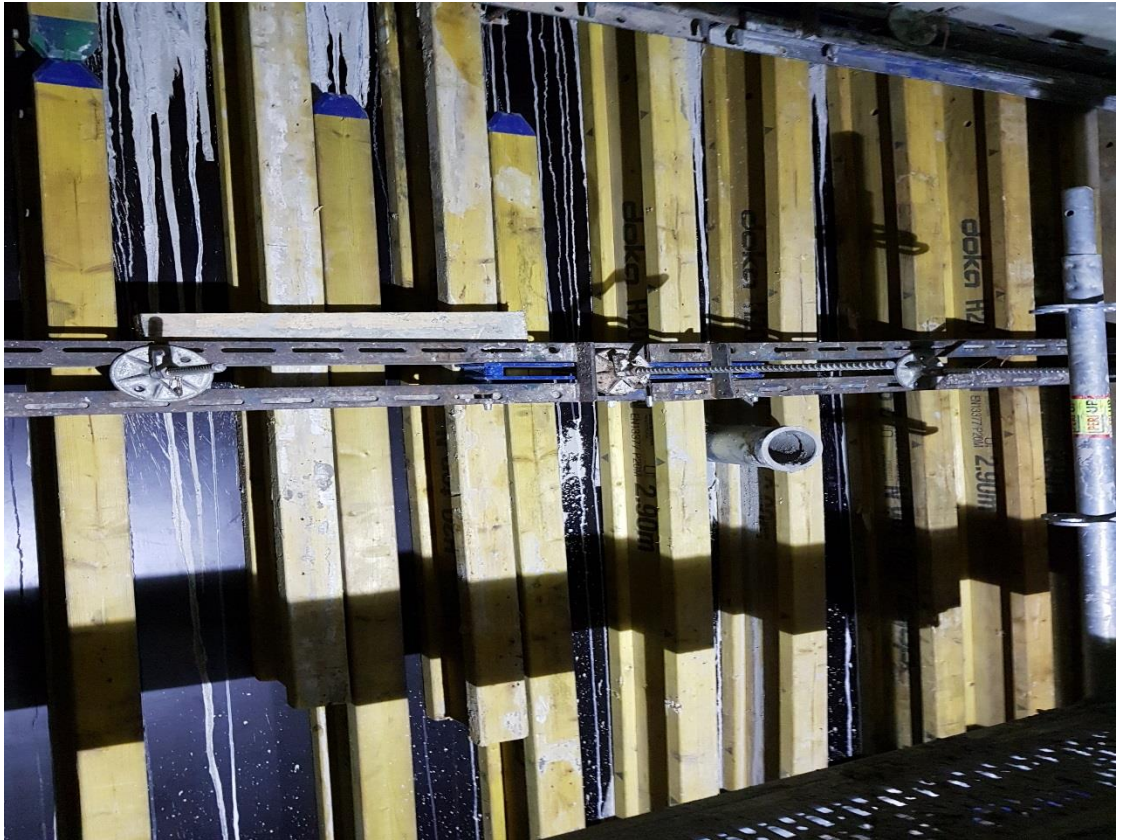
7.3 Itsetiivistyvä betoni

Itsetiivistyvällä betonilla tarkoitetaan notkeusluokan S5 betonia, joka on niin notkeaa, että normaalia tärytystä ei tarvita, vaan betoni tasoittuu itsestään oman painonsa ansiosta. IT-betoneille on ominaista myös suuri painuma-leviämä, jonka tulisi olla käyttökohteesta riippuen noin 650-800 mm.

Itsetiivistyviä betoneita voidaan käyttää niin pysty, kuin vaakarakenteissa mutta luiskaavien ja kaltevien rakenteiden teko ei yleensä onnistu.

Yleisimmät käyttökohteet IT-betonilla ovat kapeat rakenteet tai rakenteet, joissa on erityisen tiheä rauditus, mantteloinnit ja painevalut. IT-betonit ovat suosittuja myös puhdasvalukohteissa, sillä se mahdollistaa tasaisen ja huoko-
settoman pinnan. Myös väri vaihtelut on vähäisempiä IT-betonilla kuin normaali betonilla valettaessa. (Rudus. 2018.).

Itsetiivistyvä betoni asettaa muotin lujudelle enemmän vaatimuksia kuin normaali betoni ja IT-muotti onkin suunniteltava hydrostaattiselle paineelle. It-muotissa valupaine on aina riippuvainen rakenteen korkeudesta. (Kuva 1) (Doka 2012). Muotin on oltava myös tiivis, jotta notkea massa ei pääse vuotamaan ulos. Millimetrien raot muotissa eivät käytännössä haittaa mutta senttimetrin rako saattaa aiheuttaa vuotamista. IT-betoni on kuutiohinnaltaan kalliimpaa kuin tavallinen betoni mutta kustannuksia tasoittaa IT-massan mahdollistama nopea betonointi sekä vähäinen tarve valutyöryhmälle.



