

Jani Lahtinen

MASSIIVINEN BETONIRAKENNE



Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Kevät 2017



KAJAANIN
AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

TIIVISTELMÄ

Tekijä: Jani Lahtinen

Työn nimi: Massiivinen betonirakenne

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), rakennustekniikka

Asiasanat: Hydrataatiolämpö, lujuskato, lämpötilaero

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, mitä pitää ottaa huomioon, kun valetaan massiivisia betonirakenteita työmaaolosuhteissa.

Tällaisia betonirakenteita käytetään pääasiassa suurissa rakennushankkeissa. Opinnäytetyössä keskitytään näiden työmaiden massiivibetonirakentamisen työmaatekniikkaan, joka sisältää lisäksi asioita, joita pitää huomioida rakentamisessa yleensäkin. Niitä ovat suunnitelmat ja muut asiakirjat, jotka lisääntyvät ja muuttuvat rakentamisen kehityksen mukana. Betonirakenteiden työnjohtajan on tunnettava työmaatekniikan lisäksi betonin käyttäytyminen erilaisissa olosuhteissa, jota työssä käsitellään. Työssä onkin käytetty apuna betonirakenteiden työnjohtajien kokemuksia massiivibetonirakentamisesta.

Massiivinen betonirakenne on ulkomitoiltaan ja yleensä betonoitavissakin kuutiometreissä mitattuna suurempi verrattuna ns. tavallisiin betonirakenteisiin. Betonirakenteen ulkomittojen kasvaessa on huomioitava muun muassa lämpötilaerosta aiheutuva halkeilu ja korkeasta lämpötilasta aiheutuva lujuskato. Talvella ja kesällä on Suomessa huomattavan erilaiset olosuhteet. Tämä vaikuttaa massiivibetonirakenteiden suunnitteluun ja työmaatekniikkaan. Rakennesuunnittelija suunnittelee rakenteesta toimivan ja toteutuskelpoisen. Valmisbetonin toimittaja tekee betonimassan valinnan yhdessä betonirakenteiden urakoitsijan kanssa. Urakoitsija huolehtii työn suunnittelusta ja huolellisesta betonoinnista. Lämpötilan hallinta on keskeisimpiä asioita massiivibetonoinnissa. Tämä varmistetaan betonimassan valinnan lisäksi reaaliaikaisella lämpötilan seurannalla.

Opinnäytetyön tuloksena valmistui teoriapohjaista tietoa betonirakenteiden työnjohtajien käyttöön. Työn tilaajana toimivan Kreate Oy:n henkilöstö voi käyttää tämän työn aineistoa tietolähteenä esimerkiksi kouluttaessaan omaa henkilökuntaa massiivibetonirakentamisen työmaatekniikkaan. Työstä käy ilmi tällä hetkellä muutosvaiheessa olevat uusimmat osaamisvaatimukset ja henkilöstö pätevydet vaativissa betonointikohteissa. Työnjohtajalle tästä on myös apua töiden suunnittelussa, jos hänellä on vähäinen kokemus massiivibetonirakentamisesta.

ABSTRACT

Author: Jani Lahtinen

Title of the Publication: Massive Concrete Structure

Degree Title: Bachelor of Engineering, Construction and Civil Engineering

Keywords: Hydration temperature, strength loss, temperature difference

The aim of this thesis was to find out what to consider when casting solid concrete structures under construction site conditions. Such concrete structures are mainly used in large construction projects. The thesis focuses on the building site technology of massive concrete construction, which also includes things that need to be taken into account in construction in general. These include plans and other documents, the amount of which is growing and changing with the development of construction. In addition to site engineering, the site manager of concrete structures must know the behavior of concrete in different conditions. The experience in concrete construction of site managers has been utilized in the thesis.

The external dimensions of massive concrete structures are quite large. This causes, among other things, cracking due to temperature differences and problems with hardening due to high temperature. The differences between winter and summer should be taken into account in design and site engineering. Thus, temperature management is a key issue in massive concrete construction.

The end-result of this thesis includes theory-based information on the use of concrete. The commissioner, Kreate Oy, can use the material as a source of information, e.g. when training their own staff in massive concrete construction work. The thesis introduces the latest knowledge requirements and personnel qualifications of demanding concrete work sites, currently undergoing change. For the foreman, this is also helpful in planning the work if he has little experience in massive concrete structures.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	1
2 MASSIIVINEN BETONIRAKENNE.....	2
2.1 Lämpötilaerosta aiheutuva halkeilu	2
2.2 Maksimilämpötilasta aiheutuva lujuuskato	4
2.3 Massiivisten betonirakenteiden käyttökohteet	6
2.4 Betonin lujuuden arvosteluikä.....	8
3 VUODENAIKOJEN VAIKUTUS.....	10
3.1 Kesä	10
3.2 Talvi.....	10
4 BETONIRAKENTEIDEN TYÖNJOHTAJAN PÄTEVYYDET.....	12
4.1 Erityisalan työnjohtaja	12
4.2 Betonirakenteiden työnjohtajan pätevyyden uusiminen.....	13
5 KESKEISIMMÄT BETONOINNIN ASIAKIRJAT	14
5.1 Betonointisuunnitelma	14
5.2 Raudoitustarkastuspöytäkirja	15
5.3 Betonointipöytäkirja	15
5.4 Nostotyösuunnitelma.....	16
5.5 Pystytystarkastuspöytäkirja	17
6 TYÖMAATEKNIikka.....	18
6.1 Aluesuunnittelu.....	18
6.2 Alustavat työt.....	19
6.2.1 Paaluperustaminen	20
6.2.2 Betonimassan valinta	21
6.3 Muottitekniikka.....	22
6.4 Raudoitus	24
6.5 Betonointi	27
6.5.1 Betoniaseman sijainti	27
6.5.2 Betonipumppuauton sijoittaminen	28
6.5.3 Betonin siirto työmaalla	29
6.5.4 Betonointityö	30

6.5.5 Lämpötilan hallinta kylmissä olosuhteissa.....	31
6.5.6 Lämpötilan seuranta.....	32
7 MASSIIVIBETONIRAKENTAMISESSA HUOMIOITAVIA SEIKKOJA	35
8 YHTEENVETO	36
LÄHTEET	38
LIITTEET	

SYMBOLILUETTELO

Hydrataatio

Betonin sideaineen eli sementin ja veden kemiallinen reaktio, josta muodostuu veden liukenematon sementtiliima ja kovettumisen edetessä betonin runkoaineet toisiinsa sitova sementtikivi.

Kovetuskaapeli

Erityisesti talvibetonointiin suunniteltu betonin lämmityskaapeli, joka asennetaan betoniraudoitukseen. Kovetuskaapeli on yksi vaihtoehto kovettumisvaiheessa olevan betonimassan lisälämmitykseen. Toimii valovirralla (230 V) ja kaapeleita on saatavilla useina eri pituuksina.

Musta tanko

Edullisesta rakenneteräksestä tehty pyöreä ja sileä muottisidetanko. Soveltuu käytettäväksi piiloon jäävissä rakenteissa, joissa ei ole erityisvaatimuksia, koska ruostuu näkyviin jääviltä osiltaan helposti.

Rapidsementti

Nopeasti kovettuva sementti, jota käytetään elementtiteollisuudessa sekä työmaalla talvibetonoinnissa ja kun halutaan nopeuttaa muottikiertoa.

RST - tanko

Ruostumattomasta rakenneteräksestä tehty pyöreä ja sileä muottisidetanko. Käytetään silloin, kun sidetankojen ruostuminen ei ole sallittua. Ei kestä kovaa kemiallista räsitystä.

1 JOHDANTO

Massiivibetonirakentamista ei ole juurikaan käsitelty alan kirjallisuudessa tai ainakin siitä on vähän kirjallista tietoa verrattuna muuhun betonirakentamiseen. Massiivisia teräsbetonirakenteita on kuitenkin käytetty hyvin kauan. Tällaisia rakenteita on ollut muun muassa maailmansotien aikaisissa betonibunkkereissa. Suomessa talvisodan jälkeen rakennettu Salpalinja oli valtava ponnistus ja se sisältää paljon massiivisia betonikorsuja. Asiaa ei ehkä ole pidetty laajemman tutkimisen arvoisena, koska kohteita on vähän verrattuna muihin betonirakenteisiin. Myöskään isompia ongelmia, esim. merkittävää lujuskatoa ei ole kirjallisuudesta havaittavissa. Yleensä tutkimukset aloitetaan viimeistään silloin, kun ongelmia ilmenee.

Betonia onkin kauan pidetty hyvin kestäväenä materiaalina ja siinä on paljon hyviä puolia. Se on paloturvallinen ja ei ole herkkä kosteuden vaikutuksille tai mikrobikasvustolle verrattuna orgaanisiin materiaaleihin. Kaikilla materiaaleilla on omat kannattajansa ja näkemyksensä oman tuotteen paremmuudesta kilpaileviin materiaaleihin nähden. Betoni on ollut merkittävä rakennusmateriaali jo pitkään eikä ole varmasti väistymässä markkinoilta tulevaisuudessakaan.

Työn tilaajana toimiva Kreate Oy on kolmesta jo pitkään alalla olleista toimijoista koostuva yhtiö, joka perustettiin keväällä 2015. Se toimii pääasiassa infra-alalla ja toteuttaa silta-, väylä-, pohja-, teollisuus- ja ympäristörakentamista ympäri Suomea. Työntekijöitä on noin 250. Betonirakentaminen on merkittävä osa monissa hankkeissa, varsinkin silta- ja teollisuuskohteissa. Viimeisimmistä kohteista voidaan mainita Suomen metsäteollisuutta palveleva biotuotetehdas Äänekoskella, joka otetaan käyttöön syksyllä 2017. Paikallavalettuja betonirakenteita koko työmaalla valmistui noin 100 000 m³ verran, josta Kreate urakoi noin 40 000 m³. Työmaan betonirakenteet sisälsivät paljon myös massiivisia betonirakenteita.

Tämä työ rajoittuu massiivibetonirakentamiseen, ja työssä käsitellään yleistä tietoa betonirakentamisesta vain niiltä osin, kun se liittyy massiivibetonointiin.

2 MASSIIVINEN BETONIRAKENNE

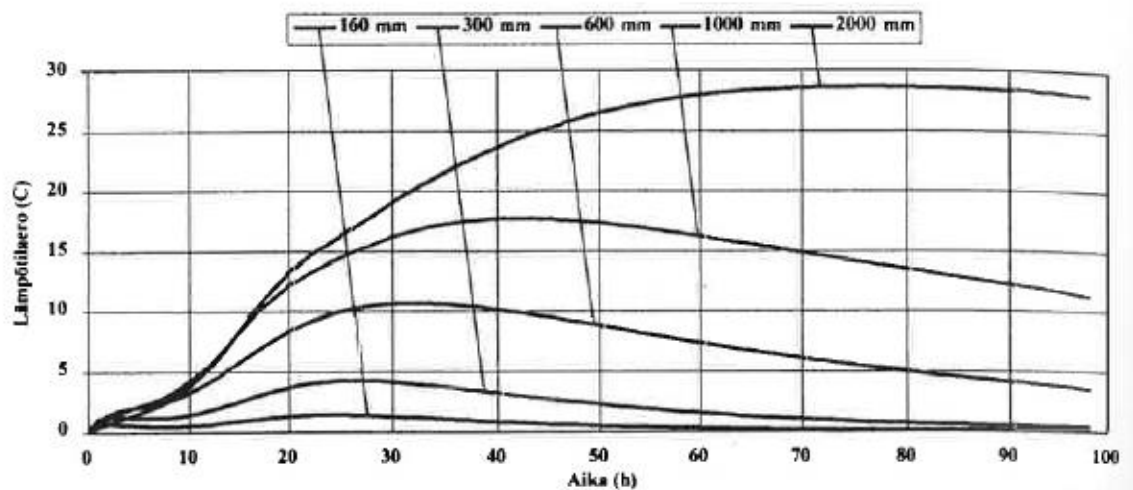
Puhuttaessa paikallavalettavista massiivisista betonirakenteista monelle tulee varmaankin mieleen kysymys, että mikä on massiivinen betonirakenne? Miten se määritellään? Massiivisen ja ns. normaalin betonirakenteen välille ei ole olemassa millintarkkoja mittoja ja laskelmia määriteltynä, missä raja kulkee. Kuitenkin massiivisena voidaan yleensä pitää rakennetta, jonka pienin sivumitta on vähintään metrin mittainen. Tämä perustuu mittaustuloksiin rakenteen pinnan ja keskiosan lämpötilaeron välillä. Betonirakenteen massiivisuus määräytyy siis rakenteen muodon eikä niinkään betonoitavien kuutiometriä perusteella. Esimerkiksi laajaan holvirakenteeseen voi mennä satoja kuutioita betonia, mutta se ei ole yleensä massiivinen rakenne. [1, s. 546.]

Edellä mainitusta määritelmästä saa konkreettisen kuvan, minkälainen on massiivinen betonirakenne. Se ei kuitenkaan pidä aina sellaisenaan paikkaansa, koska n. 1 m³ betonirakenne ei käyttäydy kuten massiivinen betonirakenne. Tätä täydentämään voidaan todeta, että rakenne on massiivinen, kun joudutaan ryhtymään erikoistoimenpiteisiin betonin hydrataatiolämmön rajoittamiseksi. Tämä voidaan todeta laskelmin ja ennen kaikkea kokemusperäisten rakenteen lämpötilan mittaustulosten perusteella. Nämä kaksi määritelmää yhdessä kuvaavat hyvin massiivista betonirakennetta. [7, s. 85.]

