

Möttö Matthias

Jälkijännitetyn laatan toteutus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työnjohto

Mestarityö

24.1.2015

Alkusanat

Tämä mestarityö tehtiin Rakennusliike Reponen Oy:lle. Sen tarkoituksena on laatia kattava selostus jälkijännitetyn palkkilaatan toteutuksesta, ja työtä tehdessä esimerkiksi toimivat mestarityön tekijän vetämät pysäköintilaitoksien holvien rakennustyöt vuosina 2013 ja 2014. Haluan kiittää Reponen johtoa siitä, että olen saanut tehdä mestarityön hyvin mielenkiintoisesta aiheesta, sekä lisäksi toimia esimerkkikohteissa työnjohtotehtävissä. Lisäksi haluan kiittää niitä tahoja, jotka ovat olleet mukana toteuttamassa esimerkkikohteita. Näistä mainittakoon Reponen ja Renope Oy:n kirvesmiehet, insinööritoimisto Matti Janhusen työnjohtoa, punosamentajia ja erityisesti Marko Haanpäästä kovasta asiantuntemuksesta rakennetyyppejä kohtaan. Ruduksen henkilöstöä laadukkaan betonin toimituksesta, sekä yhteistyöstä betonin laadullisissa ja aikataulullisissa asioissa. Vuorion Maxia onnistuneista betonin pumppauksista ja valuista. Eri raudoitustyöryhmiä omasta osuudestaan. Lisäksi haluan kiittää vaimoani kärsivällisyydestä, kun olen viettänyt usein hyvin pitkiäkin päiviä poissa kotoa sekä kohteita vetäessäni, että mestarityötä tehdessäni.

Helsingissä 24.1.2015

Matthias Möttö

Tekijä(t) Otsikko	Matthias Möttö Jälkijännitetyn laatan toteutus
Sivumäärä Aika	61 sivua + 5 liitettä 24.1.2015
Tutkinto	Rakennusmestari (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennusalan työnjohto
Suuntautumisvaihtoehto	Talonrakennustekniikka
Ohjaaja(t)	Työpäällikkö Mika Mäkelä – Rakennusliike Reponen Lehtori Timo Riikonen – Metropolia Ammattikorkeakoulu
<p>Tämä mestarityö käsittelee jälkijännitetyn laattapalkiston toteutusta. Työ tehtiin Rakennusliike Reponen Oy:lle, ja siinä tutkitaan erityisesti Reponen toteuttamia pysäköintilaitoksien holvirakenteiden toteutusta Helsingin Jätkäsaareen vuonna 2013 sekä Helsingin Kivikkoon vuonna 2014.</p> <p>Työn tavoitteena oli selostaa tärkeimpien työvaiheiden toteutus jälkijännitetyn holvirakenteen toteutuksessa, sekä löytää tehokkaat ja toimivat työjärjestykset toteutuksen kannalta.</p> <p>Työn tavoitteena oli tarjota hyvä tietopaketti Reponen tulevaisuuden projekteja varten, niin hankkeita vetäville työnjohtajille, kuin myös hankesuunnitteluun osallistuvilla tahoilla tarjoamalla menekkitietoa sekä tietoa tarvittavista resursseista eri työvaiheista.</p> <p>Jälkijännitettyjen rakenteiden käyttö on yleistymässä Suomessa, ja niiden toteutus vaatii työnjohtajalta paljon syventymistä, jotta työt tulevat tehdyksi oikeassa järjestyksessä, eikä eri työvaiheiden väliin jää liian paljoa löysää aikaa. Rakenteiden toteutukseen liittyy suurta vastuuta, ja onkin hyvä, että työnjohtaja, joka ei ole aiemmin kyseisen rakennetyypin kanssa ollut tekemisissä, voi saada jostain pientä ohjeistusta rakenteen toteuttamista varten.</p> <p>Jälkijännitetty holvirakenne tuo paljon etuja suhteessa perinteisempiin massiivilaattarakenteisiin. Näistä esimerkkejä ovat pitkät jännevälit ja pienentyneet materiaalikulut. Toiminnaltaan jälkijännitetty rakenne eroaa kuitenkin melko paljon muista talonrakentamisessa yleisesti käytössä olevista rakennusmenetelmistä.</p>	
Avainsanat	Jälkijännitetty rakenne, paikalla valaminen