KUVA 1. Kuvassa on itsestivistävällä betonilla valettu puhdasvalumuotti Olympiastadionin työmaalta.



KUVA 2. Olympiastadionin työmaalla itsestivistävällä betonilla toteutettuja A-luokan väribetonirakenteita.

8 VIRHEET VALMIISSA BETONIPINNOISSA

Valmiin puhdasvalupinnan virheet voidaan jakaa kahteen luokkaan; värivirheisiin ja geometrisiin virheisiin. Betonipintojen virheiden korjaaminen jälkikäteen on kallista ja täysin samanlaista kuin muottia vasten valettu puhdasvalupinta on lähes mahdotonta saavuttaa paikkaamalla. Puhdasvalupinnat vaativat työtekniikaltaan ja materiaaleiltaan lisätöitä mutta niistä aiheutuvat kustannukset ovat useimmiten vähäisempiä kuin rakenteen korjaaminen. (Taulukko 4)

8.1 Betonipintojen värivirheet

Värivirheiksi luetaan värierot betonipinnassa, alkalihärme, kalkkihärme, likaantumisen ja ruoste. Ruoste betonipinnassa johtuu liian pienestä suojaetäisyydestä tai sidelankojen jäämisestä kiinni muottipintaan.

Betonipintojen värieroja ja kirjavuutta voidaan vähentää (Korpela ym. 2010, s 26.)

- Valitsemalla imukyvyltään mahdollisimman tasainen muottimateriaali
- Käyttämällä osa-aineiden seossuhteiltaan vakioitua, hyvin sekoitettua betonimassaa
- Tiivistämällä betoni yhtenäisesti eri valukerroksissa
- Pitämällä lämpötila ja kosteuspitoisuus mahdollisimman vakiona

8.1.1 Kalkkihärme

Kalkkihärmettä syntyy valmiille betonipinnoille, kun ilman hiilidioksidi reagoi betonissa olevan kalsiumhydroksidin kanssa. Mikäli muotti on purettu aikaisin valun jälkeen, betonipinta jää huokoiseksi ja tällöin ulkopuolinen kosteus pääsee vaikuttamaan betonin pintaan. Betonin huokoisesta pintakerroksesta pääsee vapautumaan kalsiumhydroksidia, joka reagoidessaan ilman hiilidioksidin kanssa aiheuttaa kalkkihärmettä. Kalkkihärmettä muodostuu useimmiten silloin, kun betonin lujoudenkehitys on hidas, muottipinta imukykyinen, ilman lämpötila alhainen ja ilmankosteus suuri. Kalkkihärmeen muodostumista betonipintaan ei voida kokonaan estää mutta sen määrää voidaan vähentää siirtämällä muotin purkamisen ajankohtaa, käyttämällä tiivistä muottikalustoa sekä

välttämällä alhaisia lämpötiloja betonoinnissa. Kappaletavarasta tehdyllä muotilla valettaessa muottilaudat eivät saa olla läpimärkiä.

Kalkkihärme muodostuu ongelmaksi, mikäli sitä esiintyy erityisen paljon tummilla betonipinnoilla tai väribetonipinnoilla. Kalkkihärmeen poistaminen on hankalaa, eikä se onnistu pelkällä vesipesulla. Toimivaksi havaittu menetelmä on käyttää painepesuria ja veden ja hiekan yhdistelmää. Kalkkihärmeen poisto painepesurilla voidaan tehdä aikaisintaan muutaman viikon kuluttua betonoinnista, kun betoni on saavuttanut lopullisen lujuutensa ja pinta on tiivistynyt niin, että uutta härmettä ei pääse muodostumaan. (Korpela ym. 2010, 23).

8.1.2 Alkalihärme

Betonissa on alkalisuoloja, jotka sopivissa olosuhteissa kertyvät kuivuvan betonin pintaan valkoiseksi alkalihärmeeksi. Alkalihärme on kalkkihärmeeseen verrattuna helppo poistaa esimerkiksi vesipesulla tai painepesurilla. Alkalihärmeen muodostumista voidaan estää jälkihoitoaineilla tai tiiviillä muovikalvoilla, jolloin betonin pinta ei pääsee kuivumaan liian nopeasti. Muottipinnan huokoisuus sekä kylmä ja tuulinen sää lisäävät riskiä alkalihärmeen muodostumiseen. Betonin tiivistyessä ja saavuttaessa lopullisen lujuutensa alkalihärmettä ei enää muodostu. (Korpela ym. 2010, 17.)

