

Santeri Seppänen

**JÄLKIJÄNNITETTÄVÄN TERÄSBETONILAATAN  
TYÖMAATOTEUTUS JA LAADUNVARMISTUS**

# **JÄLKIJÄNNITETTÄVÄN TERÄSBETONILAATAN TYÖMAATOTEUTUS JA LAADUNVARMISTUS**

Santeri Seppänen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2019  
Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma, talonrakennustekniikan suuntautumisvaihtoehto

---

Tekijä: Santeri Seppänen

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Jälkijännitettävän teräsbetoni- ja laadunvarmistus

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Construction and quality assurance of post-tensioned concrete slab

Työn ohjaaja: Matti Toppi

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2019

Sivumäärä: 44 + 6 liitettä

---

Tämä opinnäytetyö kertoo kauppakeskus Ainoan kesällä 2018 valetusta teräsbetonisesta jälkijännitetyistä välipohjasta. Työ suoritettiin aliurakkana, jossa pääurakoitsijana oli SRV. Pääurakoitsijan työnjohtajana työhön kuului aliurakan ohjaus ja laadunvarmistus. Myös työturvallisuuteen kiinnitettiin erityistä huomiota työn tapahtuessa korkealla ja vaatiessa erilaisia työvaiheisiin kuuluvia työskentelytapoja.

Työn päätarkoituksena oli verrata laadunvarmistustoimenpiteitä vaadittuihin laadunvarmistustoimenpiteisiin. Yhteistyö aliurakoitsijan kanssa sujui hyvin ja turvallisesti. Laadunvarmistustoimenpiteitä tehtiin tarvittavissa määrin. Muutama tarvittava dokumentti meni kuitenkin pääurakoitsijan työnjohdon ohi suoraan tilaajalle.

Betonilaatta, josta tämä työ on tehty, valettiin kesällä, joten talvibetonoinnin tuomia haasteita ei ole otettu tässä työssä huomioon.

Työ oli sopivassa määrin haastava ja toi tekijälleen uutta tietoa jälkijännitettävistä rakenteista ja laadunvarmistuksesta.

---

Asiasanat: jännitetty rakenne, laadunvarmistus, betoni

## **ALKULAUSE**

Haluaisin kiittää Kauppakeskus Ainoan työmaapäällikköä Erkki Tuikkasta sekä työmaamestareita Juuso Kalliota ja Teemu Åbergia hyvästä opastuksesta ja avustuksesta työhön. Iso kiitos kuuluu myös Oulun ammattikorkeakoulun lehtori Matti Topille, joka toimi koulun puolesta työn ohjaajana.

Oulussa 2.4.2019

Santeri Seppänen

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 JÄLKIJÄNNITETTY RAKENNE	8
2.1 Jännepunosmenetelmän edut ja haasteet	8
2.2 Jännemenetelmät	9
2.2.1 Injektoitavat punokset	9
2.2.2 Rasvapunokset	10
2.3 Laakerointi	11
2.4 Vaaditut pätevyudet	11
2.5 Massiivinen betonirakenne	12
2.6 Toteutuksessa käytetty betoni	12
3 TERÄSBETONILAATAN TOTEUTUS	14
3.1 Aikataulut	14
3.2 Logistiikka	14
3.3 Työturvallisuus	14
3.3.1 Työturvallisuus muottitöissä	16
3.3.2 Työturvallisuus raudoitustöissä	16
3.3.3 Työturvallisuus betonoinnissa	17
3.3.4 Työturvallisuus jännitystöissä	18
3.4 Muottityö	18
3.4.1 Muotti ja tuentasuunnitelma	18
3.4.2 Muotin pystytys	18
3.4.3 Muotin tuenta	20
3.4.4 Muotin purku	20
3.5 Laakerointi, irrotukset, ankkurikappaleiden kiinnitys ja varausten asennus	21
3.6 Raudoitus	22
3.7 Punostyö	23
3.8 Tarkastukset ja katselmoinnit	24

3.9 Betonointi	24
3.9.1 Kalusto	25
3.9.2 Valu	25
3.9.3 Hierto	27
3.9.4 Jälkihoito	28
3.9.5 Lujuudenkehityksen seuranta	29
3.10 Jännitystyö	31
4 LAADUNVARMISTUS	33
4.1 Laatu	33
4.2 Betonirakenteiden laadunvalvonta	33
4.2.1 Vaativien rakenteiden laadunvarmistustoimenpiteet	34
4.2.2 Aloituspalaveri	36
4.2.3 Mallityö	37
4.2.4 Vastaanottotarkistukset	37
4.2.5 Työn suorituksen laadunvalvonta	38
4.2.6 Toimenpiteet laadun jäädessä epätydyttäväksi	39
5 LOPPUSANAT	40
LÄHTEET	42
LIITTEET	44

# 1 JOHDANTO

Tämä työ on tehty SRV:n Kaupunkikeskus Tapiolan työmaalta. Työn rakennuttajana oli Lähitapiola. Kauppakeskuksen ensimmäinen vaihe valmistui 2013, toinen vaihe 2017 ja kolmas vaihe, josta tämä opinnäytetyö on tehty, valmistuu loka-kuussa 2019. Itse kauppakeskus toteutettiin pilari-palkkijärjestelmänä ja tämä työ kohdistuu kauppakeskuksen toisen kerroksen välipohjalaatan toteutukseen, joka tehtiin kesällä 2018.

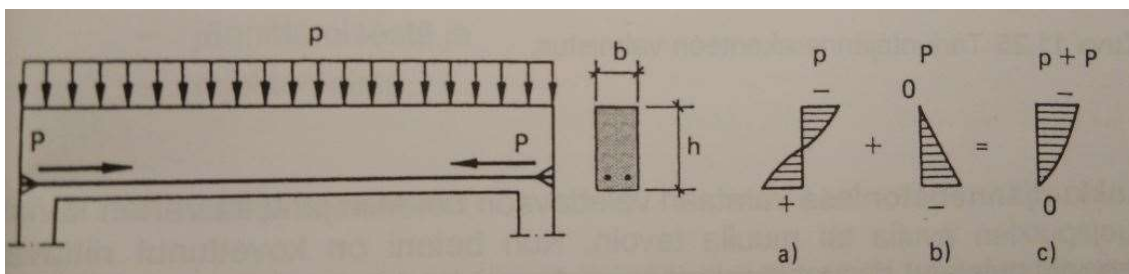
Työn tarkoituksena oli käydä läpi jälkijännitettävän laatan työmaatoteutus ja ver-rata toteutuksessa tehtyjä laadunvarmistusmenetelmiä vaadittuihin menetelmiin. Myös työturvallisuusasiat on otettu huomioon omassa luvussaan. Työ tehtiin ke-sällä, joten siinä ei oteta huomioon talvibetonointiin liittyviä erityisvaatimuksia ja käytäntöjä.

Työssä käydään läpi jälkijännitettävien elementtien teoriaa, laatan käytännön to-teutus ja työssä tehtyjä laadunvarmistustoimenpiteitä sekä dokumentointia. Työn tekijälle työmaa oli ensimmäinen, jossa rakennettiin jälkijännitettäviä rakenteita, eikä aikaisempaa kokemusta ollut ollenkaan. Työ syvensi omaa tietämystäni vas-taavista rakenteista teoriassa ja käytännössä sekä toimii varmasti apuna tule-vissa kohteissa. Työssä viitatuista liitteistä julkisessa opinnäytetyössä on mukana vain liite 1.

## 2 JÄLKIJÄNNITETTY RAKENNE

”Jännitetty betonirakenne on betonirakenne, johon on ennen rakenteen käyttöön-ottoa jännitetyllä raudoituksella pantu vaikuttamaan puristavia voimia edullisen jännitys- ja muodonmuutostilan aikaansaamiseksi (1, s. 548).” (Kuva 1).

Jännittämisen tarkoituksena on poistaa betonin vetolujuuden aiheuttamat rajoitukset ja käyttää hyväksi sen erinomainen puristuslujuus. Rakenteisiin vedetään niin suuri alkujännitys, että rakenteessa esiintyy kuormitettuna pelkästään puristusjännityksiä, tai ennakoita suunniteltuja vetojännityksiä. (1, s. 549.)



KUVA 1. Jännitetyn betonirakenteen toimintaperiaate (1, s. 549)

### 2.1 Jännepunosmenetelmän edut ja haasteet

Jälkijännitettävät rakenteet tarjoavat monia etuja, mm. joustavampia suunnitteluratkaisuja, nopeampaa muottikiertoa, pienempiä materiaalikustannuksia sekä pienempiä ympäristöhaittoja (2, s. 3).

Normaaliin teräsbetonirakenteeseen verrattuna voidaan betonimenekkiä pienentää 15–30 % ja teräsmenekkiä pienentää 60–80 %. Lisäksi halkeilemattomaksi jännitetty rakenne saa hyvän korroosiosuojan sekä rakenteiden muodonmuutokset jäävät pienemmiksi kuin jännittämättömissä rakenteissa. (1, s. 557.)

Työssä havaitut haasteet liittyivät jälkiporattaviin läpivienteihin. Mikäli laattaa joudutaan poraamaan läpivientireikiä, tulee olla tarkka. Rakennekuvissa esitetään punosten määrät ja teoreettinen sijainti. Toteutus ei kuitenkaan ole täysin sama, jonka takia punostyön valmistuttua mittamies otti punoksista tarkkeet takymetrillä ja merkitsi ne piirustukseen. Ennen reikien porausta tulee punostarkkeista varmistaa, ettei punoksia porata poikki.

Punosten takia myös laattaan tuleville jälkikiinnityksille ja porauksille rakenne-suunnittelija oli määrännyt maksimiporaussyvyudeksi alapintaan 40 mm ja yläpintaan 30 mm.