2.1 Lämpötilaerosta aiheutuva halkeilu

Sementin ja veden hydrataatiossa vapautuva suurehko lämpömäärä on suurimmillaan rakenteen keskellä. Normaalisissa betonirakenteissa ei pääse tapahtumaan tilannetta, että rakenteen pinnan ja keskiosan lämpötilaero kasvaisi niin suureksi, että se aiheuttaisi rakenteen halkeilua. Keskiosasta lämpö johtuu pintaosiin ja edelleen muotin kautta ulkoilmaan tasaisella nopeudella. Massiivisissa betonirakenteissa hydrataatiolämpö ei pääse poistumaan rakenteen keskiosista pintaosiin yhtä nopeasti kuin pintaosista ulkoilmaan. Tämä aiheuttaa suurempia läm-

pötilaeroja verrattuna normaaliin betonirakenteeseen. Rakenteen paksuuden kasvaessa kasvaa myös rakenteen pinnan ja keskiosan välinen lämpötilaero. Nyrkkisääntönä voidaan pitää 20 °C:ta, jolloin tätä suurempi lämpötilaero aiheuttaa halkeilua. Kuvassa 1 esitetään erivahvuisten rakenteiden lämpötilaeroja valun jälkeen, kun ulkoilman lämpötila on 10 °C. [1, s. 545–546.]



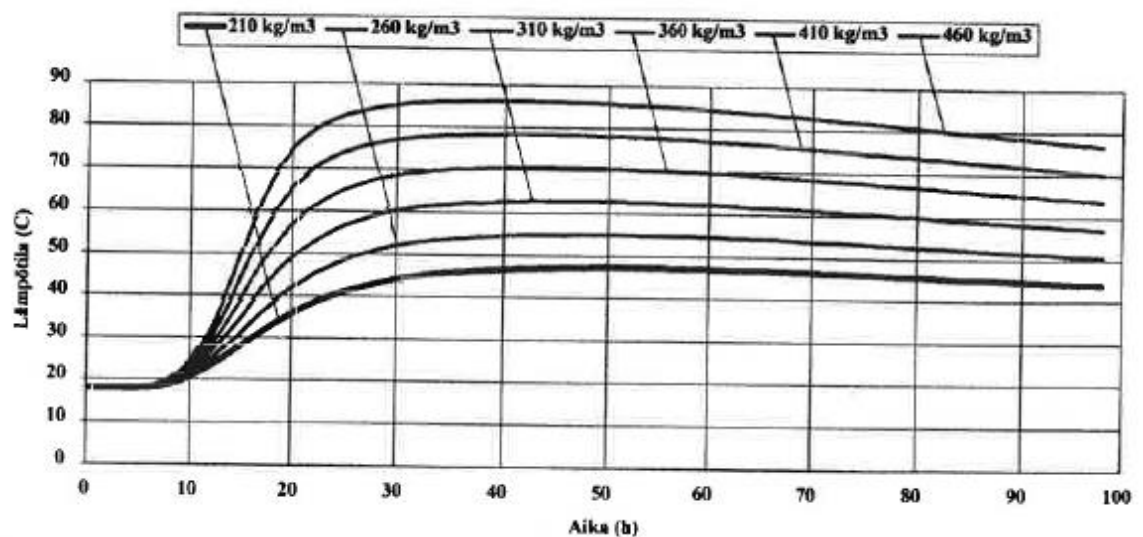
Kuva 1. Rakenteen keski- ja pintaosan välinen lämpötilaero. [1, s. 546.]

Riittävän suuri lämpötilaero aikaansaa vetojännityksiä pintaosiin, jolloin betonin muodonmuutoskyky ja vetolujuus voi ylittyä jäähtymisen aiheuttaman kutistumisen seurauksena. Tämä ilmenee betonirakenteen pinnalla näkyvinä halkeamina. Rakennetta ympäröivän ilman lämpötila vaikuttaa myös halkeamien syntyyn. Kovetumisvaiheen lämpötilaeroista aiheuttamat halkeamat syntyvät noin vajaan vuorokauden tai viimeistään kolmen vuorokauden kuluttua valusta, riippuen betonin koostumuksesta. [1, s. 94–95.]

Halkeilu on aina betonille haitallista, koska ne lisäävät sen läpäisevyyttä. Tällöin betonin raudoitusta suojaava fysikaalinen ja kemiallinen vaikutus vähenee. Halkeamien kautta betoniin pääsevät haitalliset aineet rapauttavat betonia ja aiheuttavat betoniterästen korroosiota. Halkeamaleveys vaikuttaa olennaisesti sen haitallisuuteen. Haitallisimpia ovat olosuhteista riippuen 0,2–0,4 mm:n halkeamat, jotka ulottuvat raudoitukseen asti. Betoniterästen suuntainen halkeilu voi aiheuttaa betonin rapautumista laajoilla alueilla. [1, s. 92.]

2.2 Maksimilämpötilasta aiheutuva lujuuskato

Betonin sideaine ja vesi tarvitsevat kovettuakseen lämpöä, jota se saa ympäristötekijöiden lisäksi hydrataatiosta. Lämpöä kehittyy hydrataatioreaktiossa samassa suhteessa kuin lujuudenkehitys etenee. Sementin määrällä ja laadulla on siis suuri merkitys betonimassan lämmönkehitykseen. Paljon sementtiä sisältävä betoni kovettuu nopeammin ja samalla maksimilämpötila nousee. Samoin nopeasti kovettuvaa sementtiä, esim. Rapidsementtiä, käytettäessä maksimilämpötila nousee hieman verrattuna tavallisiin sementteihin. Sementin määrällä on kuitenkin suurempi merkitys lämmönkehitykseen kuin laadulla. Kuvassa 2 on esitetty Rapidsementin määrän vaikutus 2 metriä paksun rakenteen maksimilämpötilaan, kun ulkoilman lämpötila on 10 °C. [1, s. 56.]



Kuva 2. Rakenteen keskiosan lämpötila valun jälkeen eri sementtimäärillä. [1, s. 547.]

Useita metrejä vahvat betonirakenteet lämpenevät kohtalaisen paljon keskiosistaan ympäröivän betonin eristäessä lämmön siirtymistä ulkoilmaan. Lämpötilan nostaminen erilaisin menetelmin on hyödyksi betonin kovettumisvaiheiden aikana. Lämpötilaa ei voida kuitenkaan nostaa rajattomasti. Suositeltuna rajana voidaan pitää +50 °C:ta. Tätä suuremmat lämpötilat vaikuttavat betonin ominaisuuksiin. [1, s. 350.]

Betonimassan lämpötilan, kovettumisvaiheessa olevan betonin lämpötilan tai lämpötilan nousunopeuden ollessa riittävän korkea käytetään termiä betonin lämpökäsittely. Betonin lämpökäsittelyä käytetään, kun halutaan nopeuttaa muottikiertoa. Lämpökäsittely vaatii osaamista ja tarkkaa suunnittelua, jotta lopputuloksesta saadaan onnistunut. Massiivisia betonirakenteita valettaessa ei tarvita yleensä lämpökäsittelyä, vaan käytetään muita keinoja hydrataatiolämmön hallitsemiseksi. Kovettumisvaiheessa hydrataatiolämpö voi kuitenkin haitallisesti nousta niin korkeaksi, että betoni on määritelmän mukaan lämpökäsitelty.

Betonin käsittely on lämpökäsittelyä, jos:

- *betonimassan lämpötila on $> +40$ °C*
- *lämpötila kovettumisvaiheen aikana $> +50$ °C*
- *lämpötilan nousu kovettumisvaiheen aikana > 25 °C [1, s. 357].*

Lämpökäsittelyn vaikutuksia kovettuneen betonin ominaisuuksiin:

- *Loppulujuus alenee. Lujuuskato on tavallisesti 0...30 %, mutta voi nousta jopa 40 prosenttiin. Alueella $+20...50$ °C lujuuden aleneminen on tavallisesti 0...10 % ja alueella $+50...+80$ °C vastaavasti 15...20 %.*
- *Veto- ja taivutusvetolujuus sekä kimmomoduuli muuttuvat samaan suuntaan kuin puristuslujuus, ei kuitenkaan yhtä voimakkaasti.*
- *Kuivumiskutistuma ja viruma pienenevät 10...40 %.*
- *Betonin pakkasenkestävyys alenee. [1, s. 357.]*

Merkittävin haittavaikutus on lujuuskato eli betoni ei saavuta suunniteltua lujuusluokkaa eli nimellislujuutta. Syitä lujuuskatoon ovat:

- *betonin osa-aineiden erilaiset lämpölaajenemiskertoimet (jos sementin ja kiviaineksen kerroin on 1, veden noin 10 ja kostean ilman suuruusluokkaa 100)*
- *kosteuden siirtyminen lämpimiltä osilta kylmempiin osiin*

- *edellisten fysikaalisten tekijöiden lisäksi ns. kemialliset tekijät, jotka käsittävät mahdolliset erot hydrataatiotuotteissa, hydrataatioasteessa ja mikrorakenteessa [1, s. 357].*

Massiivisia rakenteita tehtäessä lujuuskatoa pyritään välttämään tai vähentämään:

- Käyttämällä hidasta sementtiä, esim. Plussementtiä. Suomessa ei enää valmisteta ns. alhaislämpösementtiä. Alhaislämpösementin koostumus on karkea ja siitä syystä sen lämmöntuotto on pienempi. Sementin lämmöntuottoa voidaan kuitenkin pienentää korvaamalla osan sementistä seosaineella esim. masuunikuonajauheella. Tällä tavoin voidaan pienentää hydrataatiolämpöä.
- Käyttämällä mahdollisimman kylmää betonimassaa. Lämpötila riippuu vuodenajasta ja muista ympäristötekijöistä.
- Käyttämällä ”tavallisia” lujuusluokkia. Korkean lujuusluokan betoni sisältää enemmän sementtiä ja näin lämmöntuotto kasvaa sekä lämpötilankehitys nopeutuu. Sementin määrää voidaan vähentää käyttämällä suurta raekokoa, joka on usein massiivirakenteissa mahdollista.
- Käyttämällä olosuhteista riippuen jäykähköjä notkeuksia ja tarvittaessa notkistavaa lisäainetta.
- Todella massiivisissa rakenteissa lämpötilaeroja voidaan tasata tekemällä rakenteen keskiosiin jäähdytysvesiputkisto avoimella kierrolla. [1, s. 56.]

2.3 Massiivisten betonirakenteiden käyttökohteet

Suomessa paikallavalettavat betonirakenteet alkoivat väistyä elementtirakenteiden tieltä 1970-luvun alussa. Ihmiset muuttivat maalta kaupunkeihin ja tarvittiin nopeasti uusia asuntoja. Elementtirakentamisen suosio ei ole hiipunut nykypäi-

vänäkään, vaan sitä kehitetään koko ajan. Rakenteet ja rakennusmateriaalit jalostetaan tehtaissa mahdollisimman valmiiksi, ja työmaalla tapahtuva työ pyritään minimoimaan. Syynä ovat perustellusti kustannus- ja laatutekijät. [2.]

Massiivisiin betonirakenteisiin elementtirakentamisen lisääntyminen ei ole vaikuttanut. Työt on tehty ja tehdään tulevaisuudessakin työmailla eikä tehtaissa. Vaikka massiivinen betonirakenne määräytyy sen muodon perusteella, se on yleensä myös todella painava ja kookas rakenne. Betonielementtitehtaan kapasiteetti, jossa tehdään tavallisimpia elementtirakenteita, ei riitä massiivisten rakenteiden tuottamiseen. Kuljettaminenkaan teitä pitkin ei ole käytännössä mahdollista. Esimerkiksi 1000 m³ massiivinen teräsbetonirakenne painaa noin 2500 tonnia riippuen lähinnä raudoituksen määrästä. Tavallisesti suuret ja painavat kuljetukset tuodaan osissa ja kasataan työmaalla. Massiivisen betonirakenteen kasaaminen osista ei ole nykytiedon valossa mahdollista. Osista kasaaminen tarkoittaa saumojen lisääntymistä. Saumojen kohdalla raudoitukseen tulee jatkoksia ja rakenteeseen kohdistuvat vetorasitukset tulee pystyä siirtämään betonin kautta teräksille, jotta rakenne toimii oikein. Tämä raudoituksen ja betonin yhteistoiminta saumojen kohdalla on vaikea toteuttaa kustannustehokkaasti. Saumat myös lisäävät riskiä mahdollisten haitallisten aineiden kulkeutumista rakenteen sisään ja sitä kautta raudoitukseen.

Nykypäivän Suomessa massiivisten betonirakenteiden käyttökohteet vaihtelevat. Pääsääntöisesti rakenteet ovat perustuksia. Muita kohteita ovat mm. silta- ja patorakenteet. Suuret teollisuushankkeet ovat yleinen kohde, ja teollisuuden investoinnit vaikuttavat merkittävästi betonirakentajien työmäärään. Teollisuudessa käytettävät koneet ja laitteet vaativat massiiviset ja yhtenäiset perustukset, kun kuormitukset ovat myös dynaamisia. Betonoitavien kuutiometriä määrä vaihtelee alle sadasta useisiin tuhansiin. Sähkövoimalat ovat toinen merkittävä työllistäjä tällä hetkellä. Viime aikoina on rakennettu paljon valtion avustuksella tuulivoimaloita ympäri Suomea. Korkea voimala vaatii massiiviset perustukset pysyäkseen pystyssä. Perustuksen koko vaihtelee voimalan korkeudesta ja maaperästä riippuen ollen keskimäärin 500 m³ luokkaa. Myös ydinvoimaloihin tulee massiivisia paikallavalettavia betonirakenteita ja nämä rakennustyömaat ovat kaikilla mittareilla Suomen suurimpia. Sähkövoimaloiden rakentaminen on aiheuttanut paljon

vastustusta, eikä suotta. Tuulivoimaloiden rakentaminen ei ole tällä hetkellä Suomelle taloudellisesti kannattavaa eivätkä mielestäni kuulu suomalaisille tärkeään luontoon. Ydinvoimalat taas ovat kärsineet aikatauluhallinnan puutteesta. Isot kohteet ovat vaikeasti hallittavia, jos referenssikohteista ei ole riittävästi kokemusta. Betonirakenteet ovat kuitenkin sujuneet julkisuuteen tulleen tiedon mukaan näissä hankkeissa ilman isompia ongelmia. Kuvassa 3 on teollisuuskohteen massiivisen n. 1000 m³ koneperustuksen raudoitusta.