8.1.3 Pystypintojen verhomainen väriero

Betonin uudelleen tiivistäminen eli ns. jälkitärytys aiheuttaa etenkin tiiviimmillä muottipinnoilla verhomaisina vyöhykkeinä eri valukerrostien välillä esiintyvää väri vaihtelua. Ilmiö on seurausta betonimassan ja muottipinnan väliin muodostuvasta hyvin ohuesta vesikerroksesta, valukerrostien eri-ikäisyydestä ja tärytyksen aiheuttamasta veden liikkeestä betonipinnasta (Korpela ym. 2010, s 27.) Betonoinnissa tärytys tehdään ylemmän valukerroksen läpi alemmaan kerrokset sekoittaen. Verhomaisia värieroja saattaa muodostua, mikäli alempi valukerros on ehtinyt jähmettyä. Betonointi tulisi suorittaa tauotta siten, että kerrokset saadaan sekoitettua tuoreena. (Korpela ym. 2010, s 17.)

8.1.4 Betonipintojen likaantuminen

Betonipintojen likaantuminen voi johtua monesta syystä ja likaantumista voi tapahtua niin ennen valua kuin valun jälkeenkin. Ennen muotin sulkemista muottipinta on puhdistettava huolellisesti, jottei muottipinnasta jää likaa betonipintaan. Raudoituksessa on käytettävä tarpeeksi korkeita välikkeitä, jotta vaadittu betonin suojaetäisyys täyttyy eikä rauditus pääse kosketuksiin ilman kanssa. Myös raudoituksessa käytettävät sidelangat on käännettävä huolellisesti irti muottipinnasta, sillä sidelangat saattavat aiheuttaa pintaruostetta jäädessään kiinni muottipintaan.

Valun ja muotin purkamisen jälkeisellä likaantumisella tarkoitetaan muusta työmaatoiminnasta aiheutuvia haittoja kuten esimerkiksi betonipinnan tahriutumisesta valuroiskeiden takia, ruostetahroja tai työn aikaisia porauksia.

Taulukko 3. Betonipinnan väriä säätelevien tekijöiden vaikutus värimuutoksiin (Korpela ym. 2010, 26.)

Vaaleampi		Betonin väri		Tummempi
valkoinen	←	portlandsementti	→	muut tyypit
korkea	←	vesisementtisuhte	→	matala
vähemmän	←	hienoainemäärä < 0,25 mm	→	enemmän
kuusi	←	puulaji	→	mänty
teräs, muottivaneri	←	muottipintamateriaali	→	sahatavara
korkea	←	puisen muottipinnan kosteus	→	alhainen
kovempi	←	puisen muottipinnan kovuus	→	pehmeämpi
		auringon kellastama muottipinta	→	
ohuempi	←	muotinirotusainekerroksen paksuus	→	paksumpi
		veden vuotaminen muotin läpi	→	
pienempi	←	muottipaine	→	korkeampi
		isoja runkoainerakeita pinnan lähellä	→	
pitkä	←	tärytysaika ¹⁾	→	lyhyt
	←	betonin jälkitärytys		
hidas	←	betonin kuivumisnopeus	→	nopea
täydellisempi	←	sementin hydratoituminen	→	epätäydellisempi
suurempi	←	betonin kapillaarihuokosten määrä	→	pienempi
	←	kalkkihärme		
		kovettumislämpötila	→	alhaisempi
100% ja < 70%	←	kovettumiskosteuspitoisuus	→	80 - 90 %

8.2 Betonipintojen geometriset virheet

Betonipintojen geometrisillä virheillä tarkoitetaan valmiin pinnan poikkeamia suunnitellusta laatuluokasta. Geometrisiksi virheiksi lasketaan; valmiin betonipinnan pysty- tai vaakasuuntainen käyryys ja pinnan aaltoilu, nystermät, valuhaavat, syvennykset betonipinnassa, rakenteen halkeilu, muotti- tai betonipinnan irtoaminen, huokokset ja harvavalu. (Korpela ym. 2010, s 26.)

8.2.1 Valuhuokokset

Valuhuokokset syntyvät betoniin sekoituksen yhteydessä jäävästä ilmasta, joka ei ole tiivistyksen aikana ehtinyt poistua yläkautta (Petrow ym. 2010). Huokosten määrä ja koko riippuu betonin tiivistyksen huolellisuudesta, muotin tiiveydestä, muotin pintamateriaalista, betonimassan koostumuksesta sekä valukerroksen paksuudesta. Notkealla betonilla valettaessa huokosten määrä yleensä vähenee mutta silti on kiinnitettävä huomiota betonin huolelliseen tärytykseen. Tärytys on merkittävin yksittäinen tekijä, joka vaikuttaa valuhuokosten määrään.