## **2.2 Jännemenetelmät**

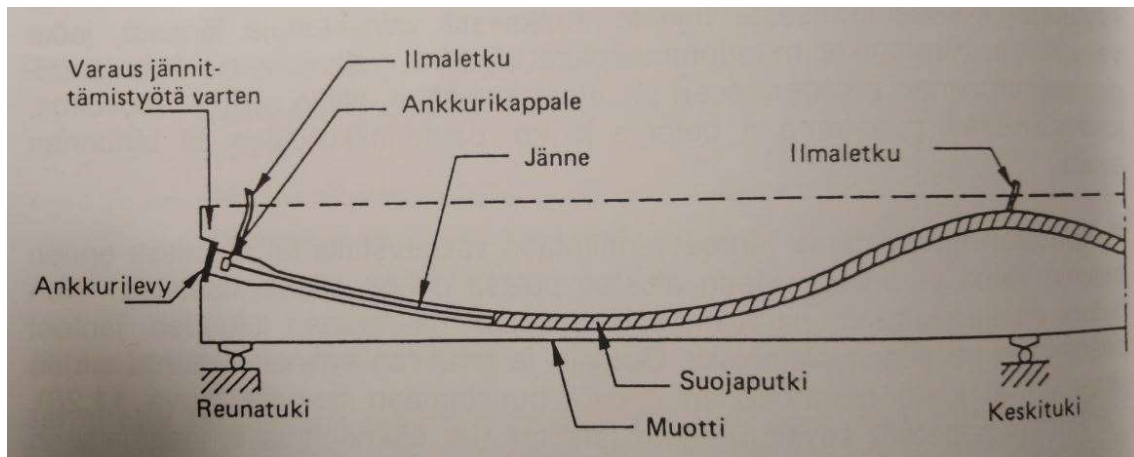
Laatan palkeissa käytettiin Nedri Spanstaal BV:n valmistamia tartunnattomia rasvapunoksia ja saman valmistajan injektoitavia kuivapunoksia.

Betonin jännityksessä voidaan käyttää periaatteessa kolmea eri menetelmää. Käytettävät jänteet on valmistettu korkealaatuisesta teräksestä, jotka venytetään. Kun jänteiden palautuminen alkuperäiseen muotoon estetään, syntyy vetovoima, joka välitetään betoniin pääteankkureiden tai tartunnan avulla. (1, s. 549.)

Seuraavissa luvuissa kuvattujen punosmenetelmien lisäksi voidaan käyttää myös tartuntajänteitä. Tartuntajänteet jännitetään ennen betonin valua ja betonin koveuttua jänteet päästetään irti kiinnityslaitteista. Betonin ja teräksen välinen tartunta siirtää jännevoimat puristamaan betonia. Tartuntajänteistä 80–90 % käytetään elementtitehtaissa. (1, s. 549.)

### **2.2.1 Injektoitavat punokset**

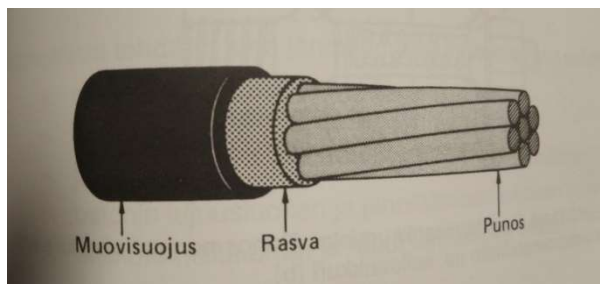
Ankurijännebetonissa raudoituksen väliin asennetaan suojaputket, joihin jänteet vedetään. Betonin saavuttaessa riittävän lujuuden punokset jännitetään, ankkuroidaan ja suojataan injektoimalla. Jännevoima siirtyy betoniin pääteankkureiden välityksellä. (Kuva 2.) (1, s. 550.)



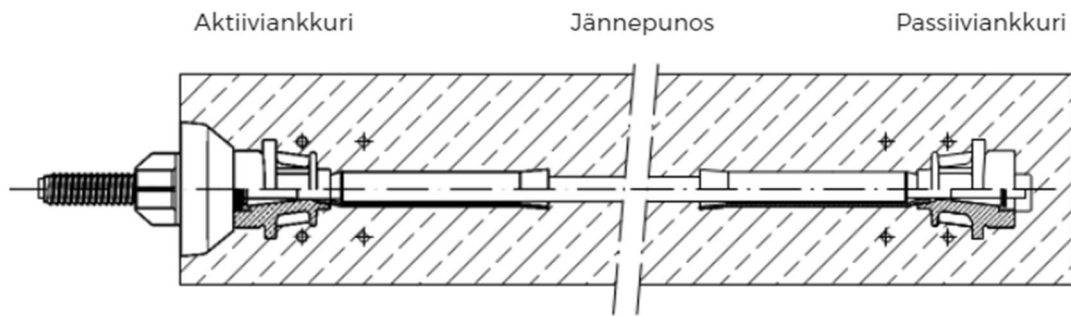
KUVA 2. Injektoitavan punoksen toimintaperiaate (1, s. 550)

### 2.2.2 Rasvapunokset

Ankkurijännebetonin sovellus on tartunnaton jänne, ns. rasvajänne. Jänneet on ympäröity säilyvällä rasvakerroksella ja suojattu muoviputkella. (1, s. 551.) Suojakuori ja rasva irrottaa punoksen betonista ja mahdollistaa punoksen jännittämisen betonin kovettumisen jälkeen (kuva 3). Jännepunokset ankkuroidaan betoniin passiivi- ja aktiiviankkurilla. Passiiviankkuri jätetään betonin sisään ja punokset jännitetään ja kiilataan paikalleen aktiiviankkurin päädystä. Jännityksen jälkeen punoksen jännevoima siirtyy rakenteeseen pääteankkureiden välityksellä. (Kuva 4.) (3, s. 6.)



KUVA 3. Rasvapunos (1, s. 553)



KUVA 4. Tartunnattoman jännepunoksen toimintaperiaate (3, s. 6)

### 2.3 Laakerointi

Jälkijännitettävä laatta irrotetaan pystyrakenteista rakennuskäyttöön soveltuvilla laakereilla. Laakeroinnin peruste on betonissa tapahtuva sivuttaisliike, joka johdetaan jännityksestä ja betonin kutistumisesta. (4, s. 3.)

### 2.4 Vaaditut pätevydet

Jännitettävät rakenteet kuuluvat poikkeuksetta erityisen vaativaan rakenneluokkaan (1, s. 556). Pätevyysluokkia on uudistettu vuoden 2015 aikana. Nykyisin vanha 1-luokan betonityönjohtajan pätevyys vastaa poikkeuksellisen vaativa-vaativuusluokan betonirakenteiden työnjohtajan pätevyyttä. (5.)

Suomessa pätevyksiä myöntää FISE eli suomalainen henkilöpätevyyspalvelu, joka toteaa rakennus-, LVI- ja kiinteistöalan henkilöpätevyksiä (6). Poikkeuksellisen vaativa-luokan pätevyteen vaaditaan FISEn mukaan kyseiseen työnjohtotehtävään soveltuva, rakentamisen tai tekniikan alalla suoritettu korkeakoulututkinto tai vastaava aiempi tutkinto, joka on vähintään insinöörin tutkinnon tasoinen. Vaatimuksissa on myös lueteltu opintosuoritukset ja opintopisteiden määrät. Myös työkokemus vaikuttaa myönnettävään pätevyteen: Riittävä kokemus ja hyvä perehtyneisyys kyseisen alan vaativista työnjohtotehtävistä. Vähintään viiden vuoden kokemus vaativista betonirakenteiden työjohtotehtävistä sisältäen kohteita, jotka ovat lähellä poikkeuksellisen vaativan luokan tasoa. (7.)

## 2.5 Massiivinen betonirakenne

Kun sementti ja vesi reagoivat, vapautuu suurehko lämpömäärä, joka nostaa betonirakenteen lämpötilaa. Massiivisissa rakenteissa lämpö poistuu nopeammin rakenteen pinnalta kuin sisäosista aiheuttaen lämpötilaeron. Lämmön vaikutuksesta rakenteen pintaosiin syntyy vetojännityksiä, jotka voivat aikaansaada betonin halkeilua. Siksi massiivisissa rakenteissa tulisi käyttää mahdollisimman pientä sideainemäärää ja kuonajauhetta sideaineen osana. Rakenteen paksuuden kasvaessa nousee keskiosan maksimilämpötila ja samalla lämpötilaero keskiosan ja pinnan välillä. (1, s. 545.)

Betonin lujuus kasvaa sementin reagoiessa veden kanssa, jolloin samalla vapautuu lämpöä. Lujuus kasvaa, ja lämpömäärä nousee, sitä nopeammin mitä nopeammin reaktio etenee. Lämmöntuotto ja lujuudenkehitys ovat siten tiukasti riippuvaisia toisistaan. Suomalaisia sementtिलाatuja käytettäessä ei juurikaan ole eroa maksimilämpötilan kannalta, mitä sementtiä käytetään. Kuonajauheella sen sijaan on sementtiä pienempi reaktiolämpö ja sitä betonimassaan lisäämällä voidaan maksimilämpötilaa ja lämpötilaeroja pienentää. (1, s. 546.)

Voimakkaimmin betonin lämmöntuottoon vaikuttaa sideainemäärä. Lämpötilojen hallitsemiseksi massiivisissa rakenteissa kannattaa aina pyrkiä mahdollisimman pieneen sideainemäärään. Sideainemäärään voidaan vaikuttaa valitsemalla mahdollisimman karkea runkoaine ja jäykkä betonin koostumus käyttämällä notkistimia. (1, s. 547.)

## 2.6 Toteutuksessa käytetty betoni

Toteutuksessa käytettiin lujuusluokaltaan C50/60-betonia. Käyttöiäksi oli määritetty 100 vuotta. Rasitusluokka oli XC1, suurin runkoaines #32mm, notkeusluokka s3 ja sementtinä käytettiin megasementtiä. Lisäaineina olivat lentotuhka ja silika.

Reagoiessaan veden kanssa sementti muodostaa kovan ja kestäväen lopputuotteen. Sementin valinnalla voidaan vaikuttaa betonin ominaisuuksiin, kuten työstettävyyteen, lujuuteen, lämmönkehitykseen, kemialliseen kestävyteen ja säilyvyyteen. (1, s. 39.)

Megasementti kuuluu standardin SFS-EN 197-1 mukaan CEM I-päälajiin (8). Se sisältää portlandklinkkeriä ja enintään 5 % sivuosa-aineita laskettuna klinkkerin ja sivuosa-aineiden yhteisestä määrästä (1, s. 42). Klinkkeri on sementin valmistuksessa tarvittava osa-aine, jonka koostumuksella ja jauhatushienoudella voidaan säädellä sementin ominaisuuksia (9).