Kuva 3. Massiivisen koneperustuksen raudoituskuva. Perustuksen koko on 50 m x 10 m x 2 m.

2.4 Betonin lujuuden arvosteluikä

Paikallavalurakentamisessa käytettävät betonilaadut jaotellaan lujuuden kehittymisnopeutensa perusteella nopeasti, normaalisti tai hitaasti kovettuviin. Betonieristä valmisbetonin toimittaja tekee koekappaleiden puristuslujuuskokeet 7, 28 tai 91 vuorokauden ikäisinä. Betonista voidaan tehdä myös työmaakoekappaleet tai porata testattavat kappaleet valmiista rakenteesta. Betonin lujuuden arvosteluikä valitaan sen mukaan, miten nopeasti halutaan betonin saavuttavan nimellisujuutensa. Tavallisesti paikallavalurakenteissa se on 28 vuorokautta. Massiivisten

betonirakenteiden kohdalla voidaan valita tarkasteluiäksi useimmiten 91 vuorokautta, koska niitä harvoin kuormitetaan täydellä kuormalla aikaisemmin. Esimerkiksi teollisuuden koneperustuksiin koneen asennukset voidaan aloittaa jo muutama päivä valun jälkeen, mutta kone otetaan käyttöön vasta useiden kuukausien päästä. Perustuksiin kohdistuu yleensä täysi kuormitus vasta, kun kone on toiminnassa. Erittäin massiivisissa rakenteissa kannattaa valita lujuuden arvosteluiäksi 91 vuorokautta aina, kun se on mahdollista. Tällä tavoin saadaan lujuudenkehityksen vaiheita hidastettua ja sitä kautta kestävämpi rakenne. [3.]

Lujuuden arvosteluikä on teoreettinen ajanjakso, jossa betoni saavuttaa optimaalisissa olosuhteissa nimellislujutensa. Optimaalisissa olosuhteissa betonin lämpötila ja kosteus pyritään pitämään riittävinä ja mahdollisimman samanlaisina koko rakenteessa. Tämä tuo haasteensa erityisesti massiivisten betonirakenteiden suunnitteluun, koska rakenteen massiivisuuden vuoksi hydrataatioreaktiot pyrkivät tapahtumaan erilaisella nopeudella rakenteen eri osissa. Tämä aiheuttaa lämpötilan ja kosteuden vaihtelut eri puolilla rakennetta. Massiivirakenteissa muottikiertoa ei voida tarpeettomasti jouduttaa, koska tällöin betonin laatu kärsii. Massiivirakenteisiin soveltuva betoni edellyttää käytännössä seosaineiden käyttöä, joka myös siirtää lujuudenkehityksen vaiheita kauemmaksi.

Massiivisia betonirakenteita tehtäessä on syytä muistaa, että normaalin lujuudenkehityksen varmistamiseksi rakenne on pidettävä optimaalisissa olosuhteissa pitkään. Betoni ei saavuta nimellislujuttaan 91 vuorokaudessa, jos esim. sen lämpötila laskee liian alhaiseksi. Mahdolliset puristettavat kappaleet porataan rakenteen pinnasta ja jos lämpötila ei ole ollut riittävä, betoni saavuttaa nimellislujutensa vieläkin myöhemmin kuin 91 vuorokaudessa. Jos tätä ei oteta huomioon, puristuslujuuden alittuessa voi rakenne saada jopa purkutuomion. Olosuhteiden hallintaan onkin varattava riittävä määrä resursseja, jotta lopputuloksesta saadaan laadukas.

3 VUODENAIKOJEN VAIKUTUS

Betonia käytettäessä ympäristön lämpötilalla on suurempi merkitys verrattuna muihin yleisimpiin rakennusmateriaaleihin. Erilaisten ympäristötekijöiden vaikutus riippuu betonoitavasta rakenteesta. Esimerkiksi tuuli ja sade haittaavat lattianvalua enemmän kuin seinänvalua. Lattian tekeminen laadukkaasti vesisateessa ilman sääsuojaa on mahdotonta, kun taas seinänvalu onnistuu suojaavien muottirakenteiden ansiosta. Massiivinen rakenne tuo myös omat poikkeuksensa.

3.1 Kesä

Kesällä, kun lämpötila pysyy nollan lämpöasteen yläpuolella, valaminen ei tuo juurikaan poikkeuksia toimenpiteisiin. Jälkihoidon merkitys korostuu lämpimällä ilmalla samalla tavalla kuin muissakin rakenteissa. Massiiviset rakenteet ovat monesti piiloon jääviä rakenteita, jolloin pintavaatimus ei ole niin kova ja vesisade ei niinkään haittaa, mutta poikkeuksia toki on. Lämpimällä ilmalla ja kovalla tuulella hidastimien käyttö on tarpeen. Hidastin siirtää hydrataation vaiheita kauemmaksi eli tuo työmaalle lisää työstöaikaa. Betonoitava alue voi olla laaja, esim. 1000 m², ja valu kestää usein kauan. Ilman hidastinta tai hidastavaa notkistinta sitoutuminen voi alkaa liian aikaisin, kun tiivistäminen eli työmaakielellä vibraaminen on vielä käynnissä. Jo sitoutumisvaiheessa olevan betonin häiritseminen rikkoo muodostuneet liimasauvat (hydrataatiotuotteet) ja seurauksena voi olla lujuskato [1, s. 51]. Paras ilma massiivisen betonirakenteen valamiseen on tyyni muutaman lämpöasteen keli, jolloin ilman suhteellinen kosteus on suuri.

3.2 Talvi

Talvi tuo omat haasteensa rakentamiseen ja erityisesti betonirakentamiseen. Pakasesta ei hyötytekijöitä löydy. Suomi on pitkä maa, ja työmaan sijainti vaikuttaa paljon olosuhteisiin. Rannikolla tuulee, etelässä on lämpimämpi ja pohjoisessa kylmempi. Paikallavalettavia betonirakenteita ei käytännössä ulko-olosuhteissa

tehdä, kun lämpötila laskee $-15...-20\text{ °C}$ tuntumaan. Pakkasraja vaihtelee käytettävän kaluston mukaan. Pohjoisessa näitä päiviä on varsin yleisesti, kun taas etelässä hyvin harvoin. Ilmastonmuutos vaikuttaa myös osaltaan olosuhteisiin. Ääri-ilmiöt lisääntyvät, tuulee paljon ja sataa erityisesti talvella enemmän. Erittäin laajapinta-alaisia ulko-olosuhteissa tehtäviä massiivisia betonirakenteita ei kannata suunnitella valettaviksi talven kylmimpien kuukausien, tammi- ja helmikuun, aikana. Yli -10 °C pakkasissa koko rakenne eli myös reuna-alueet joudutaan eristämään tai lämmittämään rakenteen lämpötilaerojen tasaamiseksi. Tämä on työlästä ja kallista sekä myös turhaa, jos aikataulu ei erityisestä syystä pakota valamaan kylmimpään vuodenaikaan.

Pakkaskeleillä betonirakenteita joudutaan tavallisesti lämmittämään, jotta lujuudenkehitys olisi turvattu. Massiivisten rakenteiden kohdalla tilanne on usein toinen. Hydrataatiolämpö riittää pitämään lämpötilan riittävän korkeana lujuudenkehityksen ajan ja erillistä lämmitystä ei tarvita. Betonoitavan rakenteen ja pohjan tai muun kylmän rakenteen välinen rajapinta tulee kuitenkin lämmittää tarvittaessa ennen valua, jotta liian suuria lämpötilaeroja ei pääse muodostumaan. Valmisbetoniasema lämmittää talvikuukausina veden lisäksi runkoaineen, kun lämpötila laskee pakkasen puolelle. Tämä riittää siihen, että betoni on riittävän lämmin muottiin laskettaessa ja lujuudenkehitys käynnistyy riittävällä nopeudella.

Kuumabetonin käyttö massiivisissa rakenteissa ei ole tarpeellista eikä suositeltavaa. Sen lämpötilaa nostetaan tavallista pakkasvaatimusta korkeammaksi, kohteesta riippuen n. $30...50\text{ °C}$. Tällöin hydrataatiolämpö voi nousta liian korkeaksi nopealla vauhdilla rakenteen keskiosissa. Onkin todettu, että betonimassan lämpötilan nosto 10 °C aikaansaa lujuudenkehityksen nopeuden kaksinkertaistumisen lämpötilan ollessa lähellä huoneen lämpötilaa. Samassa suhteessa nopeutuu myös lämpötilan kehitys. Massiivisessa betonirakenteessa lämpötilankehitys pyritään pitämään maltillisessa nopeudessa. Liian nopea lämpötilan kehittyminen aikaansaa sen, että lämpötilaerot kasvavat liian suuriksi, kun ne eivät kerkeä tasaantua rakenteen keskiosan ja reunojen välillä. Sopiva lämpötilan nousunopeus hydrataatiovaiheessa on alle 10 °C/h . Nousunopeus on kutakuinkin verrannollinen rakenteen massiivisuuteen. Tavallisissa betonirakenteissa nousunopeus voi olla korkeampi. [1, s. 350 ja 359.]

4 BETONIRAKENTEIDEN TYÖNJOHTAJAN PÄTEVYYDET

Maankäyttö- ja rakennuslain asetusten muutokset tulivat voimaan 1.6.2015. Asetuksilla tarkennetaan 1.9.2014 voimaan tullutta maankäyttö- ja rakennuslain uudistusta 41/2014. Ympäristöministeriö julkaisi samalla viisi ohjetta, jotka edistävät lain ja asetusten tulkittamista. Yksi näistä on ympäristöministeriön ohje rakentamisen työnjohtotehtävien vaativuusluokista ja rakentamisen työnjohtajien kelpoisuudesta YM4/601/2015. Lakiin ja asetuksiin tulee jatkuvasti muutoksia rakennusalan kehittymisen myötä. Kulloinkin voimassa olevat pätevyysluokat ja vaatimukset löytyvät henkilöstöpätevyyksiä toteavan ja niitä kehittävän FISE Oy:n internet-sivuilta osoitteesta www.fise.fi. [4.]

Kaikki rakennusalan työnjohtotehtävät jaetaan neljään luokkaan tehtävän vaativuuden perusteella.

- Poikkeuksellisen vaativa työnjohtotehtävä
- Vaativa työnjohtotehtävä
- Tavanomainen työnjohtotehtävä
- Vähäinen työnjohtotehtävä [5.]

Ennen voimaan tullutta maankäyttö- ja rakennuslain uudistusta 41/2014 betonirakenteiden työnjohtajat oli jaettu 1. ja 2. luokkaan. Vanhat pätevydet ovat käytettävissä niiden voimassaolon loppuun asti, mutta koska vaatimukset ovat muuttuneet, ne eivät suoraan osoita kelpoisuutta uusissa pätevyysluokissa. [6.]

4.1 Erityisalan työnjohtaja

Rakennusluvan edellyttävissä hankkeissa on oltava vastaava työnjohtaja. Jos rakennustyö tai osa siitä on vaativa, voi rakennusvalvontaviranomainen määrätä hankkeeseen erityisalojen työnjohtajia. Betonirakenteiden työnjohtaja on erityisalan työnjohtaja. Erityisalan työnjohtotehtävä ei lähtökohtaisesti ole vähäinen

työnjohtotehtävä, koska työhön ei tarvitse erityisalan työnjohtajaa, jos työ on vaatimuksiltaan vähäinen. Erityisalan työnjohtotehtävä kuuluu lähtökohtaisesti pätevyysluokkiin tavanomainen, vaativa tai joskus jopa luokkaan poikkeuksellisen vaativa työnjohtotehtävä. Betonirakenteiden työnjohtotehtävä ei ole koskaan vähäinen työnjohtotehtävä. Vähäiseen työnjohtotehtävään ei esim. vaadita AMK- tai aiempaa teknikon tutkintoa, vaan siinä voi toimia henkilö, jolla katsotaan olevan tehtävään vaadittavat edellytykset. Betonirakenteiden työnjohtotehtävät jaetaan luokkiin tavanomainen, vaativa ja poikkeuksellisen vaativa. Eri pätevyysluokkiin on omat pätevyysvaatimukset tutkinnon, opintojen ja työkokemuksen osalta. Tavanomaisissa ja sitä vaativammassa työnjohtotehtävissä täytyy olla vähintään AMK- tai aiempi teknikon tutkinto. Paikallavalettavat massiiviset betonirakenteet ovat siis aina vähintään tavanomaisia työnjohtotehtäviä. [5.]

4.2 Betonirakenteiden työnjohtajan pätevyden uusiminen

Pätevyys on voimassa 7 vuotta kerrallaan, jonka jälkeen pätevyys tulee uusiksi. Pätevyden uusimisella hakija osoittaa, että on toiminut aktiivisesti todetun pätevyden määrittelemässä tehtävässä. Hakemuksesta tulee käydä ilmi tiedot työsuhteista, työkokemuksesta ja päivityskoulutuksesta pätevyden voimassaoloajalta. Betonirakenteiden työnjohtajan tehtävien suorittamista tukevaa päivityskoulutusta tulee olla vähintään 3 koulutuspäivää (21 opetustuntia) edeltävältä 7 vuoden rekisteröintiajalta. Jos pätevyyttä haetaan aikaisempaa korkeammassa vaativuusluokassa, tulee sitä hakea uutena pätevytenä. Työkokemus tulee olla pätevyden mukaisissa tai korkeamman vaativuusluokan työnjohtotehtävissä pätevyden voimassaoloajalta. [6.]