Muottimateriaalin valinnalla voidaan myös vaikuttaa huokosten määrään. Tiivistä muottipintaa, kuten pinnoitettua muottivaneria, käytettäessä ilma ei pääse poistumaan muotin pinnasta, joten mahdollisuus huokosten muodostumiseen kasvaa. Liukkaan muottipinnan takia huokokset jäävät tosin yleensä pieneksi. Sahatavaraa tai pinnoittamatonta vaneria käytettäessä ilma poistuu muotin läpi.

Puhdasvalupinnoissa ja erityisesti maalatuissa tai väreillä käsitellyissä pinnoissa tietty määrä huokosia hyväksytään arkkitehtuuriseksi ilmeeksi, joka elävöittää valmista pintaa. Työtekniikoista riippumatta kooltaan pieniä 5-15mm huokosia esiintyy lähes aina. Täysin huokoseton pinta voidaan saavuttaa käyttämällä muottikankaita tai joissain olosuhteissa itsetiivistyvällä betonilla. Muottikankaita käytettäessä betonipinta ei kuitenkaan ole enää sileä, eikä muottivanerin kuvio toistu betonipinnassa. (Korpela & Palolahti, 26.)

8.2.2 Pintojen käyryys ja aaltoilu

Valmiin rakenteen pinnan käyryys tai aaltoilu voi johtua liiallisesta nostonopeudesta betonoitaessa tai valupaineelle alimitoitetusta muotista. Erityisesti itsetiivistävällä betonilla valupaine muodostuu suureksi ja muotti on mitoitettava hydrostaattiselle paineelle. Korjaustoimenpiteeksi vaihtoehtoina ovat pinnan ylitasoitus, jolloin alkuperäinen betonipinta häviää tai rakenteen piikkaus ja manttelointi uudella valulla.

8.2.3 Valuhaavat

Valuhaavat muodostuvat, kun vesi ja sementtiliima pääsevät poistumaan ulos muotin saumoista ja karkeampi aines jää näkyviin vuotokohtaan. Vuotavaan muottisaumaan saattaa muodostua myös valupurseita ja alue voi jäädä muuta pintaa tummemmaksi. Muottisaumojen tiivistäminen esimerkiksi silikonilla estää valuhaavojen syntyä. (Korpela ym. 2010, s 26.)

8.2.4 Pinnan hammastukset, syvennykset ja nystermit

Muottilevyjen pysty- ja vaakasuuntaiset tasoerot aiheuttavat valmiiseen pintaan hammastuksia, joita on jälkikäteen vaikea korjata. Mahdolliset kolot muotissa aiheuttavat nystermiä. Syvennykset ovat seurausta muotissa olevista epäpuhtauksista tai kohoumista, kuten jäädästä. (Korpela ym. 2010, s 26.)

8.2.5 Pintabetonin irtoaminen

Pinnan irtoamiseen on useita mahdollisia syitä, jotka on kuitenkin tapauskohtaisesti helppo estää. Syynä voi esimerkiksi olla muotin purku ennen kuin betoni on saavuttanut riittävän lujuuden. Karkealla muottipinnalla, kuten höyläämättömällä sahatavaralla tehty muotti imee veden ja sementtiliiman itseensä, jolloin mahdollisuus pintabetonin irtoamiseen muottia purettaessa kasvaa. Sahatavarasta tehdyt muotit on öljyttävä tai kasteltava huolellisesti ennen valua. Talvibetonoinnissa betonin lujuudenkehitys mitataan lämpöloggereilla, jotta voidaan varmistua siitä, että betoni on saavuttanut jäätymislujuutensa, ennen muotin purkua. (Korpela ym. 2010, s 26.)

8.2.6 Betonin halkeilu

Halkeilu on ominaista teräsbetonirakenteille (Petrow ym. 2011, s 31). Halkeilun määrää voidaan kuitenkin rajoittaa sekä suunnittelulla, että työmaatoiminnalla. Rakennesuunnittelussa halkeilun määrään pyritään vaikuttamaan raudoituksen määrällä ja liikuntasauvojen riittävän tiheällä jaolla, jotta rakenne pääsisi liikkumaan tarvittaessa. Liikuntasauvat vähentävät rakenteeseen syntyviä pakkovoimia ja näin vähentävät halkeilua tai estävät sen kokonaan. Rakenteiden liikkuvuutta voidaan parantaa myös sahaussauvoilla tai laakeroinnilla. Sahaussaumalla tarkoitetaan rakenteeseen tarkoituksella tehtyä heikentymää. Holveissa ja kansilaatoissa halkeilua voidaan rajoittaa jälkijännittämällä rakenne, jolloin muodostuvat pakkovoimat jäävät betonin vetojännityksiä pienemmiksi.