Lentotuhka on hienoksi jauhetun kivihiilen poltossa voimalaitoksessa syntyvää pozzolaania, joka erotetaan savukaasuista (1, s. 59). Pozzolaani on ainetta, joka reagoi veden ja kalsiumhydroksidin kanssa muodostaen sementtikiven kaltaisia yhdisteitä (10). Lentotuhka heikentää betonin varhaislujuutta mutta parantaa myöhäislujuutta. Betonin hydratoitumislämpö pienenee, kun betonissa käytetään lentotuhkaa korvaamassa sementtiä. Alhainen lämpötila hidastaa lentotuhkan reaktiota betonissa huomattavasti, joten talvibetonoinnissa sen käyttö ei ole suositeltavaa, koska sitoutuminen ja lujittuminen hidastuu olennaisesti. (1, s. 59.)

Silika on piiraudan ja alkuaine piin valmistuksessa syntyvä savukaasuista erotettava, erittäin hienojakoinen pozzolaani. Silikaa käytettäessä betonin vedentarve kasvaa, joten sen kanssa tulee aina käyttää vedentarvetta vähentäviä lisäaineita. Silika lisää huomattavasti betonin lujuutta. Silika parantaa betonin kemiallista kestävyyttä, koossapysyvyyttä, tiivyyttä ja vedenpitävyyttä. (1, s. 60.)

Rakenteen rasitusluokka oli XC1. Rasitusluokka määräytyy rakenteen sijainnin ja käyttötarkoituksen mukaan. Valettu rakenne tuli kuivaan sisätilaan, joten siinä otettiin huomioon vain karbonatisoitumisen vaikutuksesta aiheutuva korrosio. Kyseistä rasitusluokkaa voitaisiin käyttää myös rakenteessa, joka on pysyvästi märkä. (11, s. 88.)

## **3 TERÄSBETONILAATAN TOTEUTUS**

### **3.1 Aikataulutus**

Valualueen pinta-ala oli yhteensä 2300 neliötä, josta 1700 m<sup>2</sup> oli laattaa ja 600 m<sup>2</sup> palkkia. Valualueelle tuli raudoitusta 90 tonnia, injektoitavia punoksia 311 m ja rasvapunoksia 4862 m. Valukuutioita alueelle laskettiin n. 780 m<sup>3</sup>. Näillä tiedoilla voitiin RATU-kortiston avulla laatia aikataulu (liite 1).

### **3.2 Logistiikka**

Työmaan alkuvaiheessa oli laadittu aluesuunnitelma, johon oli määritelty varastointialueet. Tavaratoimitukset tyhjennettiin näille alueille tai suoraan valmistuneille holveille tarpeen mukaan. Työvaiheessa tarvittavien materiaalien siirrot tapahtuivat pääosin torninostureilla. Muotteihin tarvittavat materiaalit siirrettiin paikalle aikaisemmasta valusta pumppukärryillä ja nostamalla alemman kerroksen haalausaukosta. Kun muottityöt etenivät, nostettiin teräksiä muotin päälle. Aluesuunnitelma oli myös tuotu tiedoksi tavarantoimittajille ja muulle työmaaliikenteelle. Valun aikana työmaalla oli liikenteen ohjaaja, joka varmisti, että jokaiselle pumpulle oli jatkuvasti betonia saatavilla eikä jonoja päässyt syntymään.

### **3.3 Työturvallisuus**

Tässä luvussa on käyty läpi yleisiä työturvallisuusriskejä ja -ohjeita rakennustöissä. Sen lisäksi luvussa on kerrottu jokaiselle työvaiheelle ominaisista työturvallisuusriskeistä.

Kaikissa rakennustöissä käytetään henkilökohtaisia suojaimia: kypärää, turvajalkineita, näkyvää suojavaatetusta ja suojakäsineitä sekä silmien- ja kuulonsuojaimia. Pölyävissä töissä tulee käyttää hengityssuojainta. (12.)

Nostoissa käytettävien nostureiden tulee olla tarkoitukseen soveltuvia. Turvakytkimet, jarrut, varolaitteet ja nostoapulaitteet on tarkastettava aina ennen asennustyötä ja vähintään kerran viikossa. Nostureille tulee tehdä myös käyttöönotto-tarkistus. Nostolaitteissa ja apuvälineissä tulee olla merkintä suurimmasta sallitusta kuormasta. (12.)

Nostotyösuunnitelma on laadittava aina, kun nostossa käytetään useampaa kuin yhtä nosturia. Nostojen aikana tulee valvoa, että nostoapuvälineet, kuten liinat, ovat ehjiä. Nostettavien taakkojen alla liikkuminen on estettävä. Nosturinkuljettajalla tulee olla näkö- tai radioyhteys alamieheen. (12.)

Työolosuhteet järjestetään niin, että työ voidaan tehdä oikeassa asennossa, selkä suorana ja kädet hartiatason alapuolella. Huono työergonomia aiheuttaa työntekijän nivelten yllirasittumista. Työasennot tulee pyrkiä pitämään mahdollisimman vähän selkää, polvia ja ranteita rasittavana. (12.)

Työtasojen tulee olla oikean korkuisia ja tukevia. Nostoissa ja siirroissa käytetään apuna nostolaitteita, -koukkuja ja -hinhoja sekä muita nostoapuvälineitä. (12.)

Jokaisen työntekijän tulee olla perehdytetty työmaalle. Työmaalla tulee olla vähintään yksi ensiavun antamiseen perehdytetty henkilö. (12.)

Asennuspaikan ja työmaan yleisestä siisteydestä tuulee huolehtia, että lojuvat työkalut tai rakennusmateriaalit ja roskat eivät aiheuta loukkaantumisvaaraa. Työmaatarkastuksia tulee myös suorittaa työturvallisuusriskien osalta. (12.)

Työkoneiden käytöstä aiheutuvia vaaroja ovat sormien leikkaantuminen, nirhaumat ja haavat. Työkoneita käytettäessä tulee käyttää turvallisia työmenetelmiä. (12.)

Työtelineillä, nostokoneissa tai muuten korkealla työskennellessä työturvallisuusriskinä on putoamisvaara ja putoavien esineiden alle jääminen. Putoamisvaaran takia tulee huolehtia kaiteiden, kulkuteiden ja tasojen oikeanlaisesta kiinnittämisestä. Telineillä ei saa säilyttää ylimääräistä materiaalia. (12.)

Nostoja tehdessä työturvallisuusriskejä ovat taakan alle jäänti, tuulinen sää, sormien tai raajojen loukkaantuminen, ruhjevammat, kaatuminen ja putoaminen (12).

### 3.3.1 Työturvallisuus muottitöissä

Muottien riittävä tuenta tulee varmistaa, etteivät muotit pääse kaatumaan tai puutoamaan. Muottien purkamisessa työturvallisuusriskejä ovat rakenteen sortuminen, muottien osien alle jääminen ja ruhjevammat. Riskejä voidaan minimoida tekemällä purkusuunnitelma ja noudattamalla sitä. (12.)

Työturvallisuusriskeihin varauduttiin koko muottityön ajan. Tukitornit pystytettiin pystyasennossa lisäämällä aina uusi elementti edellisen päälle. Tukitornien kohotessa työntekijät käyttivät valjaita. Pilaritartuntoihin kiinnitettiin pilarien välille vaijeri, johon valjaat saatiin turvallisesti kiinnitettyä. Muotin valmistuttua jokaiselle reunalle rakennettiin kaiteet.

Muotin purussa oltiin erityisen tarkkoja, ettei loukkaantumisriskiä synny. Purettava alue oli rajattu lippusiimalla, jotta kukaan ei päässyt kulkemaan purettavalla alueella.

### 3.3.2 Työturvallisuus raudoitustöissä

Raudoitustyössä suurimpia terveyshaittoja ovat epämukavat työasennot ja rasakat nostot. Lisäksi vaaroja aiheuttavat betonista esiin pistävät pystytartunnat ja muottien ylikuormitus rautoja säilyttäessä. (1, s. 285.) Lisäksi raudoitteita käsitellessä voi syntyä viilto- ja pistohaavoja (13).

Raudoituksessa joudutaan usein tekemään tulitöitä joko raudoitteiden katkaisussa tai hitsauksessa. Tulitöihin tilapäisellä tulityöpaikalla vaaditaan aina tulityölupa. Tulitöissä tulee myös käyttää palamatonta suojavaatetusta. Hitsaustöissä silmät tulee suojata valokaarelta hitsausnaamarilla. (13.)

Tulitöiden tekijältä vaaditaan tulityökortti. Tulityöluvassa määritellään turvallisuustoimenpiteet, joita pitää noudattaa tulitöiden ajan. Tulitöiden aikana ja tunti niiden päättymisen jälkeen tulee valvoa, etteivät syntyvät kipinät aiheuta tulipaloja. Tulityöluvassa on määritelty vastuussa oleva valvoja. Tulityöpaikalla on oltava myös alkusammutuskalusto. (13.)

Työn aikana työntekijät käyttivät henkilökohtaisia suojaimeja. Nostettaessa raudoitteita valmiiden muottien päälle niiden paino otettiin huomioon ja se levitettiin

mahdollisimman laajalle alueelle. Ylöspäin osoittavat rautojen päät suojattiin tulipilla ja tulitöitä ei tehty ilman tulityölupia.

### **3.3.3 Työturvallisuus betonoinnissa**

Päätyessään iholle betoni voi aiheuttaa ärsytystä, haavaumia tai haavoja. Jos iho on ärtynyt tai siinä on haavoja, tulee ihoa huuhdella kylmällä tai haalealla vedellä. Betoniroiskeiden joutuessa silmään tulee silmää huuhdella vedellä vähintään 15 minuuttia. Mikäli betoniroiskeita joutuu suuhun tai nieluun, tulee sitä laimentaa vettä juomalla. Mikäli ensiautoimenpiteet eivät auta, on hakeuduttava lääkäriin. (14.)

Betonipumpun pystyttämisen onnistuminen voi vaikuttaa ratkaisevasti siihen, satuuko päivän aikana onnettomuus vai onko päivä ongelmaton. Turvalliseen pumpun pystyttämiseen tulee käyttää juuri niin paljon aikaa, kuin se vaatii. Ennen pumpun pystytystä tulee työnjohdon kanssa sopia pystytyspaikasta, auton puhdistuksesta ja ylijäämäbetonin käsittelystä. Pumpun pystytyksestä tehdään pöytäkirja. (14.)