Betonirakenteiden työnjohtajien pätevöittämissä kursseista järjestää Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry [6].

5 KESKEISIMMÄT BETONOINNIN ASIAKIRJAT

Koko ajan tiukentuva ja lisääntyvä lainsäädäntö näkyy myös rakentamisessa. Muutoksilla pyritään rakennuslalla vaikuttamaan ensisijaisesti laatuun ja harmaan talouden poistamiseen. Työmaalla asiakirjojen määrä on myös lisääntynyt ja se teettää töitä työnjohdossa. Asiakirjoja on kuitenkin ollut aina käytössä ja tässä kohdassa käsitellään keskeisimpiä betonirakentamisessa käytössä jo pitkään olleita suunnitelmia ja pöytäkirjoja.

5.1 Betonointisuunnitelma

Betonointisuunnitelma on yksi työmaan kokonaissuunnitelmaa täydentävistä erikoissuunnitelmista. Sen runko on hyvä tehdä yhdessä muun työnsuunnittelun kanssa. Näin voidaan hyvissä ajoin varata työmaalle tarvittava kalusto erilaisten betonoitavien rakenteiden kohdalla. Myös tarvittavien resurssien käyttöä voidaan tehostaa, jos esimerkiksi vuokrattavia laitteita voidaan käyttää samalla kerralla useammassa kohteessa. Betonointisuunnitelma yhdessä betonointi- ja raudoitus-tarkastuspöytäkirjan kanssa ovat tärkeitä dokumentteja rakenteiden valmistuttua. Näillä voidaan osoittaa, miten rakenteet on tehty, jos ilmenee epäilyksiä oikeaoppisen rakennustavan laiminlyönnistä. [7, s. 56.]

Betonointisuunnitelman laatii rakenteen vaativuudesta riippuen riittävän pätevyyden omaava henkilö, yleensä betonirakenteiden työnjohtaja. Tarvittaessa se laaditaan yhteistyössä rakennesuunnittelijan kanssa. Suunnitelmaa voidaan muokata tai täydentää rakentamisen edetessä. Kaikista erilaisista betonoitavista rakennesista laaditaan oma betonointisuunnitelma. Useammasta samanlaisesta rakenteesta riittää, kun tehdään yksi suunnitelma, jos rakennustapa ja ympäröivät olosuhteet ovat samanlaiset. Käytännöistä on sovittava tilaajan edustajan kanssa etukäteen. Suunnitelman pohjana voidaan käyttää Rakennustiedon lomaketta Betonointipöytäkirja by 401, jossa on sekä suunnitelmaan että pöytäkirjaan kuuluvat asiat vaatimukseltaan tavanomaisessa rakenteessa. Jos rakenne kuuluu vaativampaan luokkaan, suunnitelmaa täydennetään tarvittavin osin. [7, s. 57.]

5.2 Raudoitustarkastuspöytäkirja

Betonirakentamisessa raudoitustarkastus on yleensä viranomaistarkastus. Erilais-
ten viranomaistarkastusten tekemisestä ja keiden niihin tulee osallistua määrää
rakennusvalvontaviranomainen. Vastaavan työnjohtajan tehtäviin kuuluu huoleh-
tia siitä, että ennalta määrätty tarkastus tehdään sovituissa työvaiheissa. Raudoi-
tustarkastus tehdään raudoituksen valmistuttua. Siinä vaiheessa on hyvä tarkas-
taa myös kaikki muut valuun liittyvät rakenteet, kuten valumuotit, valukorot, te-
räsosat, maadoitukset ja sähköputkitukset. Suurissa perusrakenteissa on usein
paljon maadoituksia ja ne voidaan tarkastaa myös erikseen. Tarkastukseen voi
osallistua urakoitsijan puolelta muukin kuin betonirakenteista vastaava työnjoh-
taja. Tämä on sopiva työtehtävä esimerkiksi nuoremmalle työnjohtajalle, kunhan
hän on riittävästi perehtynyt tarkastettavaan kohteeseen. Massiivisten betonira-
kenteiden kohdalla pöytäkirja laaditaan jokaiselle rakenteelle erikseen. Raudoitus-
tarkastuksen tekeminen on kustannustehokas tapa tarkastaa, että kaikki tarvittava
on valussa. Jälkeenpäin korjaaminen on aina kallista ja laatu yleensä kärsii, kun
käytetään suunnitelmista poikkeavia menetelmiä. [8, s. 32.]

5.3 Betonointipöytäkirja

Betonointipöytäkirja on raportti tapahtumien kulusta valun aikana ja sen jälkeen.
Betonointipöytäkirjan täyttäminen aloitetaan valun alkaessa ja lopetetaan vasta,
kun muotit on purettu, tarkastukset suoritettu ja mahdollinen lämpötilanseuranta
tehty [7, s. 56]. Mittaustulokset merkitään pöytäkirjaan tai liitetään sen yhteyteen.
Massiivisissa rakenteissa voidaan tehdä esimerkiksi niin, että infrapunamittarilla
mitatut pintalämpötilat merkitään pöytäkirjaan ja rakenteen sisäosista tallenta-
vasta dataloggerista saadut lämpötilakäyrät laitetaan liitteiksi. Mittaustulokset ovat
myös arvokkaita käytännön tutkimustuloksia ajatellen tulevaisuuden samankaltai-
sia kohteita. Pöytäkirjan laatii se työnjohtaja, joka on ollut valvomassa kyseisen
valun etenemisen, ja massiivisissa rakenteissa se laaditaan jokaisesta raken-
teesta erikseen. Pöytäkirjasta on löydettävä asiat, jotka on esitetty lomakkeessa

by 401. Betonointisuunnitelmasta ja -pöytäkirjasta voidaan laatia erilliset dokumentit by 401:stä hyödyntäen.

5.4 Nostotyösuunnitelma

Kun tehdään massiivisia betonirakenteita, tarvitaan aina jonkinlaista nostoapuvälinettä. Nostotöiden toimivuus vaikuttaa paljon koko työmaan etenemiseen ja turvallisuuteen. Nostotöistä säädetään laissa valtioneuvoston asetus työvälineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta 12.6.2008/403. Kaikki nostotyöt on suunniteltava jollakin tasolla. Yksinkertaisista nostoista ei tarvitse tehdä erillistä suunnitelmaa, mutta työnjohdon pitää huolehtia, että työtä tekevät henkilöt on perehdytetty oikeaoppiseen ja turvalliseen työskentelyyn. Vaativammista nostoista tulee laatia kirjallinen nostotyösuunnitelma.

Milloin:

- *Aina ennen nostotyötä, jos samanaikaisesti käytetään kahta tai useampaa nosturia taakan nostamiseen.*
- *Tarvittaessa muidenkin vaikeiden nostotöiden osalta. Tällaisia ovat esim. erityisen painavien tai suurikokoisten taakkojen nostot hankalissa olosuhteissa taikka muut erityistä suunnittelua vaativat nostot. [9.]*

Kuka:

- *Pääurakoitsijan johdolla ko. töiden urakoitsijoiden ja tarvittaessa rakennesuunnittelijan kesken.*
- *Nosturin ja nostotyön tilaaja sekä nosturin toimittaja yhdessä. [9.]*

Miten:

- *Laaditaan kirjallinen nostotyösuunnitelma, jossa selvitetään nostotyön olosuhteet, nostettavan taakan nostokohdat ja käsiteltävyys, nostomenetelmät tarvittaessa suunnittelijan kanssa, nostotyövaiheet, tarvittavat maapohjan*

tai eri rakenteiden vahvistukset, turvallisuustoimenpiteet, henkilöstön opastuksen ja ohjeiden tarve ja nostotyön vastuuhenkilöt.

- *Kaikissa nostoissa ja nostotyösuunnitelmassa on varmistuttava nostolaitteiden ja nostoapuvälineiden kunnosta ja sopivuudesta nostotarkoitukseen sekä varmistettava taakan kiinnitys ja huolehdittava siitä, että taakka on riittävästi tuettu ja tasapainossa. Nostotyö on suunniteltava siten, ettei taakan alla tai vaara-alueella jouduta tarpeettomasti liikkumaan noston aikana. Elementtejä varastoon nostettaessa ja siirrettäessä ei nostoja saa tehdä työntekijöiden yli. [9.]*

5.5 Pystytystarkastuspöytäkirja

Betonirakennustyömaalla on monenlaisia koneita, joille on tehtävä pystytystarkastus ennen kuin ne otetaan käyttöön. Yleisimpiä ovat betonipumppuauto, ajoneuvonosturi, kuormausturilla varustettu kuorma-auto ja kurottaja. Pystytystarkastuksen tekee koneen kuljettaja yhdessä työnjohtajan kanssa. Tarkastus on tehtävä uudestaan, jos konetta siirretään. Tarkastuksessa todetaan koneen olevan käytötarkoitukseen sopiva ja sitä koskevien vaatimusten mukainen. Erityisen tärkeää on tarkastaa koneen perustamisen tukevuus ja alustan kantavuus. [10.]

Pystytystarkastus on syytä tehdä joka kerta, kun se on tarpeellinen, jotta siitä muodostuisi vakiokäytäntö. Muuten voi käydä niin, että tarkastukset unohtuvat välillä tehdä. Pystytystarkastus tulee tehdä ajatuksen kanssa. Tehdystä ja allekirjoituksesta tarkastuksesta ei ole mitään hyötyä, jos koneen tukijalkoja ei ole laskettu tai ne ovat liian lyhyellä ja kone kaatuu. Myös alustan riittävä kantavuus tulee tarkastaa ennen koneen pystyttämistä. Erityisesti kuljettajalla tulee olla varmuus koneen turvallisuudesta pystyttämisestä, koska hän ohjaa konetta ja hänellä on paras tietämys. Työnjohto ei aina kerkeä valvomaan nostoja vaikka onkin yleensä vastuussa, jos jokin tapaturma sattuu. Pystytystarkastuksen huolellisesti tekemällä työnjohtaja varmistaa myös oikeusturvansa.

6 TYÖMAATEKNIikka

Massiivibetonirakentamisen työmaatekniikka sisältää asioita, joita täytyy huomioida kaikessa betonirakentamisessa. Lisäksi on aika paljon eroavaisuuksia verrattuna ”tavallisiin” betonirakenteisiin, jotka ovat yleensä yhtäjaksoiselta betonointimäärältään pienempiä. Massiivisia rakenteita käytetään Suomen mittakaavassa pääasiassa suurissa hankkeissa, joissa kokonaisuuden hallinta on haastavaa, kun liikkuvia osia on paljon. Tähän liittyy olennaisesti toimiva työmaan aluesuunnittelu.

6.1 Aluesuunnittelu

Aluesuunnittelussa työmaasta laaditaan aluesuunnitelma, joka on koko työmaalueen kattava kartta. Suunnitelman laatii hankkeen päätoteuttaja ennen rakentamisen aloittamista ja sitä päivitetään työmaan edetessä. Päivitystiheyden tarve riippuu työmaan koosta ja vaativuudesta. Aluesuunnitelma tulee laatia siten, että työmaan edetessä sitä tarvitsisi muuttaa mahdollisimman vähän. Sosiaalitulat, työmaatoimistot, varastokontit ja -teltat tulee sijoitella siten, ettei niitä tarvitse siirrellä työmaan edetessä. Aina tämä ei ole kuitenkaan mahdollista ja isolla työmaalla varastokontteja tulee lisää työmaan edetessä ja niitä joutuu usein siirtelemään työvaiheiden tieltä. Sellaiset väliaikaiset rakenteet, joihin tulee vesi ja viemäröinti, tulee sijoitella niin, että ne ovat samalla paikalla koko työmaan ajan. Väljällä tontilla, jossa työmaalle tulevien rakennelmien välissä on reilusti tilaa, on aluesuunnittelu luonnollisesti helpompaa verrattuna ahtaaseen tonttiin. Liian ahtaalla tontilla aikaa voi mennä hukkaan tavaroita siirrellessä, mikä on pois työntekoon käytetystä ajasta.

Työkaluvarastot ja sosiaalitulat on hyvä olla keskeisellä paikalla ja mahdollisimman lähellä rakennettavaa kohdetta. Näiden sijoittaminen järkevästi voi tuottaa ahtaalla tontilla vaikeuksia. Helpoin tapa on yleensä laittaa kontit työmaan johonkin laitaan. Isolla työmaalla, jossa tontin koko on useita kymmeniä hehtaareja, tämä ei ole järkevää, jos kontteja käyttävät työntekijät työskentelevät työmaalla päivittäin.

Työkalut tulee saada työpäivän jälkeen lukkojen taakse ja olla nopeasti käytettävissä, kun niitä tarvitaan. Jokaisen urakoitsijan tulee merkitä sosiaalilansansa niin, että niistä käy ilmi, kuka sen omistaa. Tämä helpottaa mm. sosiaalituloja siivoavien yritysten toimintaa.