Työmaatoiminnassa halkeiluun voidaan vaikuttaa valitsemalla oikeanlainen betonin koostumus. Betonimassassa on pyrittävä käyttämään mahdollisimman suurta raekokoa, jolla rakenne on toteutettavissa. Työmaalla on myös huolehdittava betonin jälkihoidosta ja erityisesti talvibetonoinnissa on kiinnitettävä huomiota betonin kovettumisen aikaiseen lämpötilojen seuraamiseen ja mahdollisten lämpötilaerojen tasaamiseen. (Korpela ym. 2010, s 27.)

8.2.7 Harvavalu

Betonin liian suuri pudotuskorkeus yhdistettynä riittämättömään tärytykseen on yleisin syy harvavalun muodostumiseen. Korkealta pudotettaessa betonin kiviaines osuu raudoitukseen, jolloin kivet erottuvat massasta ja muotin sisään syntyy kivipesä. Harvavalu muodostuu yleensä muotin nurkkiin, varausten alle tai erityisen tiheästi raudoitettuihin kohtiin. (Kuva 3.) Haastavissa kohteissa on käytettävä tarpeeksi tasalaatuista ja notkeaa betonimassaa, joka on täryttävä huolellisesti. Mikäli vaadittava tiivistys ei ole rakenteessa mahdollista, käytetään itsestiiivistyvää betonia painevaluna. (Korpela ym. 2010, s 27.)



KUVA 3. Olympiastadionin työmaalla tapahtunut harvavalu.

9 Puhdasvalupintojen korjaus

Huolimatta hyvästä suunnittelusta ja työmaatoiminnasta, paikallavalurakenteisiin tulee aina jonkin verran jälkitöitä. A- luokan puhdasvalupintoihin sallitaan pienet korjaavat toimenpiteet, jotta vaaditut laatuvaatimukset saadaan täyttymään. AA- luokan pintojen korjaaminen ei ole sallittua (Rakennustieto. 2015). Puhdasvalupintojen korjaustoimenpiteiksi hyväksytään pienet paikkaukset, työsaumojen häivyttäminen ja huokosten täyttö. Betonin ylitasoittaminen tai hionta eivät yleensä tule kysymykseen, sillä niillä ei pystytä jäljentämään alkuperäisen laatuvaatimuksen mukaista pintaa. Myös pienemmät paikkaukset jäävät usein näkyviin poikkeavan värisävynsä takia. Korjauksessa käytettävän massan on vastattava värisävyltään ja ominaisuuksiltaan alkuperäistä betonia. Massa on hyväksyttävä arkkitehdillä ja työstä on tehtävä malli ennen aloittamista.

Arkkitehtonisesti on monesti hyväksyttävämpää säilyttää oleva betonipinta, vaikka se ei täysin täyttäisikään laatuvaatimuksia, kuin suorittaa suuria kor-

jaustoimia. Korjaustoimenpiteet voidaan jakaa karkeasti kahteen luokkaan; kevyisiin paikkauksiin ja suurempiin korjaaviin toimenpiteisiin, joihin kuuluvat piikkaukset, tasoitukset ja hionnat.

Taulukko 4. Betonipintojen geometrinen virheiden kuvaus (Korpela ym. 2010, s 30.)