Työmaan suunnittelussa tulee huomioida betonin pumppauspaikat ja merkitä ne työmaan aluepiirrokseen. Ajoteiden ja pumppauspaikkojen tulee olla kantavuudeltaan ja leveydeltään käytettävän kaluston vaatimusten mukaisia. Betonipumpussa tulee olla suomenkieliset käyttöohjeet ja kuljettajan tulee käyttää betonipumppua käyttöohjeiden mukaisella tavalla. Letkun tyhjennyksessä pallon ja paineilman kanssa on noudatettava erityistä varovaisuutta. Varmistetaan, että betonivalua tekevät työntekijät tuntevat nämä vaaratekijät. (15.)

Raudoitteet aiheuttavat työturvallisuusriskejä valuvaiheessa. Raudoitteiden päät tulee suojata tulpilla. Tuulen nopeutta tulee tarkkailla, eikä nostoja saa tehdä liian kovalla tai puuskittaisella tuulella. (15.)

Ennen betonointia varmistettiin, että muotit on tuettu oikeaoppisesti, ja työn aikana seurattiin, ettei tuennat heikkenet. Työn aikana betoniroiskeilta suojauduttiin käyttämällä henkilökohtaisia suojarusteita, kypärää ja suojalaseja. Alueilla, joissa ei ollut yläpinnan raudoitteita, lisättiin yläpintaan raudoitusverkkoa, että

työntekijät pystyivät liikkumaan turvallisesti valettavalla alueella. Kova tuuli aiheutti haasteita jakelijaa nostettaessa, mutta se saatiin turvallisesti pois ja valu eteni toivotulla tavalla.

### **3.3.4 Työturvallisuus jännitystöissä**

Jännitystyötä varten laatan ulkoreunalle rakennettiin tasot kaiteineen aktiiviankkureiden kohdille, joilta jännitys päästiin turvallisesti tekemään. Jännityksen aikana työntekijät olivat tunkin sivussa eivätkä kohtisuoraan jänteen päädystä.

## **3.4 Muottityö**

Holvimuottijärjestelmänä käytettiin ULMA:n T-60-tukitorneja sekä Enkoflex-puupalkkijärjestelmää, johon kuuluivat 21 mm paksut muottivanerit.

### **3.4.1 Muotti ja tuentasuunnitelma**

Muottitöissä käytettiin muottitoimittajan laatimaa muottisuunnitelmaa ja rakennesuunnittelijan laatimaa tuentasuunnitelmaa. Ennen betonoinnin aloitusta paikallavalu-urakoitsija tarkisti muotin ja tuennan sekä laati niistä pöytäkirjat pääurakoitsijalle.

### **3.4.2 Muotin pystytys**

Muottityö alkoi palkkien muotituksella. Alempaan holviin merkattiin tukitornien paikat muottitoimittajan ohjeen mukaisesti. Tukitornit asennettiin oikeaan korkoon korkomerkkiä ja tasolaseria apuna käyttäen. Oikean korkuisen tukitornin päälle asennettiin ensin primääripalkit ja sen jälkeen sekundaaripalkit. Palkin pohjalle asennettiin 21 mm paksu muottivaneri. Vanerien asennuksen jälkeen tarkistettiin vielä, että palkin alapinta tulee varmasti oikeaan korkoon. Palkkien reunamuotit tuettiin reunatuilla sekundaaripalkkeihin. (Kuva 5.)



*KUVA 5. Palkkimuotit*

Kun ensimmäisen moduulivälin neljä palkkia ja itä-länsisuunnan palkki oli muotittettu, siirtyi toinen työryhmä asentamaan muottia laattaosuudelle palkkien väleille (kuva 6). Tukitornit asennettiin muottisuunnitelman mukaisille paikoille ja puupalakit sekä levyt asennettiin tukitornien päälle. Vaakamuotin tultua valmiiksi jatkettiin muottityötä reunatoppareiden eli esteiden teolla. Toppareihin sahattiin reiät punosankkureita varten. Ennen raudoituksen asennusta muotti puhdistettiin.



*KUVA 6. Laatan muottipalkit asennettuna*

### **3.4.3 Muotin tuenta**

Valettava laatta oli toisen kerroksen välipohja. Valettava alue tuettiin alapuolisin osin rakennesuunnittelijan laatiman tuentasuunnitelman mukaan. Käytännössä muottitasoa alempi välipohja tuettiin kokonaan palkkien ja laatan alueelta voimien jakautumiseksi.

### **3.4.4 Muotin purku**

Muotin purku voitiin aloittaa heti valua seuraavana päivänä reunatoppareista. Vaakamuotin purku voitiin aloittaa vasta, kun betoni oli saavuttanut jännityslujuuden ja punokset oli hyväksytysti jännitetty.

Purku aloitettiin löysämällä tukihaarukat, jolloin palkit irtosivat muottilevystä. Tämän jälkeen palkit käännettiin kyljelleen ja laskettiin alas. Muottipalkkien purkamisen jälkeen levyt irrotettiin purkuraudalla katosta ja laskettiin alas.

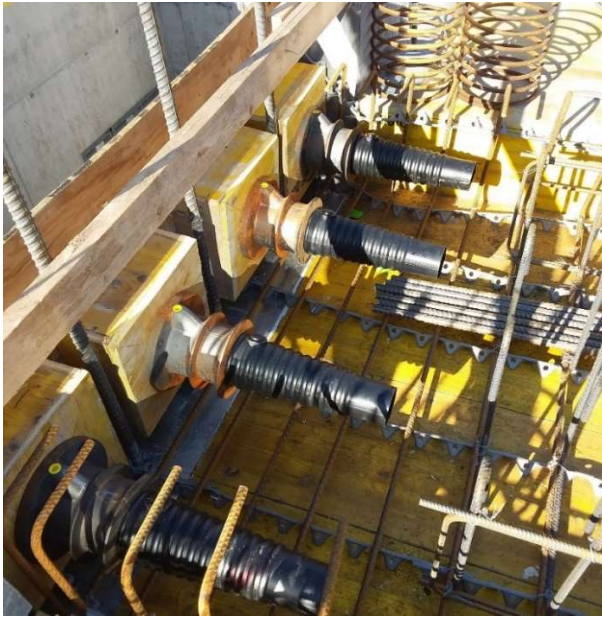
### 3.5 Laakerointi, irrotukset, ankkurikappaleiden kiinnitys ja varausten asennus

Kun muottipinta oli valmis, ensimmäinen työvaihe sen jälkeen oli laakereiden asennus pilari- ja konsolipinnoille. Suunnitelmien mukaan pilarien laakerointina toimi pelti-teflon-peltirakenne. Konsolit irrotettiin laatasta elastomeerisilla rakennuslaakereilla. Tartuntojen irrotusputket asennettiin laakereiden jälkeen. Osa laatan läpi tulevista pilarien ja seinien tartuntarautoitteista jätettiin irti laatan valusta sileäpintaisella metalliputkella, josta tuotiin injektointiletkut laatan pinnalle (kuva 7). Tartuntojen injektointi voitiin aloittaa suunnittelijan määrittämän irrotusajan mukaan, joka oli 1–10 viikkoa laatan valusta. Irrotuksiin käytetään C35/45-lujuusluokan mikrosementtiä. Irrotukset estävät betonin halkeamisen jännityksistä ja kutistumisesta aiheutuvien muodonmuutosten takia.



*KUVA 7. Pilaritartuntojen irrotus*

Mittamies merkitsi valmiiseen muottipintaan myös varauksien ja kaivojen paikat ja nämä asennettiin ennen raudoitusta. Reunatoppareiden reikiin asennettiin myös aktiiviankkurit (kuva 8).



*KUVA 8. Kuivapunosten aktiiviankkurit*

### **3.6 Raudoitus**

Laatan raudoituksessa käytettiin valmiiksi taivutettuja teräksiä, luokaltaan A500HW, jotka runkourakoitsija oli tilannut työmaalle.

Raudoitettava alue kattoi 2300 m<sup>2</sup>, joten muottityö, raudoitus ja punostyöt etenivät yhtä aikaa. Raudoitus aloitettiin, kun valmista muottia oli tehty kolmasosa.

Raudoitus aloitettiin palkkien hakasista, jonka jälkeen asennettiin palkkien alapinnan teräkset. Alapinnan teräkset irrotettiin palkin pohjasta ja reunoista muovisilla väliskeillä, joiden korkeudeksi oli suunnitelmissa määritetty 40 mm. Tämän jälkeen asennettiin ne palkkien yläpinnan teräkset, jotka eivät haitanneet punostyötä. Tässä välissä punos asentajat aloittivat palkkien punostyön. Ennen kuin punokset liitettiin ankkureihin, raudoittaja asensi ankkuripäihin halkaisuhakaset lisäämään betonin kykyä ottaa vastaan ankkureilta tulevia jännitysvoimia. Punosten asennuksen jälkeen raudoitettiin palkkien yläpinnat loppuun. Holvi oli suunniteltu arinapalkkilaataston, eli jännitettyinä rakenneosina toimivat kahteen suuntaan rakennetut palkit. Näin ollen laattojen alueille ei tullut erikseen punoksia. Tämä helpotti raudoitus- ja punostöiden yhteensovitusta. Palkkien tultua valmiiksi raudoitettiin laatan alapinta sekä asennettiin reunahaat. Reunahakojen asentamisen jälkeen raudoitettiin laatan yläpinta.

### 3.7 Punostyö

Jännepunosjärjestelmänä käytettiin KB-VT-järjestelmää, joka koostuu Nedri Spanstaal BV:n jännepunoksista ja BBR VT CONA CMM -ankkurijärjestelmästä.

Laatassa käytettiin sekä rasvapunoksia että injektoitavia punoksia. Rasvapunoksina käytettiin poikkileikkauspinta-alaltaan 165 mm<sup>2</sup> olevia punoksia ja ankkureina BBR VT CONA CMM:iä. Yhteen ankkuriin liitettiin neljä punosta. (Kuva 9.)



*KUVA 9. Rasvapunosten aktiivipäät ja halkaisuraudoitus*

Injektoitavina punoksina käytettiin poikkileikkauspinta-alaltaan 150 mm<sup>2</sup> olevia punoksia ja aktiiviankkureina BBR VT CONA CMI:tä, joihin liitettiin 19 punosta.