Varastoalueet sijoitetaan työmaan pääväylien varsille, jotta tavaroiden tuominen ja hakeminen varastoalueelta onnistuu sujuvasti myös isommalla kalustolla. Massiivisia betonirakenteita tehtäessä muottikalustoa, raudotteita ja muuta kalustoa joudutaan joskus säilyttämään hetkellisesti myös varastoalueella. Työmaalle raudotteet tuodaan puoli- tai täysperävaunullisella kuorma-autolla ja terästä on kyydissä kymmeniä tonneja, joten sellainen yhdistelmä ei taivu aivan joka paikkaan. Myös raudotteet kuorma-auton kyydistä purkava ajoneuvonosturi tarvitsee oman tilansa, jos käytössä ei ole torninosturia. Esim. 100 m x 50 m kokoisella varastoalueella tulee olla kulkuväylät siten, että tavarat on helposti haettavissa. Jos varastoalue täytetään ilman kulkuväyliä, voi käydä niin, että keskialueelta raskaita tavaroita ei saa haettua tavallisimmin käytetyillä työkoneilla. Tavallisimmin tavaroiden siirroissa käytetään kuormausnosturilla varustettua kuorma-autoa, pyöräkonetta ja kurottajaa. Isolla työmaalla, jos rakennettavan kohteen ympäristö on ahdas, voidaan varastoalue sijoittaa myös hieman kauemmas kohteesta. Betonirakentamisessa varastoalueella säilytettävät tavarat ovat yleensä painavia ja niitä täytyy kuljettaa jollakin ajoneuvolla. Tavaroiden siirroissa, lastauksessa ja purussa menee suhteessa huomattavasti enemmän aikaa kuin itse siirtymässä. Tällöin ei ole juurikaan haittaa, jos varastoalue on muutaman sadan metrin päässä rakennettavasta kohteesta.

6.2 Alustavat työt

Työmaalla alustaviin töihin ja niiden määrään vaikuttaa itse betonirakenne, sen massiivisuus ja vaativuus. Muita vaikuttavia tekijöitä ovat mm. rakennuskohde, rakenteen perustamistapa ja ympäristötekijät. Kuten jo aikaisemmin on todettu, massiiviset betonirakenteet ovat pääasiassa perustusrakenteita, joiden kautta kuormittavat voimat siirtyvät maaperään. Rakenteet perustetaan paalujen varaan tai suoraan kalliolle, jos se on mahdollista. Suomen maaperän maakerrokset eivät ole

käytännössä niin kantavia, että perustukset voisi tehdä maanvaraisina. Koneperustusten päälle tulevat laitteet ovat tarkkoja sijainnistaan, joten rakenteiden painumista ei sallita. Massiivinen betonirakenne voi olla myös toisen betonirakenteen päälle perustettava rakenne, jos rakennettava kohde on korkea. Tällaisia ovat esimerkiksi ydinvoimalat ja vesivoimaloiden padot.

6.2.1 Paaluperustaminen

Maaperän ominaisuudet vaikuttavat paljon lyöntipaalutustyön onnistumiseen. Kivikkoinen maaperä voi lähteä kääntämään paalua suunnitellusta lyöntisuunnasta. Tällöin paalun yläpään/katkaisukoron sijainti poikkeaa sivusuunnassa suunnitellusta sijainnistaan. Paalun sallitulle sivuttaispoikkeamalle on määritely raja-arvot. Jos nämä ylittyvät, pohjarakenteiden suunnittelija määrittelee vaikuttaako ylitys paaluun tai yläpuoliseen betonirakenteeseen. Jos paalu on liikaa sivussa, vaihtoehtoina on lyödä korvaava paalu tai leventää paalujen varaan tulevaa betonirakennetta siten, että paalu on riittävästi perustusrakenteen alla. Perustusrakenteen leventäminen vaikuttaa raudoitukseen, ja silloin on pyydettävä uudet suunnitelmat perustusrakenteiden suunnittelijalta. [11, s. 239.]

Paalutusurakoitsijan tai pohjarakenteiden suunnittelijan on laadittava paalutustyön jälkeen toteutumapiirustus paalutuksesta, joka laaditaan paalutuskartalle. Toteutumapiirustuksesta käy ilmi muun muassa:

- paalujen toteutunut sijainti ja yläpään korkeusasema
- jos paalu on toleranssien sisällä, se esitetään suunnitellulla paikallaan
- jos paalu poikkeaa toleransseista, se esitetään toteutuneella paikallaan ja silloin suunniteltua sijaintia ei esitetä
- maahan jätetyt vaurioituneet paalut, jotka eivät toimi rakenteessa
- korvaavien paalujen sijainnit ja korkeusasemat

- paalujen varassa oleviin betonirakenteisiin tehtävät levennykset tai vastaavat muutokset. [11, s. 252.]

Betonirakenteiden urakoitsijan on syytä kiinnittää tarkasti huomiota paalutuksen toteutumapiirustukseen. Jos paalutuksesta on aiheutunut muutoksia betonirakenteisiin, tulee tarkastaa, onko rakennesuunnittelija tehnyt muutokset laudoitus- ja raudoituspiirustuksiin. Raudoitteet on myös voitu jo tilata vanhoilla piirustuksilla, jolloin raudoitteiden toimittajalle tulee toimittaa uudet kuvat ja tilata uudet raudoitteet. Massiivisten betonirakenteiden kohdalla korvaavan paalun/paalujen lyöminen on usein kustannustehokkaampi vaihtoehto kuin rakenteen muuttaminen.

Pohjatöiden yhteydessä tarkastetaan perustuksen alapinnan koron suhde paalujen yläpinnan korkoon. Paalujen päiden tulee olla vähintään 50 mm näkyvillä, jotta varmistetaan paalujen tasainen kannattelevuus. Paalujen päät puhdistetaan ja porataan mahdolliset tartunnat suunnitelmien mukaisesti.

6.2.2 Betonimassan valinta

Rakennesuunnittelija määrittelee betonirakenteen suunnitellun käyttöiän, seuraamus-, toteutus-, toleranssi-, lujuus- ja rasitusluokan sekä kiviaineksen suurimman raekoon. Betonirakenteiden urakoitsijan ja valmisbetonin toimittajan tehtäväksi jää yhteistyössä valita kohteeseen sopiva betonin koostumus. Jos rakenne on hyvin tavanomainen ja se ei altistu koville rasituksille, on valinta helppo. Tavanomaisia betonilaatuja on käytetty paljon ja ne ovat kestäneet hyvin. Valmisbetonin toimittaja valitsee kohteeseen sopivan betonireseptin, jolloin betonirakenteiden urakoitsijan ei tarvitse valintaan puuttua.

Massiivisten betonirakenteiden kohdalla urakoitsija käy betonoitavan kohteen läpi betonin toimittajan kanssa ja kertoo, mitkä tekijät vaikuttavat betonointityön onnistumiseen. Näitä ovat esimerkiksi betonin työstettävyyssäikä ja mahdolliset kiviaineksen raekoon muutokset betonoinnin aikana. Kun betonoitava rakenne on käyty läpi, betonin toimittaja tekee laskelmat lämpötilan kehityksestä ja valitsee käytettävän betonilaadun tai eri vaihtoehdot. Ratkaisut esitetään tilaajalle, joka hyväksyy valinnan.

6.3 Muottitekniikka

Muotteina massiivisissa betonirakenteissa käytetään pääsääntöisesti järjestelmämuottikalustoa. Rakenteet ovat yleensä suorakaiteen muotoisia ja soveltuvat hyvin järjestelmämuoteilla tehtäviksi. Massiivirakenteissa tarvitaan pääasiassa pystyrakenteiden muotteja, koska rakenteet tukeutuvat maaperään tai toiseen koko pohjan alalta kannattelevaan rakenteeseen. Erilaiset järjestelmämuotit ovat nykyään eniten käytettyjä muotteja paikallavalurakentamisessa. Pystyrakenteiden muotit ovat teräsrunkoisia ja muotin toisella puolella on pinnoitettu viilupuulevy. Järjestelmämuotin etuja ovat mm. lujuus, nopea asennettavuus, hyvä säädettävyys ja muunneltavuus.

Muottitekniikaltaan massiivirakenteet ovat yleensä hyvin yksinkertaisia. Muotittavat pinnat ovat suoria ja usein alle kolme metriä korkeita. Korkeussuunnassa riittää siis yksi 2,7 m tai 3,3 m korkea muotti. Kun muottitekniikka on yksinkertainen, muottityö on nopeaa. Kokemusten mukaan järjestelmämuottitöiden osuus raudoitus- ja muottitöiden yhteiskestosta on noin 20 %. Muotit tuetaan muottitoimittajan suunnitelmien mukaisesti. Tukijalat tuetaan johonkin riittävän tukevaan alustaan, esimerkiksi betonipaaluihin tai toiseen betonirakenteeseen. Alustan on oltava sellainen, joka ottaa kuormia vastaan myös jonkin verran vedon suunnassa. Tämä estää muotin painumisen kasaan sidetankoja kiristettäessä, kun välikeputkia ei ole käytössä. ”Surrit” eli muottisidetangot asennetaan koko rakenteen läpi muottisuunnitelman mukaisesti. Jos rakenne on erityisen leveä tai pitkän mallinen, sidetangot voidaan hitsata raudoitukseen, jotta niitä ei tarvitse viedä esim. 50 metriä pitkän rakenteen läpi. Raudoitusta voi joutua tällöin tukemaan lisää ja myös ulkopuolisia tukijalkoja tai jäykisteitä voi joutua lisäämään. Muottisuunnitelmasta poiketessa tulee aina keskustella muottisuunnittelijan kanssa.

Sidetankoina massiivisissa rakenteissa käytetään 10 tai 12 mm:n pyörötankoja ja niihin soveltuvia muottilukkoja. Jos rakenne jää maan alle, rakenteeseen jäävinä sidetankoina voidaan käyttää mustaa rautaa. Näkyviin jäävissä rakenteissa tai muista vaatimuksista johtuen käytetään RST-pyörötankoja. Kustannussyistä ruostumattomia ei kannata käyttää kuin rakenteen reuna-alueilla. Keskialueelle asen-

netaan ns. mustat tangot, jotka hitsataan rajapuikolla yhteen. Pitkillä vaakasuuntaisilla välimatkoilla pyörötanko alkaa roikkua, vaikka sen kiristää tiukalle. Tällöin vaarana on sidetankojen nouseminen betonivalun aikana, kun betonin noste nostaa tankoja. Samalla vaakasuora pituus kasvaa ja muotit voivat hieman levetä. Tämä voidaan estää asentamalla työteräkset rakenteen keskelle kannattelemaan sidetankoja. Alumiinia ei juurikaan käytetä, koska sen lujuus ei ole riittävä tai hitsaaminen työmaaolosuhteissa on hankalaa. Harvakierretankoa ei myöskään käytetä leveissä rakenteissa. Harvakierretanko on tarkoitettu poisotettavaksi rakenteesta muottien purkuvaiheessa ja siihen tarvitaan välikeputkea ja muottikartioita. Pelkkä välikeputki on kalliimpi kuin musta pyörötanko ja suunnilleen samanhintainen kuin mustan ja RST:n yhdistelmä. Välikeputket ovat tavallisesti kahden metrin mittaisia, joten jatkoksiin tarvitaan erikoisratkaisuja tai pitempää putkea. Asentamisnopeudessa ei myöskään saavuteta etuja pyörötankoon nähden. Sidetangot asennetaan massiivisissa rakenteissa raudoituksen valmistuttua tai raudoituksen edetessä tilanteen mukaan. Muottitimpureiden ja raudoittajien tulee sopia asia keskenään, jotta molempien työt sujuvat mahdollisimman jouhevasti. Liian aikaisin asennetut sidetangot hankaloittavat helposti raudoittajien kulkemista työkohteessa.

Kun muotit on saatu pystytettyä, täytyy sisäpuolelle järjestää sujuva ja turvallinen kulkutie. Yksi vaihtoehto on jättää yhteen tai useampaan kohtaan muotti asentamatta, jolloin kulkutie saadaan maan tasolle. Raudoituksen valmistuttua puuttuvat muotit nostetaan paikoilleen. Tätä on syytä harkita talvella ulko-olosuhteissa, kun on lumisateen mahdollisuus. Kulkuaukoista saadaan satanut pakkaslumi puhallettua lehtipuhaltimella kätevästi pois. Toinen vaihtoehto on tehdä kulkutie muottien yli. Tällöin kulku on betonointia varten valmiina, mutta on hieman raudoituksen tiellä.

Kuten aina, on olemassa myös poikkeuksia. Massiivinen paikallavalettava betonirakenne voi olla myös vaativa muotitettava. Patorakenteet ovat vesitiiviitä ja todella korkeita. Siltarakenteet ovat monimuotoisia, ja työskentelemään voi joutua veden alla. Teollisuuskohteissa taas voi olla mitä erikoisimpia koneperustuksia. Näihin eivät välttämättä järjestelmämuotit enää taivu, joten erikoisratkaisut täytyy

sorvata työmaalla. Tällöin kysytään osaamista työnjohdosta työntekijöihin, jotta kokonaisuus tarkkoine toleransseineen pysyy hallinnassa.

6.4 Raudoitus

Massiivisiin teräsbetonirakenteisiin menee betonin ohella myös terästä paljon. Nykyaikana kaikki raudoitteet tilataan valmiiksi taivutettuina teräsbetoniraudoitteiden toimittajalta. Tämä on kustannustehokkain tapa. Työmaalla raudoitteita tehdään vain pakon edessä tai jos menekki on hyvin vähäinen. Tällaisia tilanteita voi tulla, jos esimerkiksi suunnittelussa on tapahtunut virhe eli raudoitteet ovat vääränlaisia ja asia huomataan työmaalla vasta, kun niitä pitäisi asentaa paikoilleen. Raudoitteiden toimittajan kanssa on sovittu jokin minimitoimitusaika, esim. kaksi viikkoa, jossa ajassa raudoitteet pitää toimittaa tilauksesta työmaalle. Tällöin ei raudoitteita voi jäädä odottamaan, vaan ne on tilattava toiselta toimittajalta tai erittäin kiireellisissä tapauksissa tehtävä työmaalla. Raudoitteiden toimittaja on harvoin myöskään työmaan kanssa samalla paikkakunnalla, joten logistiikkakin vie oman aikansa.