Kuvaus	Syyt	Korjaavat toimenpiteet
Muottipinnan tasopoikkeamat Pinnan aaltoilu, käyryys ja hammastus	Valupaineelle alimitoitettu muotti Huolimattomasti kohdistetut muotin reunat	Ammattitaitoinen muottisuunnittelu ja -työ; virheitä lähes mahdoton korjata jälkikäteen
Harvavalu ja muu valuvika Suurehkoja, muodoltaan epäsäännöllisiä tiivistymättömän ja erottuneen betonin kohtia	Betonin erottumisesta aiheutuvat kivipesät Liian suuri massan pudotuskorkeus Riittämätön tiivistys Ahdas muotti ja/tai tiheä rauditus Erilaiset varaukset ja kiinnitykset	Homogeenisen, erottumattoman betonin käyttö; betonin notkistaminen Pudotuskorkeuden rajoittaminen korkeintaan 1 metriin Tiivistyskaluston tilavaatimusten huomioointo rauditussuunnittelussa
Pinnan valuhuokokset Muottipintaan sulkeutuneen ilman tai vesikuplien aiheuttamia huokosia Normaalisti pyöreitä tai ovaaleja, mutta myös epäsäännöllisen muotoisia huonosti tiivistetyssä ja hienoaineköyhässä betonissa	Betonimassa Hienoaineksen eli sementin ja runkoaineksen < 0,25 mm puute Riittämätön työstettävyys käytettävään tiivistysmenetelmään nähden Muotti Vettä imevää muottipintaa ja riittämätön tiivistys Sopimaton muottipintamateriaalin ja muotiniirrotusaineen yhdistelmä matalissa vaakarakenteissa Betonointi Liian paksut valukerrokset tiivistystehoon nähden Liian lyhyt tärytysaika ja liian suuret sauvan pistojen välit	Hienoaineksen < 0,25 mm (sementti mukaanluettuna) kasvattaminen 400 kg/m ³ :iin Betonin notkistaminen Betonin notkistaminen Ohuet valukerrokset Tärytysajan kasvattaminen Muotiniirrotusaineen vaihto Valukerrokset korkeintaan 300 mm Tärytysajan kasvattaminen ja sauvan pistojen pienentäminen vähintään 400 mm:iin etenkin pystyrakenteiden yläosassa
Valuhaava ja paljastunut kiviaines muottisaumoissa Esiintyy usein pinnan tummeissa (väriero) kohdissa	Veden ja hienoaineksen tunkeutuminen muottisaumoista	Muottisaumojen tiivistäminen Homogeenisen, erottumattoman betonin käyttö
Vedestä aiheutunut valuhaava Matomaisia valuhaavoja pinnassa	Erottunut betoni Hienoaineksen puute Erottumisherkän betonin liika tiivistys Betonointi kylmällä säällä Vettä muotissa ja muottipinnoilla	Homogeenisen, erottumattoman betonin käyttö
Betonipinnan irtoaminen ja hilseily	Betoni tarttuu muottipintaan; syynä on - alhainen muotiniirrotusaineen käyttö - karkea muottipinta - muotiniirrotusaineen vähäisyys tai puuttuminen - lautojen tai pinnoittamattoman vanerin riittämätön kastelu - kellastunut koivuvaneri	Riittävä muotiniirrotusaineen käyttö 5...6 MPa tai 60 % nimellislujudesta. Muotiniirrotusaineen käyttö koko muottipinnalla (ohuena kerroksena) Muottipinnan kastelu tarvittaessa Kellastumattoman koivuvanerin käyttö Betonin suojaaminen jäätymiseltä
Muottipinnan tarttuminen betoniin	Suuri tartuntalujuus betonin ja muottimateriaalin välillä, jolloin muottipinta lohkeaa	Muottipintamateriaalin vaihto Muotiniirrotusaineen käyttö koko muottipinnalla (ohuena kerroksena)
Reuna- ja kulmavauriot	Valupurseiden aiheuttamat muotin kiinnitarttumiset Iskut ja kolhaisuus Betonin lohkeaminen jäätyksen takia Lohkeamat raudituskorroosion takia	Muottisaumojen tiivistäminen Nurkkien ja kulmien viistäminen Oikeat suojabetonikerrokset
Valupurse	Muottipinnassa ja -saumoissa olevat raot	Muottisaumojen ja -pinnan tiivistäminen

10 TUTKIMUS PUHDASVALURAKENTEIDEN TYÖMENETELMIEN KEHITTÄMISESTÄ HAASTAVISSA TYÖKOhteissa

10.1 Muottityö

Olympiastadionin työmaalla puhdasvalurakenteissa käytettiin ainoastaan Dokan Top 50 koottavaa suurmuottia, joka on helposti muunneltavissa ja se on myös mahdollista kasata käsityönä paikalla ilman nosturia tai kurottajaa.

Työmaan muottityössä käytettiin Wisa- formin Elephant- muottivaneria, joka on pinnoitettu muovilla. Arkkitehdin määräämä levyjako puhdasvaluseinille oli 1500x3000mm, jolloin ongelmaksi muodostui painavien muottilevyjen ja palkkien käsittely ahtaissa työkohteissa. Työpisteet oli louhittu kallioon vanhojen rakenteiden alle ja ne olivat kooltaan n. 6 m x 10 m x 30 m (leveys, korkeus, pituus).

2+1 työryhmälle on määritetty seinän muottityössä työsaavutukseksi 49 m² (yksikkö/työvuoro). Muottityön työtehotunnin ja valmiin muottineliön suhdeluku on 0,49 eli muottineliön tekoon kuluu noin puoli tuntia. (Rakennustieto 2015). Stadionin työmaalla saavutettiin paikoitellen haastavien kohteiden vuoksi vain 0,8 (työtehotuntia/ m²) työmenekki ja muottielementit oli purettava jokaisen valun jälkeen. (Rakennustieto. 2015).