Kun palkkien tarpeelliset raudoitukset oli asennettu, alkoi punosurakoitsija asentamaan jännepunoksia. Asennus aloitettiin palkeista itä-länsisuunnassa. Raudoitukseen oli lisätty pukit jänteille, jotta ne saatiin piirustusten mukaiseen korkoasemaan. Pukit olivat käytännössä vaakaan sidottuja teräksiä, joiden päälle punokset sidottiin. Tartunnattomilla punoksilla punosrulla asennettiin telineeseen, josta

se vedettiin palkkeihin käsin. Tartunnalliset punokset asennettiin suojaputken sisään syöttölaitteella (kuva 10).



*KUVA 10. Kuivapunokset asennettuina*

### **3.8 Tarkastukset ja katselmoinnit**

Raudoituksen tultua valmiiksi työmaalle kutsuttiin rakennesuunnittelijan edustaja raudoitustarkastusta varten. Laatan raudoitus katselmoitiin ja virheet määrättiin korjattaviksi. Tarkastuksesta laadittiin myös pöytäkirja (liite 2). Valettavassa laattassa virheitä ei ollut huomattavasti, ja pienet korjaukset ehdittiin tehdä ennen seuraavan aamun valua. Ennen betonoinnin aloitusta pääurakoitsijan edustaja kävi kuvaamassa korjatut kohteet ja valu voitiin aloittaa.

### **3.9 Betonointi**

Runkourakoitsija laati projektin alussa betonointisuunnitelman sekä erillisen suunnitelman jokaista valualuetta varten.

### **3.9.1 Kalusto**

Työmaan vieressä oleva asutus asetti vaatimuksia työn kestolle. Normaali työaika meluavien töiden tekemiseen oli arkipäivisin 7.00–22.00. Espoon kaupungin ympäristölautakunnalta haettiin melulupa, jolloin työaikaa voitiin pidentää klo 24:ään asti. Valusta tiedotettiin lähialueen asukkaita kolme päivää ennen työn aloitusta. Valu mitoitettiin kolmelle pumpulle, jolloin betonoinnin kestoksi laskettiin 13 tuntia ilman viivästyksiä. Hierto päälle laskettuna työt olisivat saattaneet kestää yli klo 22:een. Meluluvalla varmistettiin, että töiden pitkittyessä ei niitä tarvitsi keskeyttää.

Noin viikkoa ennen valua päätettiin ja varattiin tarvittava kalusto ja niille tarvittavat tilat sovittiin raivattavaksi. Laatan valu päätettiin toteuttaa kolmella pumpulla, joista kaksi otettiin pihalle kauppakeskuksen ulkoseinän viereen ja yksi kauppakeskuksen alla olevalle tieosuudelle. Ulkona olevien pumppujen puomit olivat pituudeltaan 60 ja 52 metriä. Kauppakeskuksen alla oleva pumppu pumppasi kolmanteen kerrokseen nostettuun jakelupuomiin, joka liitettiin siirreltävään betonijakelijaan ulottuvuuden takaamiseksi. Kolmella pumpulla valunopeudeksi laskettiin 60 m<sup>3</sup> tunnissa. Pumput tilattiin työmaalle aamulla klo 6.00 ja ensimmäiset betonitoimitukset klo 7.00. Pumppujen paikat oli määritetty työmaan aluesuunnitelmaan. Näiltä alueilta maaperä oli tiivistetty, jotta varmistuttiin kantavuudesta. Jokaisesta pumpusta laadittiin myös pystytyspöytäkirja ennen valun aloitusta.

### **3.9.2 Valu**

Ensimmäisestä betonikuormasta tehtiin koekappaleet koekuutiosuunnitelman mukaan. Käytännössä betonia valettiin kolmeen 150 x 150 x 150 mm:n muottiin, jotka puristettiin 91 vuorokauden ikäisinä. Tämän jälkeen betonin testaaja toimitti tulokset pääurakoitsijalle (liite 3). Samalla testattiin myös ilmamäärä (kuva 11). Betonin täyttäessä vaatimukset voitiin valu aloittaa.



*KUVA 11. Ilmamäärämittaus*

Kolmelle pumpulle työryhmänä oli kolme valuporukkaa, joihin kuului kaksi valumiestä, yksi tiivistysmies sekä pumppari eli pumpun ohjaaja. Toinen valumiehistä tasasi pinnan oikeaan korkoon.

Valu toteutettiin urakoitsijan laatiman betonointisuunnitelman mukaan ja aloitettiin laatan pohjoispäästä 20 metriä leveänä rintauksena. Ensimmäiset betonit pumpattiin alueen palkkien pohjille, jolloin betonin yläpinta jäi laatan alapinnan tasolle. Palkkien korkeuden takia niitä ei valettu yhdellä kertaa. Tällä varmistettiin, ettei valupaine palkissa kasva liian suureksi ja muotti pysyy ehjänä. Tämän jälkeen betonointi siirrettiin itse laatalle ja palkkien toinen osa valettiin. Palkkien välissä ja betonointisuunnitelmassa huomioitiin, että betoni palkissa ei pääse kovettumaan liikaa. Toinen kerros valettiin viimeistään tunnin kuluttua ensimmäisen kerroksen valusta. Betonia tiivistettiin koko pumppauksen ajan. Tiivistyksessä oli erityisen tarkkoja ankkureiden kohdilla tiheään raudoituksen takia ja varmistet-

tiin, että tärytin saatiin raudoituksen väliin. Betonin saavutettua lopullisen korkeuden pintamies tasasi pinnan ja varmisti tasolaserilla oikean korkoaseman. (Kuva 12.)



*KUVA 12. Betonointi loppusuoralla*

Kun ensimmäisen alueen valuun riitti kaksi työryhmää, siirtyi kolmas jatkamaan etelän suuntaan seuraavalle lohkolle palkin pohjia valamaan. Ensimmäisen alueen edettyä yksi työryhmä siirtyi valamaan seuraavaa lohkoa itään päin. Työ eteni suunnitelman mukaan, eikä betoni päässyt missään kohtaa kuivumaan liikaa. Kun jakelijan ulottuvuutta ei enää tarvittu, se nostettiin pois.

### **3.9.3 Hierto**

Kun laatan pinta oli tasattu korkoon ja se oli kuivunut tarpeeksi, voitiin aloittaa koneellinen hierto. Työryhmänä hierrossa oli kolme työntekijää sekä kalustona kolme päältä ajettavaa hiertokonetta. Hierrolla laatan pinta saatiin tiiviiksi ja tasaiseksi. (Kuva 13.)



*KUVA 13. Pinnan hierto käynnissä*

#### **3.9.4 Jälkihoito**

Jälkihoidon tarkoituksena on aikaansaada olosuhteet, joissa valettu rakenne kovettuu saavuttaen suunnitellun loppulujuuden ja muut betonille asetetut ominaisuudet. Jälkihoitoon kuuluu valetun rakenteen suojaaminen, veden haihtumisen estäminen sekä oikeasta kovettumislämpötilasta huolehtiminen. (1, s. 331.)

Suojaaminen estää betoniin vaikuttavat ympäristön vaikutukset ja estää veden haihtumista (1, s. 331). Suojaamiseen voidaan käyttää muottia, muovia tai ruis-kutettavia jälkihoitoaineita. Betonin kosteana pitäminen riittävän kauan mahdollistaa kovettumisreaktioiden jatkumisen ja estää kutistumishalkeilua. Riittävä vesimäärä turvataan estämällä haihtuminen betonin pinnalta tai kastelemalla betonia. (1, s. 332.)

Peittäminen tehdään tai kastelu aloitetaan mahdollisimman nopeasti, heti kun valettu rakenne kestää nämä toimenpiteet. Kosteana pitäminen jatkuu 1–2 viikkoa.

Jälkihoidon jälkeen betoni on yleensä kuivatettava pinnoitustöitä varten. (1, s. 332.)

Joskus erityisesti massiivisissa rakenteissa tai kesäolosuhteissa saattaa kovettuvan rakenteen lämpötila kohota niin korkeaksi, että syntyy lujuuskatoa. Tällaisissa olosuhteissa on varauduttava jäähdyttämään betonia. (1, s. 332.)

Jälkihoitona laatassa toimi ruiskutettava jälkihoitoaine sekä kevyt kastelu ja suojaus. Jälkihoitoaine suihkutettiin pintaan koneellisen hierron jälkeen. Valun jälkeen seuraavana aamuna laatta kasteltiin kevyesti vedellä ja sen päälle levitettiin muovit suojaksi. Jälkihoitoa jatkettiin betonin saavutettua 60 % loppulujuudesta. Betonin lämpötilaa seurattiin valuun asetetuilla loggereilla. Lämpötila ei noussut vaarallisen korkeaksi, eikä jäähdytystoimenpiteitä tarvittu.

### 3.9.5 Lujuudenkehityksen seuranta

Betonitoimittaja Ruduksella on käytössään Betoplus-palvelu, jolla voidaan tutkia betonin lämpötilaa ja hyödyntää Sadgroven kaavaa lujuudenkehityksen mittaamiseen (kaava 1).