Tavaroiden tilaaminen työmaalle oikea-aikaisesti ja oikeilla määrillä on yksi työnjohdon/työmaainsinöörin tärkeimmistä ja myös vaikeimmista tehtävistä. Tässä onnistuminen on paljon aikataulusuunnittelun onnistumisesta kiinni. Raudoitteiden tilaaminen oikea-aikaisesti on betonirakenteiden työnjohdon arkipäivää. Tilaaminen pitäisi pystyä tehdä mahdollisimman hyvissä ajoin, jotta raudoitteiden toimittaja pystyy toimittamaan tilaukset aikataulussaan. Työmaan ollessa aikataulussa minimitoimitusaikoja ei yleensä tarvitse käyttää. Monen kuukauden päähän tuskin kukaan osaa päivän tarkkuudella ennustaa vaan viikon tarkkuudella riittää. Raudoitteet kuten muutkin tavarat pitää olla työmaalla mieluummin etuajassa kuin myöhässä. Siksi raudoitteet voivat tulla herkästi tilattua etuajassa. Monimutkaiset raudoitteet ovat kuitenkin hankalasti varastoitavaa tavaraa. Eri rakenteisiin kuuluvia taivutettuja osia ei kannata ikinä varastoida päällekkäin, ja näin ne vievät paljon tilaa. Paras olisi, jos ne saisi purettua kuormasta suoraan kohteen viereen nosturin etäisyydelle. Aina tämä ei ole mahdollista ja raudoitteet pitää viedä varastoalueelle. Tärkeää on laittaa tukevat aluslankut tai vastaavat, jotta raudat ovat irti

maasta. Nostotyö helpottuu tällöin huomattavasti, raudoitteet eivät sotkeennu tai talvella jäädy maahan kiinni. Talvella tulee käyttää myös vahvoja nostopisteillä varustettuja suojapeitteitä lumisateen varalle. Vähäiset lumimäärät voidaan nostaa tällöin lastausvaiheessa kerralla nosturilla pois. Raudoitteiden säilyttäminen työmaalla pitkiä aikoja etenkin lumisena talvena on erittäin hankalaa juuri niiden hankalan varastoinnin takia ja työnjohdon kannattaa kiinnittää raudoitustöiden aikatauluttamiseen erityistä huomiota.

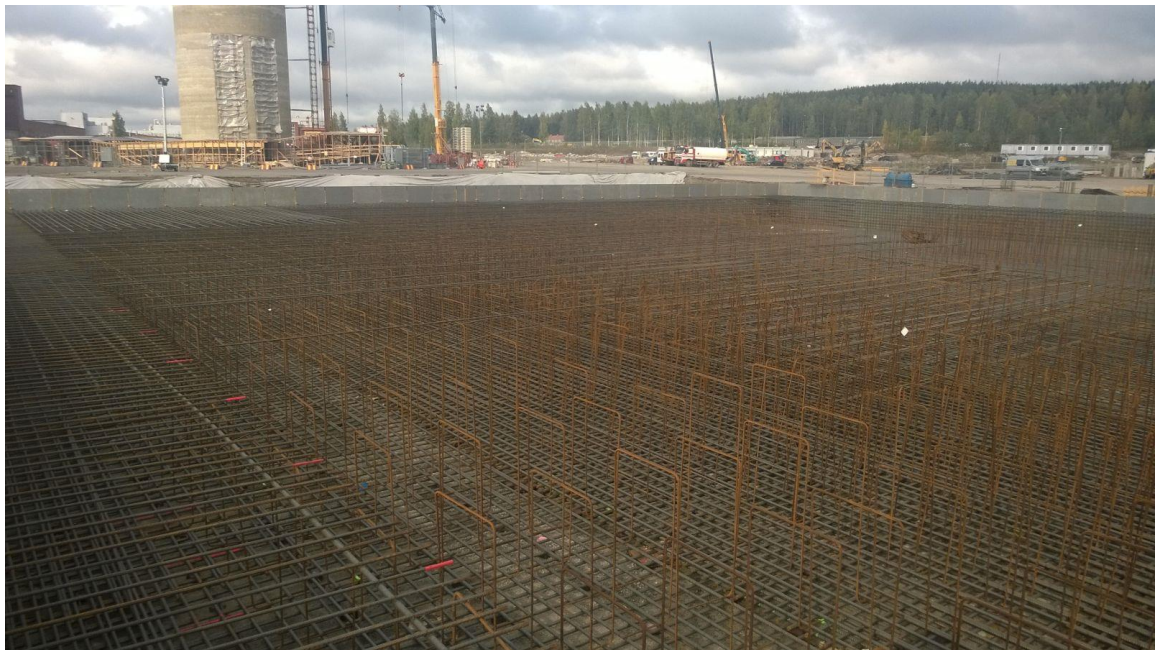
Kun raudoitteet saapuvat työmaalle, tulee vastaanottavan henkilön tarkastaa lähetylistasta, että raudoitteet ovat tilatun mukaisia ja puutteita ei ole. Yhteen massiivisen betonirakenteeseen menee yleensä monta kymmentä tonnia terästä ja joskus jopa satoja tonneja. Tämä tarkoittaa yhtä tai useampaa rekkakuormallista. Määrien ollessa suuria jokaista rautaa ei kerkeä käymään työmaalla mittanauhan kanssa läpi. Tärkeämpi on katsoa silmämääräisesti, että raudoitteet ovat raudoituspiirustuksen mukaisia ja kilomäärät täsmäävät raudoiteluettelon kilomäärään. Nykyaikaisella tekniikalla valmistetut raudoitteet ovat hyvin mittatarkkoja sekä oikeanlaisia ja näin ollen toimitukset ovat varsin luotettavia. Samassa kuormassa voi kuitenkin olla toisellekin työmaalle meneviä teräksiä, joten tarkkana täytyy olla.

Teräs on painava materiaali, ja sen nostamiseen tarvitaan raudoitustyössä lähes aina jonkinlaista nostokonetta. Sopivin nostokone valitaan kohteen vaatimusten mukaan. Määrävimmät tekijät ovat raudoitteiden paino, nostoetäisyydet ja käytettävissä oleva kalusto. Käytetyimpiä ovat torni- ja ajoneuvonosturi. Ajoneuvonosturi on järkevä valinta, jos työmaa-alue on laaja tai nosturin tarve esimerkiksi perustustyövaiheessa hyvin jaksoittaista. Nosturin koko tulee mitoittaa sopivaksi kohteen mukaan. Toinen tärkeä tekijä on nosturin sijoittaminen. Etäisyyksien tulee olla niin, että nosturin puomin pidentävää ja lyhentävää liikettä tarvitsee tehdä mahdollisimman vähän, koska se on hidasta. Oikea nostokone on isossa roolissa, ja nämä kaksi tekijää huomioimalla saadaan raudoitustyötä nopeutettua.

Jos tehdään perustusrakenteita, on ennen raudoitustyötä tarkastettava maadoituspiirustukset. Erityisesti teollisuuskohteiden perustusrakenteisiin tulee lähes aina maadoituksia. Teollisuuden koneet tarvitsevat isoja virtamääriä, ja samaan perustusrakenteeseen voi tulla useampia maadoitusjohtoja. Päämaadoituspiiriin liitettävät haarajohdot tulee aina asentaa paikoilleen ennen raudoitustöitä, koska

raudoituksen jälkeen asentaminen hankaloituu huomattavasti. Betonirakenteen raudoitukseen hitsaamalla liitettävät maadoitukset voidaan asentaa raudoituksen yhteydessä. Betonin sisällä kulkevat johdot on aina laitettava suojaputkeen.

Tavallisimmissa massiivisissa betonirakenteissa raudoitustyö on selkeä ja johdonmukainen tehdä. Eroavaisuutta muihin betonirakenteisiin tulee lähinnä terästen paksuuksissa. Käytetyimpiä kokoja ovat 16, 20, 25 ja erittäin massiivisissa 32 millimetriä. Koko raudoituksen paino on luonnollisesti myös todella painava. Tällöin maata vasten perustettaessa raudoitusvälikkeinä ei voida käyttää tavallisia muovivälikkeitä. Muovivälike ei kestä raudoituksen ja työskentelyn aiheuttamaa kuormaa tai painuu maahan. Pehmeälle alustalle tarkoitettut muovivälikkeet ovat myös yleensä tarkoitettu 8–20 mm teräksille. Välikkeenä kannattaa käyttää esimerkiksi 300x300 mm betonilaattoja tai raskaisiin raudoituksiin tarkoitettuja betonivälikkeitä. Jos raudoituksen neliökuorma on suuri, esim. 500 kg/m², voi pehmeällä alustalla painumista tapahtua betonivälikkeistä huolimatta. Välikkeitä ei voida asentaa myöskään liian tiheästi, koska tällöin betoni ei pääse ympäröimään alapinnan teräksiä ja betonin ja terästen välinen tartunta jää heikoksi. Ratkaisuna tähän voidaan pohjan korkoon valaa työbetoni, joka toimii painumattomana alustana. Kuvassa 4 sivulla 27 on raudoitusvaiheessa oleva 5000 m³ massiivilaatta.



Kuva 4. Raudoitusvaiheessa oleva massiivilaatta.

6.5 Betonointi

Betonimassan tilaaminen kannattaa tehdä hyvissä ajoin. Yleensä kaksi viikkoa ennen valua riittää, mutta todella suuret valut tulee ilmoittaa aikaisemmin. 1000 m³ yhtäjaksoinen valu voi kestää esimerkiksi 20 tuntia ja valmisbetoniaseman tuotantokapasiteetti voi olla tällöin ylärajoilla. Tämä vaikuttaa paljon valmisbetoniaseman toimintaan, koska se ei pysty palvelemaan silloin muita asiakkaita.

6.5.1 Betoniaseman sijainti

Betoniaseman etäisyys työmaasta vaikuttaa betonoinnin suunnitteluun ja betonointityön sujuvuuteen. Kaukana oleva betoniasema hankaloittaa tilannetta ja nostaa kuljetuskustannuksia. Kesällä betonin notkeus voi vaihdella työmaalla, ja talvella betoni jäähtyy pitkän kuljetuksen aikana. Pitkät kuljetusmatkat ovat vaikeita aikatauluttaa, kun niihin tulee joka tapauksessa heittoa ja eivät näin ollen sovellu massiivisiin valuihin. Massiivisen valun onnistumisen kannalta yksi tärkeä tekijä on betonin kuljetuksen toimiminen tasaisesti. Betoninkuljetusautot pitää saada työmaalle muutaman minuutin tarkkuudella. Työ etenee sujuvasti, kun yksi auto purkamassa kuormaa ja toinen tulee työmaalle ennen kuin toisen auton purku on loppunut. Jos toimitusajat vaihtelevat, tulee valuun katkoksia tai työmaalle kertyy tarpeettomasti betoninkuljetusautoja odottamaan. Molemmat tapaukset ovat yhtä haitallisia. Pitkässä valussa katkokset voivat pidentää valua useita tunteja. Tavallisesti betoninkuljetusauton palveluaika on 20–30 minuuttia. Jos autoja on jonossa työmaalla, palveluaika umpeutuu jo jonottaessa ja ylimenevältä ajalta valmisbetonin toimittaja laskuttaa palveluaikalisää. Molemmat tapaukset nostavat huomattavasti betonoinnin kustannuksia. Jos työmaa on niin suuri, että lähitöllä olevien valmisbetoniasemien tuotantokapasiteetti ei riitä, perustetaan työmaan ajaksi väliaikainen betoniasema. Asemia voi olla yksi tai useampi eri betonitoimittajien määrästä riippuen. Paras tilanne on, jos asema voidaan perustaa työmaatontille tai sen välittömään läheisyyteen. Alle 10 kilometrin toimitusmatka on vielä hyvä. Tämä mahdollistaa betoninkuljetusautojen tarkan aikataulutuksen ja kyvyn reagoida nopeasti muutoksiin.

6.5.2 Betonipumppuauton sijoittaminen

Nykyaikana yleisin betonin siirtotapa työmaalla on erilaiset hydrauliset pumppauskalustot. Pumia eli kuljetuspumppuautoa ei massiivisissa valuissa oikeastaan käytetä, koska sen pumppausteho tai puomin ulottuma ei ole riittävä. Betonipumppuauto on lähes aina paras vaihtoehto. Sen pumppausteho on n. 150 m³/h ja puomin vaakaulottuma vaihtelee auton koosta riippuen 25–50 metrin välillä. Massiivisen betonirakenteen valussa käytetään yhtä tai useampaa pumppuautoa kohteesta riippuen. Pumppujen määrä valitaan lähinnä ulottuman mukaan. Yleensä yksi iso pumppu riittää, mutta joskus voi tarvita kaksikin. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon valmisbetonitehtaan toimituskapasiteetti. Useasta pumpusta ei ole mitään hyötyä, jos betoniasema ei kykene toimittamaan betonia riittävää määrää ja jokin/toinen pumpuista on välillä toimettomana. Jos valitaan käytettäväksi yksi pumppu ja se ei yletä samalta paikalta pumppaamaan koko valua, voidaan pumppu myös siirtää kesken valun. Siirto on yleensä mahdollista tehdä, koska se vie aikaa vain noin puoli tuntia. Erityisen lämpimällä ja tuulisella kelillä voi tulla ongelmia, kun betonoitava pinta-ala on laaja ja vesi haihtuu betonin pintaosasta tehokkaasti. Jonkinlaisena nyrkkisääntönä voisi varmaan pitää, että 1000 m³ pienemmissä valuissa riittää yksi betonipumppuauto.