Nostokalustolla ja valmiilla suurmuoteilla tai muottielementeillä saavutetaan parhaimmillaan työmenekin arvoksi 0,3 – 0,4 (tth/m²) ja siksi olisikin tarpeellista pyrkiä kasaamaan muotit valmiiksi elementeiksi ennen asennusta.

Koottavista suurmuoteista ja järjestelmämuoteista voidaan kasata rakenteen mittojen mukaisia elementtejä, jotka asennetaan paikalleen nostokalustolla. Mikäli nostokaluston käyttö on mahdotonta, voidaan käyttää erilaisia taljoja tai vinssiä. Stadionin työmaalla olisi ollut mahdollista asentaa työkohteiden yläpuolelle ruiskubetonoituun kallioon kiskolinjat (Kuva 8.), joissa kulkee sähkövinssi. Kiskot asennetaan kallioon poraamalla reiät, joihin juotetaan kierretangot esimerkiksi Hilti Hit 500 juotosmassalla. Kiskojen ja vinssin yhdistelmällä on mahdollista nostaa paikalleen jopa 2,5 tonnin painoisia muottielementtejä ja mahdollisuus valmiin suurmuotin asentaminen suoraan kohteeseen vaikuttaa merkittävästi työn nopeuteen ja näin ollen myös kustannuksiin. Kuusi kuka kautta kestäväällä työmaalla saavutetaan merkittäviä säästöjä.



Kuva 4. Kattokannatin kiskoille. (Raitatuote Oy)

Esimerkiksi paikalla koottu 49 m² suurmuotti tuntitöinä tehtynä ja työmenekillä (2 RAM+ 1TJ, a=35e/h+ 52e/h) 0,7 laskettuna maksaa 34,3h x 35e + (34,3h x 52e) = 2984.1e

Valmiina suurmuotteina elementtinä nostokiskoilla ja vinssillä paikalleen nostettuna saavutetaan noin 0,35 tth/m² työmenekki, jolloin vastaava 49 m² muotti tulee maksamaan 17,15h x 35e + (17,15 x 52e) = 1492,05e

Paikalla kasatun muottineliön hinnaksi tulee tällöin 60,9 euroa ja valmiilla muottielementillä toteutetun 30,45e. Tästä voidaan päätellä, että paikalla käsityönä kasatun palkki-vaneri suurmuotin hinta on noin kaksinkertainen verrattuna nostokalustolla paikalle asennettuun elementtiin. Mikäli työmaalla tehtävää muottipintaa on esimerkiksi 1000 m², kustannusero työtekniikoiden välillä on parhaimmillaan noin 30 000 euroa tuntitöinä toteutettuna.

10.2 Betonointi

Betonointi-osiossa käytettäköön esimerkkiä seinän betonointia, jolle Ratu antaa työsaavutukseksi 97 m³/työvuoro työryhmälle 3+1. Tällöin suhdeluvuksi (tth/m³) saadaan 0,33. Mainitulla työteholla 97 m³ kokoisen seinän betonoinnin työryhmän kustannukseksi saadaan $3 \times 8h \times 35e + (8h \times 52e) = 1256$ (Ratu 7028 työsaavutukset).

Tällainen työteho ja kustannus saavutetaan kohteissa, joissa päästään valamaan suoraan muotin yläpuolelta ns. roikkovaluna. Mikäli valukohteeseen joudutaan viemään letkulinja, hidastuu valun nopeus merkittävästi ja myös kustannukset nousevat. Voidaan olettaa, että haastavissa valukohteissa mainitun työryhmän (3+1) työsaavutus vuoroa kohden jää noin kolmasosaan Ratu:n vastaavasta eli noin 32 m³/tv. Tällöin voidaan karkeasti laskea 97 m³ seinän betonoinnin kustannukset realistisella haastavien kohteiden työteholla; $3 \times 1256e = 3768e$.

#30/37 lujuusluokan, #16 raekoolla ja s3 notkeudella olevan betonin hinta on kuljetuksineen 146 e/m³. Betonin pumppaukselle voidaan laskea hinta 120 e/h. Tällöin 32 m³ seinän kokonaiskustannukset normaalibetonilla valettaessa ja työryhmällä 3+1 ovat $1251e + (32 \times 146e) + (8 \times 120e) = 6883e$.