Betonin kypsyysikä lasketaan kaavalla 1 (11, s. 128).

$$t_{20} = \left( \frac{T+16\text{ }^{\circ}\text{C}}{36\text{ }^{\circ}\text{C}} \right)^2 * t \quad \text{KAAVA 1}$$

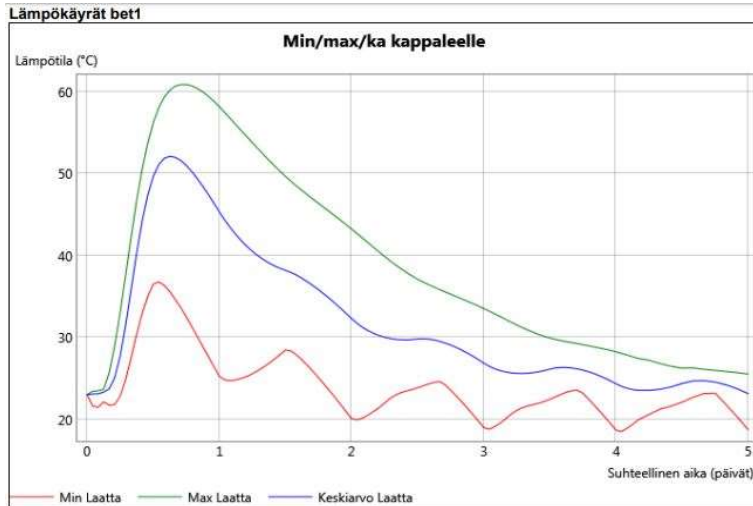
$t_{20}$  = betonin kypsyysikä (d)

$T$  = betonin lämpötila aikana  $t$  (°C)

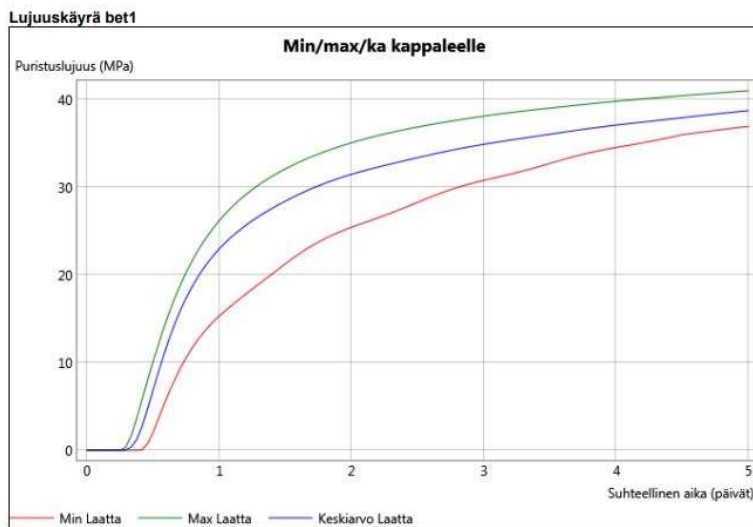
$t$  = kovettumisaika (d)

Noin viikkoa ennen suunniteltua valupäivää tilattiin Rudukselta betonin ennakkotiedot. Ennakkotietoja varten annettiin laatan ja palkkien paksuus, betonin menekki, betonin lujuusluokka sekä rasitusluokat. Tämän jälkeen Rudus toimitti laskelman, jossa kävi ilmi sementtilaatu ja lisäaineet. Tämän lisäksi laskelmasta selvisi arvioitu lämpötilan kehitys sekä arvioitu lujuuden kehitys (kuvat 14 ja 15). Ennakkotietojen perusteella massa valittiin ja lyötiin lukkoon. Betoniksi valittiin

rakennesuunnittelijan määräämä C50/60, rasitusluokaksi XC1, suurimmaksi runkoaineeksi #32mm, notkeusluokaksi s3, sementiksi megasementti ja lisäaineiksi lentotuhka ja silika.

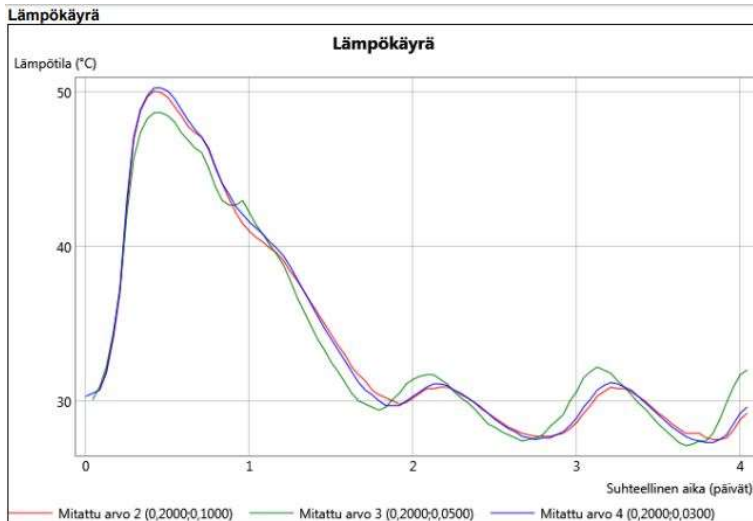


*KUVA 14. Ennakkolaskelma betonin lämpötilan kehityksestä*

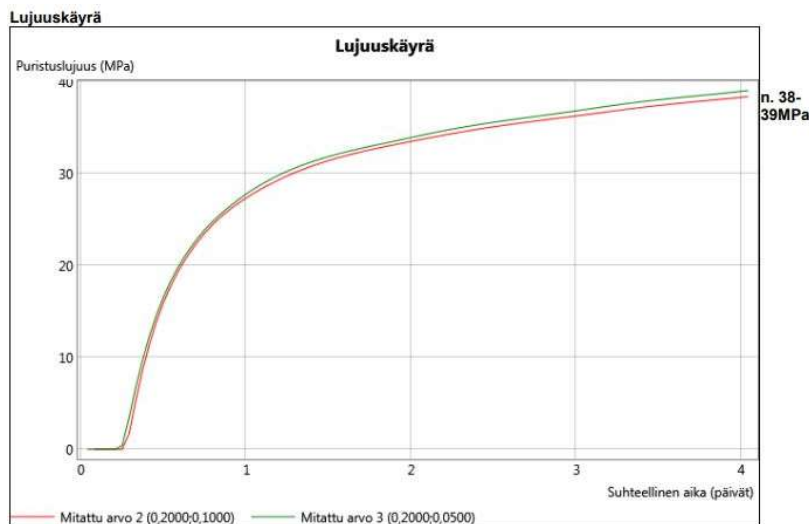


*KUVA 15. Ennakkolaskelma betonin lujuuden kehityksestä*

Valun sisään jätettiin anturit kahdelle etäluettavalle loggerille palkin ja laatan keskelle mittaamaan betonin lämpötilaa. Anturijohdot liitettiin kahteen etäluettavaan loggeriin. Neljän päivän päähän valusta tilattiin Rudukselta laskelmat, joista selvisi toteutunut lämpötilankehitys ja toteutunut lujuuden kehitys (kuvat 16 ja 17). Laskelmat oli laskettu loggeritietojen perusteella.



KUVA 16. Toteutunut lämpötila betonissa



KUVA 17. Toteutunut lujuuden kehitys

### 3.10 Jännitystyö

Betonin C50/60 saavutettua 60 % lopullisesta lujuudesta eli 36 MPa annettiin rakenteelle jännityslupa.

Jännitystyö suoritettiin kalibroidulla hydraulitunkilla. Työ eteni palkeittain ja jokainen palkki jännitettiin peräkkäin. Ennen punosten jännitystä niiden ”hännät” mitattiin ja kirjattiin jännityspöytäkirjaan. Mittauksen jälkeen punokset jännitettiin ja lukittiin (kuva 18). Lopuksi jännityspöytäkirjaan merkittiin punosten lopullinen ve-

nymä. Kun jännitystyö oli tehty, pöytäkirjat lähetettiin suunnittelijalle hyväksyttäväksi. (Liitteet 4 ja 5.) Suunnittelijan tarkastettua venymien oikeellisuus saatiin katkaisulupa, jolloin punosten ”hännät” katkaistiin, rasvakuppi asennettiin ja ankkurikolo täytettiin laastilla.



*KUVA 18. Jännitykseen käytettävä hydraulitunkki*

Rasvapunoksien jännitysvoimaksi oli määritetty 235 kN, joten neljän punoksen ankkurille tuli jännitysvoimaa 940 kN. Injektoitavat punokset jännitettiin 215 kN:n voimalla. Näin ollen 19 punoksella ankkurille tuli rasiusta 4085 kN.

Kun jännitystyö oli hyväksytty ja punokset katkaistu ja paikattu, aloitettiin muotin purku.

## **4 LAADUNVARMISTUS**

Tässä luvussa on esitelty eri lähteiden vaatimia laadunvarmistusmenetelmiä ja verrattu vaatimuksia toteutukseen.

### **4.1 Laatu**

Laatu on tuotteen tai palvelun piirteet ja ominaisuudet, joilla tuote tai palvelu täyttää sille asetetut tai oletetut tarpeet. Laatu tarkoittaa myös hyödykkeen soveltuvuutta käyttöön käyttäjän kannalta. Laatu voidaan jakaa seuraaviin elementteihin:

- valmistuksen laatu, miten hyvin tuote täyttää sille suunnittelussa asetetut vaatimukset
- suunnittelun laatu, kuinka hyvin tuote on suunniteltu täyttämään asiakkaan vaatimukset
- asiakkaan havaitsema suhteellinen laatu, asiakkaan saaman tuotteen suhde odotettuun. (16.)

Laatutekniikka tarkoittaa kaikkia niitä toimenpiteitä, joilla pyritään takaamaan käyttötarkoitukseen hyvin soveltuva tuote (1, s. 149).

Laadun tuotossa ensisijaisena tarpeena on asiakkaan tarpeisiin vastaaminen. Laadun keskiössä on myös sisäisen asiakkuuden ketju, jossa jokaiseen työvaiheeseen kuuluu toimittaja sekä asiakas. Seuraavan työvaiheen tekijä on siis edellisen työvaiheen asiakas. (1, s. 149.)

Laadunvarmistus varmistaa ja osoittaa, että kaikki laadunohjaukseen kuuluvat toimenpiteet suoritetaan tehokkaasti. Tällöin laadunvalvonta on osa laadunvarmistusjärjestelmää. (1, s. 150.)

### **4.2 Betonirakenteiden laadunvalvonta**

Betonirakenteita tehdessä on suoritettava valmistuksen laadunvalvontaa. Laadunvalvonnan yhteydessä tehdään muistiinpanot betonin valmistuksesta, betonoinnista ja sen jälkeen tapahtuvasta käsittelystä. Muistiinpanojen perusteella

voidaan tarvittaessa jälkeenkäin selvittää työnsuorituksen tapahtumat. Laadunvalvontaan kuuluu betonin ja rakenteiden valmistuksen valvonta. Betonin valmistuksen valvonta käsittää ennakkoon tehtävät osa-aineita koskevat kokeet ja valmistuksen aikaiset kokeet. Rakenteiden valmistuksen laadunvalvonta kohdistuu muotti- ja tukirakenteisiin, raudoitukseen, betonointiin, tiivistämiseen ja jälkihoitoon. (11, s. 141.)