Pumppuauton sijoittaminen vaatii myös työnjohdolta suunnittelua. Jos asiaa ei huomio mitenkään, voi valu myöhästyä pahastikin. Massiivinen betonirakenne on yleensä pinta-alaltaan laaja ja se vaikuttaa pumpun sijoittamiseen. Lähtökohtaisesti pumpulle paras paikka on sellainen, josta on näköyhteys valukohteeseen ja pumpulla ylettää samasta sijainnista betonoimaan koko rakenteen. Joskus tilanne voi olla sellainen, että työmaa on ahdas ja pumpun paikkaa ei voi juurikaan valita, vaan se on sijoitettava minne se mahtuu. Tämä on harvoin paras paikka. Muita rajoittavia tekijöitä ovat esimerkiksi yläpuolella olevat esteet. Jos valu on sisätiloissa, voi rakennuksen sisäkorkeus olla liian matala, jolloin puomia ei saa auki. Paras arvioitsija tilanteessa on yleensä pumppuauton kuljettaja, joten häneltä kannattaa kysyä, jos arveluttaa jokin asia pumpun sijoittamisessa.

6.5.3 Betonin siirto työmaalla

Toinen huomioitava asia on betoninkuljetusautojen mahdollisimman helppo reitti pumpun perään. Reitti pitää olla mahdollisimman lyhyt ja kaltevuus loiva, jos tontilla on korkeuseroja. Talvella hiekoitus on ehdottoman tärkeä, koska painavat autot tamppaavat lumisen pinnan liukkaaksi. Vuoroaan odottavalle kuljetusautolle tulee olla myös huomioitu paikka. Nämä seikat huomioimalla saa lyhennettyä huomattavasti betonoinnin kokonaiskesto-aikaa. Yleensä käytössä on 8–12 m³ kuljetusautoja. Isolla pumpulla pumppaa täydellä teholla 10 m³ kuorman noin kahdeksassa minuutissa ja hyvin suunniteltu kuljetusauton vaihto kestää noin kaksi minuuttia. Yhden kuorman purku kestää keskimäärin siis 10 minuuttia. Massiivisissa betonirakenteissa käytettävät valunopeudet ovat poikkeuksellisia muihin betonointeihin verrattuna. Käytännössä olen huomannut, että maksimi nopeus yhdellä pumpulla on n. 60 m³/h. Tämä edellyttää todella hyvät olosuhteet. Kuormia on paljon ja yhden kuorman purku kestää vähän aikaa, jolloin kuljetusautojen vaihdon onnistumisen merkitys kasvaa. Jos vaihdon kesto kaksinkertaistuu eli lisääntyy vain kahdella minuutilla tarkoittaa tämä 1000 m³ valussa yli kolmen tunnin pidentymistä betonoinnin kokonaiskesto-aikaan. Työn suunnittelulla on siis merkitystä ja massiivista paikallavalettavaa betonointia voisi kutsua leikkisästi viestijuoksuksi, jossa onnistunut vaihto ratkaisee paljon. Kun betonointinopeus on suuri, se pitää huomioida myös työntekijämäärässä. Erityisesti betonin tiivistämiseen tarvitaan riittävästi työntekijöitä, jotta tiivistys saadaan toteutettua laadukkaasti.

Betonointityö tulee suunnitella siten, että pumppuautolla pääsee riittävän lähelle valettavaa rakennetta. Linjavalu ei sovellu laajapinta-alaisten massiivisten rakenteiden betonointiin, koska betonointinopeus laskee huomattavasti verrattuna roikkovaluun. Betonointinopeus pitää olla riittävä, jotta betoni ei kerkeä alkaa sitoutumaan tiivistettävien betonikerrosten välillä. Toinen huomioitava asia on maksimi-raekoko, joka on yleensä 32 mm. Tämä ei sovellu linjavaluun, ja raekoon pienentäminen nostaa kustannuksia sekä ei ole hyvä ratkaisu massiivisissa valuissa.

6.5.4 Betonointityö

Lämpimällä ja kuivalla kelillä betonoitava pohja tulee kastella, jos se on aikaisemmin valettu betonirakenne. Näin varmistetaan betonimassan hyvä liikkuvuus joka paikkaan. Talvella mahdollinen lumi ja jää tulee sulattaa höyryttämällä. Pakkasella voi tarpeen mukaan käyttää höyrytyksen jälkeen suojapeitteitä, jolloin muottien sisäosa pysyy lämpimänä. Betonointijärjestys riippuu pumppujen määrästä, rakenteen muodosta ja massiivisuudesta. Suorakaiteen muotoisessa rakenteessa yhdellä pumpulla valettaessa on paras aloittaa lyhemmältä sivulta tasaisena rintamana edeten toiseen reunaan. Tällä tavalla voidaan minimoida pumppuauton puomin edestakaisen liikkeen tarvetta muotin laidalta toiselle. Tämä edellyttää, että muotti on tuettu riittävän tukevasti paikoilleen. Kun aloitetaan valamaan vain yhdeltä sivulta, muodostuu suurin betonista muottiin kohdistuva voima tälle sivulle. Vastakkaisella puolella ei ole tällöin betonista kohdistuvaa tukevaa voimaa ja koko muotti voi siirtyä paikaltaan. Yläpinnan raudoitukseen jätetään riittävä määrä valaukkoja, jotta valuputki saadaan laskettua riittävän alas ja betonin erottumista ei tapahdu. Maksimi pudotuskorkeus on yksi metri. Valuaukoilla ehkäistään myös pintaverkon sotkeentumista betoniin. Betonointi etenee pohjalta pintaa kohden 0,3 metrin kerroksina. Pohjaosa etenee kauempana edellä ja pintaosa kapeampana perässä, jolloin betonimassasta muodostuu luiska. Luiskan kaltevuus määräytyy betonin notkeuden mukaan. Luiska ei saa olla liian loiva, jotta avoika ei kasva liian suureksi aiheuttaen valusaumoja. Betonista ja olosuhteista riippuen alle jäävä kerros ei saisi olla 1,5 tuntia vanhempi. Yhdellä pumpulla toinen betonointijärjestys vaihtoehto on aloittaa keskeltä reunoja kohti vuorotellen edeten. Tämä toimii n. 500 m³ valuissa vielä hyvin, mutta suuremmissa valuissa on vaarana, että valusaumoja alkaa syntyä. Pyöreät, kuten tuulivoimalan perustukset, aloitetaan keskeltä reunoja kohti tasaisesti edeten. Tuulivoimalan perustukset ovat keskustastaan vahvempia kuin reunoilta, mikä myös vaikuttaa aloituspaikan määräytymiseen.

Kahdella pumpulla valettaessa voidaan aloittaa keskeltä tai vastakkaisista sivuista. Keskeltä aloitettaessa valetaan ensin rakenteen levyinen harjanne kerroksittain ja lähdetään etenemään molemmilla pumpuilla vastakkaisiin suuntiin. Toi-

nen vaihtoehto on aloittaa vastakkaisilta sivuilta edeten keskustaa kohden. Kahdella pumpulla valettaessa saadaan helpommin suoritettua betonointi niin, että muottia kuormitetaan tasaisesti vastakkaisilta sivuilta. Pitkissä, jopa useita vuoro-kausia kestävässä valuissa, pitää varautua pumppuauton polttoainetankkauksiin. Tämä tulee huomioida aikataulussa. Pitkissä valuissa on myös hyvä olla toinen pumppuauto varalla, jos käytössä oleva rikkoontuu. Teknisissä laitteissa kaikki on mahdollista, ja jos valu keskeytyy pitkäksi aikaa, voi seuraamuksena olla jopa rakenteen purkaminen. Myös tarvittavien työntekijöiden määrä kasvaa, kun työ pitää tehdä useammassa vuorossa eri henkilöillä. Yhdessä vuorossa pitää olla ainakin työnjohtaja, yksi pumppuauton kuljettaja, valutyöryhmä ja pintatyöryhmä pumppuautojen määrän mukaan sekä apu/rakennusmiehiä valun peittelyyn ja muihin apu- töihin. Pintavaatimukset massiivirakenteissa ovat harvoin kovin tiukat, koska rakenteet ovat usein perustuksia. Jos pinnaksi tulee lattia, se on järkevämpi valaa omana valunaan. Kerralla valettava kerrospaksuus saadaan ohuemmaksi ja voidaan mahdollisesti hyödyntää sääsuojana päälle tehtyä rakennusta. Samasta syystä myöskin sääsuojan käyttö tulee tarpeelliseksi korkeintaan lattianvaluvaiheessa.

6.5.5 Lämpötilan hallinta kylmissä olosuhteissa

Kun laskelmin on todettu betonin riittävä lujuus, muotit voidaan purkaa. Talvella massiivibetonirakenteissa pätevät samat säännöt kuin muissakin betonirakenteissa. Pakkasella muotit suojaavat rakennetta jäähtymiseltä ja kun ne puretaan, jäähtyy betonin pinta nopeasti. Nopea jäähtyminen, ympäröivän ilman ja betonipinnan suuri lämpötilaero sekä näistä johtuva rakenteen keskiosan ja pinnan välinen suuri lämpötilaero aiheuttavat halkeilua. Peittämättömän betonipinnan lämpötila laskee pakkaskaudella 5–10 °C/h. Jäähtymisnopeus ei tavallisesti ole niin suuri, että pelkästään se aiheuttaisi halkeilua. Rakenteen keskiosan ja pinnan välinen lämpötilaero kasvaa kuitenkin varsin nopeasti suuremmaksi kuin 20 °C, jolloin halkeilun riski kasvaa. Kun muotit puretaan, ilman ja betonin lämpötilaero ei saisi olla suurempi kuin 40 °C. Tämä ylittyy helposti yli -10 °C pakkasilla. [1, s. 360 ja 369.]

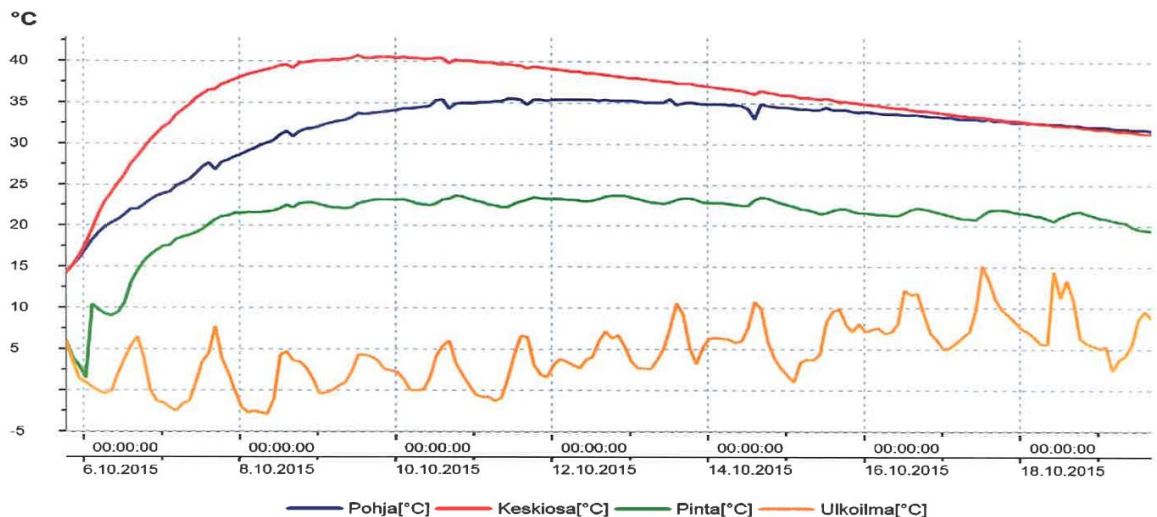
Halkeiluvaaraan minimoimiseksi rakenne lämmitetään ja/tai eristetään reunaosiltaan. Lämmitystä ei yleensä massiivisissa rakenteissa tarvita ja sitä kannattaa harkita tarkkaan, koska esimerkiksi kovetuskaapelit nostavat betonoinnin kustannuksia huomattavasti. Eristäminen on hyvä vaihtoehto, koska samalla tulee estettyä kosteuden haihtuminen liian nopeasti, mikä täytyy tehdä joka tapauksessa. Rakenteen yläpinta on helppo ja toimiva eristää pakkasmatoilla, jonka päälle laitetaan tarvittaessa vahvat suojapeitteet. Sivut on työläämpi eristää. Eristetyt ja lämmitettävät suurmuotit eivät ole hyvä ratkaisu, koska muotteja joutuisi pitämään niin kauan paikallaan, että kustannukset nousisivat liian korkeiksi. Yksi kokeilemisen arvoinen vaihtoehto olisi mielestäni suorareunaisissa piiloon jäävissä rakenteissa eristeen asentaminen muotin sisäpintaan. Tämän toimivuudesta käytännössä ei ole itselläni kokemusta. Kun muotit on pystytetty, asennetaan esim. 25 mm EPS-levy kauttaaltaan pystymuottien sisäpintaa. Eristeen vahvuus huomioidaan muottien asennuksessa. Levyt kiinnitetään raudoitusvälikkeillä muottiin, yksi välike/levy. Levyjen asennuksen jälkeen raudoitus ja muottien sidonta voidaan tehdä normaalisti. Mahdolliset tartuntalevyt yms. hitsataan raudoitukseen kiinni. Levyjen asennus on nopea tehdä, ja se ei hidasta raudoituksen tekemistä, koska pohjaraudoitus tehdään ensin. Levyt toimivat eristeinä jo betonointivaiheessa ja estävät lämmön johtumista tehokkaasti verrattuna pelkkään muottivaneriin. Tällöin muotit voidaan purkaa aikataulun mukaisesti ja eristys on valmiina, jolloin lämpötila betonin pinnassa pysyy tasaisena. Eristeet voidaan jättää paikoilleen ja täytöt tehdä ympärille.