Itsetiivistyvän betonin käyttö

Itsetiivistyvä betoni on erittäin notkeaa ja hyvät valuominaisuudet omaavaa betonia, jota ei tarvitse tiivistää betonoinnin yhteydessä, kuten normaalia betonia. Tällöin myös valuryhmän työntekijöiden määrä voi olla pienempi kuin tiivistystä vaativilla betoneilla valettaessa. (Rudus. 2018). (Kuva 3)

Itsetiivistyvällä betonilla voidaan saavuttaa säästöjä kustannuksissa. Mikäli kyseessä on pidempi työmaa tai valuja on paljon, myös vaikutukset aikatauluun ovat merkittäviä, sillä It-massa mahdollistaa betonointien nopean toteutuksen. Itsetiivistyvän betonin hinta on melko korkea, noin 180 e/m³ kuljetuksineen mutta säästöä kustannuksissa syntyy nopean valutahdin ansiosta. It-betonilla valettaessa on tärkeää, että muotti saadaan keskeytymättä täyteen ja tällöin on huolehdittava siitä, että betonia tulee tasaisesti työmaalle.

Esimerkkinä käytetyn 32 m³ seinärakenteen kustannuksiksi saadaan it-betonilla valettaessa ja työryhmällä 1+1; $(32 \times 180e) + (4 \times 35e) + (4 \times 52e) + 4 \times 120e = 6588$ e. Tässä esimerkissä käytetään pienintä mahdollista työryhmää, sekä valun oletetaan olevan ohi neljässä tunnissa. Näillä arvoilla lasketuna esimerkkinä käytetyn seinän kustannuksissa säästetään it-betonilla valettaessa 295 euroa.

11 TULOKSET

Yhteenvetona haastavien rakennuskohteiden puhtasvalupintojen muottityöstä voidaan todeta, että muotit on mahdollisuuksien mukaan suositeltavaa kasata työalustalla kohteen ulkopuolella valmiiksi elementeiksi, jotka nostetaan paikoilleen kiskolinjoilla kulkevalla sähkövinssillä. Tämä työtapa vaikuttaa suotuisasti niin syntyviin kustannuksiin, kuin myös aikataulussa pysymiseen. Kiskolinjojen ja sähkövinssin käyttö mahdollistaa myös erilaisten muottijärjestelmien käytön, jolloin rakenteet on mahdollista toteuttaa tarkoitukseen parhaiten soveltuvalla järjestelmällä, eikä työ ole riippuvainen pelkästään käsityönä koottavista muoteista.

Betonoinnin osalta voidaan todeta, että itsetiivistyvällä betonilla valettaessa saavutetaan merkittäviä säästöjä kustannuksissa ja aikataulussa verrattuna normaaliin rakennebetoniin. Itsetiivistyvän betonin hyödyt tulevat esiin nopean betonoitavuuden sekä pienen valutyöryhmän kautta. Rakennebetonia käytettäessä betonointi sitoo 3-4 henkilöä, kun taas it-massalla valettaessa voidaan parhaimmillaan pärjätä yhdellä työntekijällä. Näin ollen muu ryhmä voi samaan aikaan edistää työmaan seuraavia vaiheita. It-betonin käyttö myös vähentää tai parhaimmillaan jopa poistaa kokonaan puhtasvalupintojen jälkityöt, kuten paikkaukset ja tasoitukset ja näin saavutetaan säästöä kustannuksissa. Opinnäytetyössäni käytin Skanskan erään aliurakoitsijan yksikköhintoja sekä saman urakoitsijan hintoja tuntityölle.

LÄHTEET

Betonikeskus. 2003. Kuinka betonipinnalle saadaan toivottu ulkonäkö? Loviisa 15.

Betoninormit BY-65. 2016. 2. painos. Suomen betoniyhdistys ry. Vaasa: Oy Fram Ab

Doka Finland Oyj. Muottimestarit. 10/2012 Käyttäjätietoa. Amstetten: Doka Industrie.

Korpela, J. & Palolahti, T. Puhdasvaluohje. 2010. Betoniteollisuus ry:n julkaisu. PDF-dokumentti. Saatavissa: [file:///C:/Users/KriktilaO.SKANSKA/Downloads/Puhdasvaluohje%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/KriktilaO.SKANSKA/Downloads/Puhdasvaluohje%20(4).pdf) [Viitattu 11.11.2018]

Korpela, S J. & Petrow, S. 2010. Paikallavaletut puhdasvalupinnat. Betoniteollisuus. WWW- dokumentti. Saatavissa: https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/09/BET1101_24-31.pdf [Viitattu 13.12.2018]

Mannonen, P. 2011 Betoniteollisuus Ry. Puhdasvalupintojen toteuttaminen.

Pahkala & Vuorinen BY40 2003, s. 23–24.

Rakennustieto Oy. 2015. 7028 työsaavutukset. Juliste

Rudus. Valmisbetonihinnasto. 2018. Etelä- Suomi. Rudus Oy:n valmisbetonihinnasto. PDF- dokumentti. Saatavissa: <https://www.rudus.fi/hinnasto-ja-esitteet/hinnastot/betonihinnasto> [Viitattu 14.12.2018]