#### **4.2.1 Vaativien rakenteiden laadunvarmistustoimenpiteet**

Erityisen vaativien ja vaativien -luokkien rakenteiden valmistuksesta tehdään seuraavat muistiinpanot betonointipöytäkirjan muodossa tai asiakirjat talteen ottamalla:

- rakennustyömaan tiedot, betonityönjohtaja
- valmisbetonin kuormakirjat ja koekappaleiden tunnuksot
- betonointiolosuhteet
- betonointimäärät
- betonointitapa
- betonoinnin alkaminen ja päättyminen, työssä ilmenneet hankaluudet, muottien ja tukirakenteiden purkamisajankohta ja sen määrittäminen, betonin jälkihoito ja lämpötilan seuranta
- muottien ja raudoituksen valvontatoimenpiteet
- rakennustarkastajan määräykset
- rakenteiden tarkastukset
- muut tarpeelliset asiat (11, s. 141).

Betonitoimittaja suoritti omat laadunvalvontatoimenpiteensä, jotta voitiin varmistua, että rakenteessa käytetty betoni oli vaatimusten mukaista. Ennen betonointia aliurakoitsija teki muotin ja tuennan tarkastuksen. Betonoinnin jälkeen täytettiin betonointipöytäkirja, johon liitettiin betonin kuormakirjat (liite 6). Työkohteen betonointipöytäkirjan täytössä on jäänyt jälkihoidon toimenpiteet kirjaamatta. Olosuhteista ja hankaluuksista ei ollut myöskään mainintaa. Koekappaleiden tunnuksot selvisivät puristuskokeen työmääräyksestä (liite 3).

Vaikka tuotannon laadunvalvonnassa seurataan lujutta resepti- ja perhekohtaisesti, voidaan halutessa tehdä myös kohdekohtaista laadunvalvontaa joko etukäteen suunnitellusti tai mikäli työn aikana herää epäily betonin vaatimustenmukaisuudesta. Testattava betonierä voidaan määritellä esim. seuraavasti:

- yksittäinen betoniannos tai -kuorma
- rakenteisiin tai rakenneosiin toimitettu betoni
- työmaalle työviikon aikana toimitettu betoni enimmäismäärältään 400 m<sup>3</sup> (1, s. 183.)

Betoni on vaatimusten mukaista, jos jokainen yksittäinen lujustestien tulos ja peräkkäisten tulosten keskiarvo täyttää molemmat taulukossa annettavat ehdot, jossa K on tavoitelujuus (1, s. 184). (Taulukko 1).

*TAULUKKO 1. Puristuskokeen vaatimukset (1, s. 184)*

Testaustulosten lukumäärä [kpl] betonierää kohti	Ehto 1	Ehto 2
	Testaustulosten keskiarvo $f_{cm}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Yksittäinen testaustulos [MN/m <sup>2</sup> ]
1	Ei käytetä	$\geq K - 4$
2–4	$\geq K + 1$	$\geq K - 4$
5–6	$\geq K + 2$	$\geq K - 4$

Rakenneosaan toimitetusta betonista laadunvarmistustoimenpiteinä suoritettiin ilmamäärämittaus standardin SFS-EN 12350-7 mukaan ja puristuskokeet standardin SFS-EN 12390-3 mukaan (liite 3). Rakenneosan betoni täytti sille asetetut vaatimukset.

Lisäksi rakenteen valmistajalla tulee olla kirjallisesti kuvattu laadunvarmistusjärjestelmä, jolla varmistetaan, että kapasiteettia pienentävä raudoitus ja mittapoikkeamat ovat enintään rakenneluokan yksi mukaiset. Jokaista valua varten tehdään yksityiskohtainen betonityösuunnitelma, josta tulee ilmetä vähintään

- muotit ja niiden tukirakenteet
- raudoitus
- jako betonointiosiin
- perustiedot betonin ominaisuuksista
- betonointimenetelmä, betonin siirrot, tiivistäminen, betonointinopeus, työsaumat
- aikataulu, betonimenekki, työnjohto, henkilövahvuus, työvuorot, varautuminen häiriöihin, kokeiden vaatimat toimenpiteet
- jälkihoito, lujuuden ja muiden ominaisuuksien kehityksen seuranta, muottien ja tukirakenteiden purkaminen (11, s. 123).

Kaikista työvaiheista pidetään pöytäkirjaa, johon kirjataan betonityösuunnitelman mukaiset laadunvalvontatoimenpiteet (11, s. 148).

Ennen betonointia on muotit, tukirakenteet ja raudoitus tarkastettava ja varmistaa että kohde on muutenkin valmis betonointia varten. Tarkastajan allekirjoitus nimenselvennyksineen kirjataan betonointipöytäkirjaan. (11, s. 169.)

Raudoittaessa varmistetaan, että raudoitteiden pinnalla ei ole syöpymiä eivätkä ne ole niin ruostuneita, että se vaikuttaisi rakenteen lujuuteen. Raudoitteet sidotaan suunnitelmien mukaan ja sidontalankojen päät taivutetaan raudoitteen sisäpuolelle. Tarkastetaan, että raudoitteiden betonipeitteen paksuus on suunnitelmien mukainen. (13.)

Ennen runkotöiden aloitusta aliurakoitsija laati kirjallisen betonointisuunnitelman. Sitä päivitettiin työn edetessä. Betonointisuunnitelma laadittiin myös erikseen jokaiselle valettavalle alueelle. Aliurakoitsija tarkisti myös muottien tuennan ja kestävyyden ennen valun aloittamista. Raudoituksen tultua valmiiksi pidettiin raudoituskatselmus suunnittelijan ja aliurakoitsijan kanssa. Katselmuksessa tarkistettiin raudoitteiden ja jännepunosten suunnitelmien mukainen asennustapa ja korkeus- asema. (Liite 2.)

#### **4.2.2 Aloituspalaveri**

Ennen työvaihetta pidetään aloituspalaveri. Palaverissa sovitaan työn toteutukseen liittyvät asiat, kuten työsuunnitelma, varastoinnin, säilytyksen ja suojausten

hoitaminen, vastuuhenkilöt, laadunvarmistus- ja työturvallisuusasiat, aikataulu sekä työajat. Varmistetaan materiaalien sopimuksenmukaisuus, yhteensopivuus ja kunto. Aloituspäivästä tehdään muistio, joka liitetään työmaa-asiakirjoihin. (13.)

Ennen runkotöiden aloitusta niistä pidettiin aloituspäivä. Aloituspäivässä käytiin läpi kaikki RATU-korteissa esitetyt kohdat.

#### **4.2.3 Mallityö**

Työn ensimmäinen osakohde suoritetaan mallityönä. Mallityö tehdään samoilla menetelmillä, joilla varsinainen työ tullaan tekemään. Mallityö tehdään riittävän laajasti, että työmenetelmästä selviää sen toimivuus. Mallityölle tehdään tarvittavat laadunvarmistustoimenpiteet, aivan kuten varsinaisellekin työlle. Rakennuttaja, suunnittelija ja urakoitsija tarkastavat ja hyväksyvät mallityöt. Puutteet ja virheet korjataan ennen seuraavaan kohteeseen siirtymistä. Mallitöiden tarkastamisesta kirjoitetaan muistio, joka liitetään työmaa-asiakirjoihin. (13.)

Runkotöiden ensimmäinen osakohde suoritettiin mallityönä ja sille tehtiin vaaditut laadunvarmistustoimenpiteet sekä pöytäkirja.

#### **4.2.4 Vastaanottotarkistukset**

Betonin valmistuksen laadunvalvonta tehdään standardin SFS-EN 206-1 kohdan 9 mukaisesti. Betoniterästen ja toimitettavien raudotteiden tulee olla sertifioituja (11, s. 147). Jänneterästen tulee joko täyttää niille voimassa olevissa SFS-standardeissa asetetut vaatimukset ja niiden tulee olla sertifioituja tai niillä tulee olla varmennettu käyttöseloste. Jos käytettävistä jänneteräksistä on tehty laadunvalvontasopimus Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen kanssa, ei rakenteiden valmistuspaikkakohtaisia kelpoisuuskokeita tarvita. (11, s. 168.)

Työkohteen vastaanottotarkistuksessa tarkistetaan työkohteen valmius ja varmistetaan että seuraava työvaihe voi alkaa suunnitelmien mukaisesti. Vastaanottotarkistuksesta kirjoitetaan muistio. (13.)

Työn päätyttyä työhön liittyvät asiakirjat arkistoidaan ja valmis työ tarkistetaan ennen rakennuttajalle luovutusta. Varmistetaan, että työ täyttää sopimusasiakirjoissa esitetyt laatuvaatimukset. Työn tarkastamisesta, mahdollisista huomautuksista, puutteista ja korjausehdotuksista kirjoitetaan tarkastuspöytäkirja. (13.)

Rakenteeseen käytetyt raudoitteet olivat CE-hyväksytyjä ja sertifioituja. Tämä todennettiin raudoitenipuissa olevien tunnisteen perusteella. Jänneteräkset olivat VTT:n sertifioimia ja niillä oli varmennettu käyttöseloste. Materiaalitoimitusten saapuessa työmaalle ne käytiin silmämääräisesti läpi vikojen varalta.

Valmis betonirakenne hyväksyttiin betonin jälkitöiden jälkeen ja siitä kirjoitettiin vastaanottotarkastusmuistio.

#### **4.2.5 Työn suorituksen laadunvalvonta**

Nimetty betonityönjohtaja valvoo työn aikana, että muoteista, raudoitustöistä, betonoinnista, jännitystöistä ja mittatarkkuuksista määrättyjä ohjeita noudatetaan. Betonityönjohtaja laatii myös vaaditut muistiinpanot ja pöytäkirjat. Betonimassan laatua valvotaan betonin valmistuksen sekä betonoinnin aikana. (11, s. 148.) Työryhmän toimintaa valvotaan siten, että se on järjestelmällistä, virheetöntä ja tehdyn betonointisuunnitelman mukaista (1, s. 330).

Jännitystöihin ryhdyttäessä tulee varmistaa, että betoni on saavuttanut suunnittelijan määräämän lujuuden. Betonin lujuudenkehitystä valvoo tilaajan edustaja. Kun määritetty lujuusarvo on saavutettu, annetaan jännityslupa urakoitsijalle kirjallisena. Jännitystöistä pidetään pöytäkirjaa, josta selviää punosten venymät, sekä vaaditut jännevoimat. Laadittu pöytäkirja lähetetään suunnittelijalle, joka tarkastaa venymät, sekä antaa luvan punosten katkaisulle. (3, s. 83.)