6.5.6 Lämpötilan seuranta

Massiivisissa betonirakenteissa käytetään aina lämpötilan seuranta. Tällä seurataan lujituksen kehitystä, maksimilämpötilaa ja pinnan ja keskiosan välistä lämpötilaeroa. Mittauspisteiden määrä riippuu rakenteen massiivisuudesta. Pienemmissä rakenteissa riittää, kun yksi lämpötila-anturi laitetaan rakenteen keskelle. Suuremmissa rakenteissa mittauspisteitä voi olla paljonkin. Yleensä vähintään rakenteen keskikohdassa pintaan, keskelle ja pohjalle sekä reuna-alueille tarvittava määrä. Betonin sisään tulevilla mittauspisteillä käytetään tallentavaa datalogge-

ria. Nykyään laitteita on saatavilla monenlaisia ja hyvinkin monipuolisilla ominaisuuksilla. Dataloggerit ovat käteviä, koska lämpötilaa ei tarvitse käydä mittaamassa, vaan laite hoitaa lämpötilanseurannan. Tulokset saadaan esim. hyvin havainnollistavina lämpötiläkäyriä. Pintalämpötilaa voidaan seurata lisäksi myös infrapunalämpömittarilla.

Kuvassa 5 sivulla 34 on massiivilaatan lämpötilanseurannan tuloksena saatu lämpötilakaavio. Laatan vahvuus on kaksi metriä ja tilavuus 5000 m³. Eristeenä rakenteen pinnassa käytettiin solumuovimattoa. Hydrataatiolämmön pienentämiseksi seosaineena on käytetty masuunikuonajauhetta. Sementtinä on käytetty portlandseossementtiä CEM II/B-M. Sementtistandardin SFS-EN 197-1 mukaan se sisältää portlandklinkkeriä ja 21–35 % seosaineita eli tässä tapauksessa masuunikuonajauhetta. Sementin lujuusluokka on 42,5 N, eli sementin puristuslujuus 28 vuorokauden iässä on 42,5 MN/m² ja varhaislujuudenkehitys on normaali. Betonin lujuusluokka on C30/37, notkeus S3, rasitusluokka XC2 ja runkoaineen suurin raekoko 32 mm. Betoni on suhteitettu siten, että sen lujuudenarvosteluikä on 91 vuorokautta. [12.]



Kuva 5. Massiivilaatan lämpötilan seuranta.

Kuvasta näkee betonin lämpötilan kehittymisen kahden ensimmäisen viikon ajalta betonoinnin jälkeen. Mittalaitteena on käytetty tallentavaa dataloggeria ja siihen

kytkettyä neljää lämpötila-anturia. Mittauspisteet sijaitsevat vaakasuunnassa samassa kohti rakenteen keskellä ja pystysuunnassa eri tasoissa eli pohjassa, keskellä ja pinnassa sekä ulkoilmassa. Ulkoilman lämpötila oli massiivibetonointia ajatellen erinomainen vaihdellen yli kaksi vuorokautta kestäneen betonoinnin aikana $-1...+11$ °C välillä. Kuvassa näkyvän mittausjakson aikana ulkoilman lämpötila oli $-2,9...+15,2$ °C. Lämpötilan kehitys oli varsin maltillinen ja maksimilämpötila rakenteen keskellä noin neljän vuorokauden kuluttua betonoinnista oli $40,7$ °C. Samaan aikaan ollut suurin lämpötilaero rakenteen keskiosan ja lähellä pintaa olevan mittauspisteen välillä oli 18 °C. Suurin lämpötilan nousu rakenteen keskellä kovettumisvaiheen aikana oli $26,5$ °C. Tämä tapahtui kuitenkin neljän vuorokauden aikana, joten vuorokaudessa lämpötila nousi keskimäärin noin 6 °C. Mittausjakson alussa oleva pintalämpötilan notkahdus johtuu siitä, että mittaus on kytketty päälle jo ennen kuin betonointi on ehtinyt rakenteen keskellä yläpintaan saakka, jolloin anturi seuraa ulkoilman lämpötilaa. Tässä kohteessa betonin valinta on siis onnistunut melko hyvin ja lämpötilankehitys suunnitelmien mukainen. Suuremmalla massuunikuonajauheen määrällä lämpötilan kehitys olisi luultavasti vieläkin alhaisempi, mutta lämpötilat pysyivät suositeltujen arvojen sisällä.

7 MASSIIVIBETONIRAKENTAMISESSA HUOMIOITAVIA SEIKKOJA

Kuten kaikessa rakentamisessa, myös massiivibetonirakentamisessa onnistunut lopputulos saa edellytykset toimivasta suunnittelusta. Ympäröivistä olosuhteista massiivinen betonirakenne ei ole kovin tarkka, mutta talven kylmimpiä kausia kannattaa välttää. Rakennesuunnittelu on perustusrakenteissa yksinkertaista ja muissa rakenteissa usein vaativaa. Työn suunnittelussa toistuu paikallavalubetonirakentamisesta tutuksi tullut työjärjestys. Työkohteen ja rakenteen muuttuessa työn suunnittelu on tehtävä kuitenkin jokaisessa tilanteessa yksilöllisesti. Suurimpia eroja tavalliseen betonointiin tulee betonointimäärässä ja -nopeudessa. Yli 500 m³ yhtäjaksoinen betonivalu on lähes aina massiivibetonirakenne. Se edellyttää suurta valunopeutta valusaumojen syntymisen ehkäisemiseksi. Esim. lattian betonointi voi olla pinta-alaltaan laajempi, mutta valunopeus pysyy pienenä, koska tiivistettäviä kerroksia on vain yksi. Sujuva betonointityö edellyttää, että valmisbetoniasema on mahdollisimman lähellä ja betoninkuljetusautot hyvin aikataulutettu.

Betonimassan valinta on tärkeää tehdä suunnitellusti. Tavallisissa betonirakenteissa käytetyt massanvalintaperiaatteet eivät sovellu massiivibetonirakentamiseen. Korkeita lujuusluokkia ja nopeita sideaineita tulee välttää liian nopean hydrataatiolämmönkehityksen ja suuren hydrataatiolämmön rajoittamiseksi. Tavallisissa betonirakenteissa lujuusluokkaa voidaan nostaa tai valita nopeampi sideaine, jos aikataulussa pysyminen tämän vaatii. Massiivibetonirakentamisessa tämä ei ole mahdollista.

Massiivibetonirakenteen lujuus kehittyy muita rakenteita hitaammin. Tämä tulee huomioida jälkihoitoajan pituudessa. Betoni saavuttaa nimellislujuutensa suunniteltuna ajankohtana vain, jos olosuhteet ovat olleet riittävät koko lujuudenkehityksen ajan. Lämpötilan seuranta on laadunvarmistamista. Lujuudenkehityksen aikana rakenteen reunaosien lämpötilaan voidaan vaikuttaa jonkin verran, kun lämpötilaa seurataan reaaliaikaisesti. Lämpötilan seurannassa kuitenkin lähinnä todetaan, että onko betonimassa valittu oikein, betonointityö onnistunut ja mahdollinen rakenteen keskiosien jäähdytys tai reunaosien eristys onnistunut suunnitellusti.

8 YHTEENVETO

Massiivisia betonirakenteita voidaan pitää yhtenä betonirakentamisen erikoisosaamisalueena. Tämä tarkoittaa sitä, että rakenteiden ja työn suunnitteluun täytyy panostaa enemmän kuin tavallisissa betonirakenteissa. Aikataulutuksessa tulee aina huomioida töiden vaativuus ja niiden mahdollisesti tarvitsema lisäaika verrattuna tavanomaiseen rakentamiseen. Massiivibetonirakentamisessa keskeisimpiä asioita ovat ympäristön olosuhteiden huomioiminen suunnittelussa, betonimassan valinta, hydrataatiolämmön hallinta ja tavallista pidempi betonin jälkihoitoaika sekä lämpötilan seuranta. Betonimassan valinta on tärkeä, koska sillä luodaan edellytykset toimivalle betonirakenteelle. Jos massa ei sovellu betonoitavaan rakenteeseen, ei betonointivaiheessa voida enää korjata tilannetta. Betonimassan valinnassa tulee luottaa valmisbetonin toimittajan ammattitaitoon. Kun betonimassa on rakenteeseen sopiva, on aina mahdollista tehdä toimiva betonirakenne. Silloin tarvitaan vain työn suunnittelua, ammattitaitoinen työryhmä, riittävät resurssit ja halu tehdä rakentamista laadukkaasti.

Opinnäytetyön tekeminen oli mielenkiintoinen projekti ja toimi opittuja asioita syventävänä opintona. Koska tietoa aiheesta oli niukasti saatavilla, valikoitui massiiviset betonirakenteet ajankohtaiseksi aiheeksi tehdä opinnäytetyö. Käytännön kokemus aiheesta piti mielenkiintoa yllä projektin aikana, kun pystyi vertaamaan käytännön kokemuksia teoriapainotteiseen tietoon. Tietoja piti etsiä monista eri lähteistä, koska monet lähteet olivat vanhentuneita ja varsinaista teosta en aiheesta löytänyt. Asioita pohtiessa oli palkitsevaa huomata oppivansa uusia asioita. Nykyaajan työmailla, kun aikataulut ovat kireitä, voi rakentamisen laatu kärsiä. Työtehtäviä joudutaan vähentämään, kun aika ei riitä kaiken tekemiseen. Betonirakentamisessa tämä voi tarkoittaa esimerkiksi puutteellista jälkihoitoa. Siksi onkin hyvä pysähtyä välillä kertaamaan teoriaa betonin käyttäytymisestä erilaisissa rakenteissa ja olosuhteissa.

Opinnäytetyö palvelee ennen kaikkea itseäni ammatillisessa kehittämisessä, mutta on tehty myös Kreate Oy:n työnjohtajien ja ylipäätään betonirakenteiden työnjohtajien tarpeisiin. Monilla työnjohtajilla voi olla vankka kokemus betonirakentamisesta mutta massiivisista betonirakenteista ei ole juurikaan kokemusta. Tästä

työstä saa perustiedot, kun toimii työnjohtajana massiivibetonirakentamisessa. Kreate Oy:n työnjohtajilta sain paljon apua työtä tehdessäni.

Opinnäytetyössä käsitellään pääasiassa massiivisia perustusrakenteita. Työn tietoja apuna käyttäen voisi tehdä monimuotoisempia rakenteita käsittelevän opinnäytetyön. Sellaisia ovat esimerkiksi erilaiset silta- ja patorakenteet. Nämä poikkeavat muottitekniikaltaan ja muilta huomioon otettavilta asioiltaan perustusrakenteista ja tällaiselle työlle olisi varmasti käyttöä.

LÄHTEET

1. Suomen Betoniyhdistys ry. Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. Seitsemäs painos. Vantaa: Multiprint Oy; 2012.
2. Elementtisuunnittelun historia. [WWW-dokumentti] <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen/elementtirakentamisen-historia>. (Luettu 4.1.2017.)
3. Rakennustuoteteollisuus RTT ry. Työmaan aloituskokouksen valmishetonin toimitussuunnitelma. [WWW-dokumentti] www.rudus.fi/Download/23937/Betonityomaaohje.pdf. (Luettu 5.1.2017.)
4. Ympäristöministeriö. Asetuksilla yhtenäisyyttä rakentamisen ohjaukseen, päivätty 12.3.2015. [WWW-dokumentti] [http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankoh-taista/Asetuksilla_yhtenaisyytta_rakentamisen_o\(32965\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankoh-taista/Asetuksilla_yhtenaisyytta_rakentamisen_o(32965))
5. Ympäristöministeriön ohje rakentamisen työnjohtotehtävien vaativuusluokista ja rakentamisen työnjohtajien kelpoisuudesta. YM4/601/2015, voimaantulo 1.6.2015. [WWW-dokumentti] http://www.ym.fi/fi-fi/maankaytto_ja_rakentaminen/lainsaadanto_ja_ohjeet/rakentamismaaraysko-koelma
6. FISE. Betonirakenteiden työnjohtaja. [WWW-dokumentti] <http://fise.fi/pate-vyyspalvelu/hae-patevyytta/tyonjohtajat/betonirakenteiden-rakentami-sesta-vastaava-tyonjohtaja/>. (Luettu 20.12.2016.)
7. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Betonityöohjeet RIL 149-1995. Vaasa: Ykkös-Offset Oy; 1995.
8. Ympäristöministeriön ohje rakennustyön suorituksesta ja valvonnasta. YM5/601/2015, voimaantulo 12.3.2015. [WWW-dokumentti] http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_oh-jeet/Rakentamismaarayskokoelma/Suunnittelu_ja_valvonta

9. Rakennustieto. RatuTT 05-00441 Nostotyösuunnitelma, julkaistu 1.6.2004.
[WWW-dokumentti] <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/tuotteet/102189.html.stx>
10. Aluehallintovirasto. Työsuojelun vastuualueiden rakennusalan koordinaatioryhmä. Rakennusalan hyvät valvontakäytännöt, julkaistu 9.9.2015.
[WWW-dokumentti] <https://www.tyosuojelu.fi/documents/14660/126482/Kuormausnosturin+k%C3%A4ytt%C3%B6+rakennusty%C3%B6maalla+asennusty%C3%B6ss%C3%A4/02b4ada2-081b-48db-9e34-42dfb6a3150b>
11. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Paalutusohje RIL 254-2011. Saarijärvi: Saarijärven Offset Oy; 2011.
12. Finnsementti. Suomalainen sementti –opas. [WWW-dokumentti] <http://www.finnsementti.fi/sementti>. (Luettu 24.3.2017.)