Työn aikana havaittujen poikkeamien syyt selvitetään ja korjataan välittömästi. Tarkistetaan, että käytetyt työmenetelmät ja käytetyt materiaalit ovat suunnitelmien mukaisia. (13.)

Suunnitelmien muutoksista neuvotellaan rakennesuunnittelijan kanssa. Työn aikana tehdään yhteistyötä rakennesuunnittelijan kanssa. Työn aikana voidaan

joutua vaihtamaan työmenetelmää, johtuen mm. valmiin rakenteen kunnosta tai siitä, että suunnitelmat eivät vastaa valmista rakennetta. (13.)

Muotit saa purkaa vasta, kun betoni on saavuttanut vähintään 60 % nimellislujuudesta, ellei asiakirjoissa ole muuta ilmoitettu. Muotteja ei saa purkaa, ennen kuin vastaava työnjohtaja tai betonitöiden työnjohtaja antaa luvan. Rakenteen jälki-tuennan tarve varmistetaan yhdessä rakennesuunnittelijan kanssa. (12.)

Valun aikana työkohteessa oli koko ajan aliurakoitsijan erityisen vaativan luokan betonityönjohtaja valvomassa työtä.

Betonin saavutettua suunnitelmien mukaisen lujuuden voitiin jännitystyöt aloittaa. Jännitystyöstä laadittiin pöytäkirjat (liitteet 4 ja 5). Kun suunnittelija oli hyväksynyt venymät ja kuivapunokset oli injektoitu, voitiin muotin purku aloittaa.

#### **4.2.6 Toimenpiteet laadun jäädessä epätydyttäväksi**

Rakenteen laatu on epätydyttävä, jos siinä esiintyy puutteita suunnitelma-asiakirjoihin, ohjeisiin ja määräyksiin verrattuna. Puutteita tai poikkeamia voi esiintyä esim.

- betonin laadussa
- raudoitemateriaalin laadussa
- raudoituksessa
- käytettävissä olevista tiedoista
- betonitöiden suorituksesta
- valmiissa rakennekokonaisuudessa. (1, s. 189.)

Jos tällaisia poikkeamia havaitaan, voidaan rakenteen tila tarkastaa. Rakenteesta voidaan ottaa koekappaleita ja arvioida niitä tarkistuslaskelmilla. Työnsuoritusta voidaan myös arvioida pöytäkirjojen perusteella. (1, s. 189.)

Välipohjan laadussa ei ollut moitittavaa, eikä puutteista tai poikkeamista johtuneisiin toimenpiteisiin tarvinnut ryhtyä.

## 5 LOPPUSANAT

Työn tarkoituksena oli verrata tehtyjä laadunvarmistustoimenpiteitä vaadittuihin. Laadunvarmistustoimenpiteinä työssä toimivat betonointisuunnitelma ja -pöytäkirja, muotti- ja tuentasuunnitelma, muottien tarkastus ennen valua, raudoitustarkastus, betonin lujuudenkehityksen seuranta, jännityspöytäkirjat, koekappaleet sekä lisäksi työnaikainen seuranta.

Opinnäytetyössä käytiin läpi jälkijännitettävään paikkavalulaattaan liittyvät työvaiheet, joita ovat muottityöt, raudoitus, punostyöt, betonointi sekä jännitys. Raudoitukset ja punostyöt tarkistettiin rakennesuunnittelijan kanssa ja rakenteeseen käytetystä betonimassasta otettiin koekuutiot, jotka testattiin koekuutiosuunnitelman mukaisesti. Jännitystöistä täytettiin pöytäkirjat ja venymät hyväksyttiin suunnittelijalla ennen muottien purkua.

Massiivinen rakenne ja kesän helteet aiheuttivat työhön oman haasteensa, mutta asiantunteva betonointoimittaja osasi suhteuttaa massan ja lisäaineet sellaisiksi, ettei lujuuskatoa päässyt syntymään. Betonilaatan lujuudenkehitystä turvattiin myös viikon kestäneellä jälkihoidolla.

Olennaisin puute betonointipöytäkirjassa liittyi jälkihoitoon ja sen kirjaamiseen. Sekä pää- että aliurakoitsijan työnjohtajat kuitenkin varmistivat, että jälkihoito tehtiin oikein. Myös betonointiolosuhteista olisi pitänyt olla maininta. Kuivapunosten injektointipöytäkirja meni urakoitsijalta suoraan tilaajan edustajalle, eikä siitä jäänyt dokumenttia pääurakoitsijalle.

Työ sujui hyvin ja laatuongelmilta säästyttiin. Onnistuneen lopputuloksen mahdollistivat hyvä suunnittelu, vaatimusten mukaiset materiaalit ja osaavat tekijät. Myös ennakkoon suunniteltu laadunvarmistus ja sen noudattaminen oli tärkeässä roolissa. Aloituspäätöksessä sovitut asiat ja mallityö olivat tärkeitä työtä suoritettaessa. Virheiltä vältyttiin ja toteutuksessa eteen tulleet yllätykset saatiin minimoitua. Uskon että tilaajan havaitsemassa suhteellisessa laadussa ei ollut motittavaa.

Henkilökohtaisesti opin opinnäytetyöprosessissa massiivisen paikallavalulaatan oikeat työvaiheet aina muottitöistä jännitykseen, työturvallisuutta unohtamatta. Työ sujui turvallisesti, kun ohjeita noudatettiin ja työnjohto sekä työntekijät olivat sitoutuneet turvallisiin työtapoihin. Viimeistään työn loppumetreillä tarvittavat laadunvarmistustoimenpiteet ovat iskostuneet päähäni, eikä käsikirjoja tarvitse seilailla niin usein.

Työtä tehdessä huomasin, että suurella ja kokeneella yrityksellä laadunvarmistus on rutiini muiden joukossa, eikä urakoitsijoilla ollut epäselvää, mitä lomakkeita tulee milloinkin täyttää. Projektinjohtomallilla toimittaessa jo urakkaneuvotte- luissa on hyvä käydä aliurakoitsijoiden kanssa läpi vaaditut laadunvarmistustoi- menpiteet. Vaikka kiireisellä työmaalla lomakkeiden täyttely voi tuntua turhalta ajanhukalta, mielestäni laadunvarmistus ja dokumentointi ei sitä ole. Oikein suo- ritetusta laadunvarmistuksesta voidaan pitkänkin ajan kuluttua todeta työvaiheen määräystenmukaisuus. Laadunvarmistustoimenpiteiden ollessa selkeät, voi jo- kainen pää- ja aliurakoitsijan työntekijä olla ylpeä työstään.

Mielestäni kuitenkin tärkein laadunvarmistustoimenpide on ammattitaitoiset työn- johtajat.

## LÄHTEET

1. BY 201 Betonitekniikan oppikirja. 2004. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys Ry.
2. Post-tensioning. 2018. BBR VT International Ltd. Saatavissa: [https://www.naulankanta.fi/files/BBR\\_Post-tensioning\\_EN\\_Rev1\\_0510.pdf](https://www.naulankanta.fi/files/BBR_Post-tensioning_EN_Rev1_0510.pdf). Hakupäivä 20.2.2019.
3. Jännepunos käyttöseloste. Naulankanta Oy. Saatavissa: <https://docplayer.fi/5562227-Jannepunos-kayttoseloste.html>. Hakupäivä 20.2.2019.
4. Product scope – construction bearings. Calenberg Ingenieure. Saatavissa: <http://www.calenberg-ingenieure.com/downloads/products.pdf>. Hakupäivä 24.2.2019.
5. Mäkinen, Marita 2015. FISEn uudet suunnittelija- ja työnjohtajapätevyudet. Powerpoint-diasarja. Saatavissa: <http://www.eurocodes.fi/Koulutus%20ja%20tapahtumat/2015%20seminaari/3%20Makinen.pdf>. Hakupäivä 24.2.2019.
6. Tietoa FISEstä. 2019. FISE Oy. Saatavissa: <http://fise.fi/tietoa-fisesta/>. Hakupäivä 21.3.2019.
7. Betonirakenteiden työnjohtaja. 2019. FISE Oy. Saatavissa: <http://fise.fi/patevyysspalvelu/hae-patevyytta/tyonjohtajat/betonirakenteiden-rakentamisesta-vastaava-tyonjohtaja/>. Hakupäivä 23.2.2019.
8. Tuoteseloste – megasementti. 2018. Finnsementti Oy. Saatavissa: [https://finnsementti.fi/wp-content/uploads/2018/08/Megasementti\\_v4-3.pdf](https://finnsementti.fi/wp-content/uploads/2018/08/Megasementti_v4-3.pdf). Hakupäivä 22.2.2019.
9. Klinkkeri. 2019. Wikipedia. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Klinkkeri>. Hakupäivä 21.3.2019.
10. Pozzolaani. 2019. Wikipedia. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Pozzolaani>. Hakupäivä 21.3.2019.
11. BY 50 Betoninormit. 2012. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys Ry.

12. RATU 0398. 2012. Levymuottityö. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/Ratu%200398> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 24.2.2019.
13. RATU 0402. 2012. Raudoitus. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/Ratu%200402> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 24.2.2019.
14. RATU TT 06-00872. 2010. Betonin pumppauksen ympäristö- ja turvallisuusopas. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RatuTT%2006-00872> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 24.2.2019.
15. RATU 0403. 2012. Betonointi. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/Ratu%200403> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 24.2.2019.
16. Stenius, Antero 2018. T542203 Laadunhallinta 3 op. Opintojakson luennot keväällä 2018. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, rakentamistekniikan osasto.

## **LIITTEET**

Liite 1 Aikataulu

Liite 2 Raudoitustarkastuspöytäkirja (Yrityksen sisäinen dokumentti)

Liite 3 Koekuutioidutokset (Yrityksen sisäinen dokumentti)

Liite 4 Rasvapunosten jännityspöytäkirja (Yrityksen sisäinen dokumentti)

Liite 5 Injektoitavien punosten jännityspöytäkirja (Yrityksen sisäinen dokumentti)

Liite 6 Betonointipöytäkirja (Yrityksen sisäinen dokumentti)