Author(s) Title	Matthias Möttö Building of Post-Tensioned Structure
Number of Pages Date	61 pages + 5 appendices 24 January 2015
Degree	Bachelor of Construction Site Management
Degree Programme	Construction Site Management
Specialisation option	
Instructor(s)	Mika Mäkelä, Project Manager, Rakennusliike Reponen Oy Timo Riikonen, Senior Lecturer, Metropolia University of Applied Sciences.
<p>This thesis deals with the building of a Post-Tensioned deck structure. The thesis was made for Rakennusliike Reponen Oy, and it researches especially the parking facility projects that Reponen carried out in Helsinki Jätkäsaari in 2013, and in Helsinki Kivikko in 2014.</p> <p>The main objective of this thesis was to explain the most important stages of building a post tensioned structure, and to find efficient and working procedures to carry out the project.</p> <p>The objective was to offer a good source of information for the future projects that Reponen is going to implement. As well for the construction managers, that lead the work, as for the people that are in charge off project designing, this study aims to provide an information source about the resources needed, and the different amount of work that each stage requires.</p> <p>Using of a post tensioned structure is becoming more common in Finland. Implementing a post tensioned structure requires a lot of attention from the construction manager, so that the work can succeed, and time is not wasted between the work stages. The implementation includes a lot of responsibility, and it is good that if a construction manager has not got earlier experience of this kind of structure, he can get some information about it.</p> <p>A post-tensioned structure brings a lot of benefits compared to a traditional non-tensioned structure. Among these are longer spanlengths, and reduction of materials. The principles of how a post tensioned structure works are somewhat different, than the other methods that are usually used in house building in Finland.</p>	
Keywords	Post tensioned structure, cast in situ.

Sisällys

Alkusanat

Termit

1	Johdanto	1
2	Tutkimuksen tavoite	1
2.1	Tutkimuksen rajaukset	1
2.2	Tutkimuksen aihe	2
3	Tutkimusmenetelmät	2
3.1	Kirjallisuus	2
3.2	Toteutuksesta saatu tieto	2
4	Tulokset	3
4.1	Kansitason rakentamisen aloitus	3
4.1.1	Aloituspalaveri	3
4.1.2	Työn aloitus ja vastaanotto edelliseltä urakoitsijalta	6
4.2	Muottityö	9
4.2.1	Doka 1-2-4-järjestelmä	9
4.2.2	Kohteissa käytetyt muottijärjestelmät	10
4.2.3	Muottityön aloittaminen	12
4.2.4	Muottityön eteneminen	14
4.2.5	Muotin purku	15
4.2.6	Muottityölle asetetut laatuvaatimukset	16
4.2.7	Muottityön menekkitiedot	17
4.2.8	Muottityön vaatimat aputyöt	18
4.3	Raudituksen ja punosten asennus	23
4.3.1	Lock-jännepunosmenetelmä	23
4.3.2	Menetelmän edut	25
4.3.3	Työn aloittaminen	27
4.3.4	Asennustyön järjestys	28
4.3.5	Punostyöhön liittyvät detaljit	32
4.3.6	Raudoitukseen liittyvät detaljit	37
4.3.7	Raudituksen ja punosten asennustyön valmistuminen ja tarkastus	40
4.3.8	Punosten jännitys	41
4.3.9	Rauditus- ja punostyön vaatimat nostot	42

4.4	Kannen betonointi	43
4.4.1	Betonoinnin suunnittelu ja tilaus	43
4.4.2	Betonoinnin aloittaminen	44
4.4.3	Betonoinnissa tarvittava kalusto ja työryhmä	46
4.4.4	Betonointipaikka ja ajoreitti	48
4.4.5	Betonoinnin eteneminen	48
4.4.6	Olosuhteiden vaikutus betonointiin	51
4.4.7	Betonin jälkihoito	52
4.4.8	Betonin lujuudenkehityksen seuranta	55
4.4.9	Betonin lujuusvaatimukset punosten jännittämistä varten	57
5	Johtopäätökset	58
6	Pohdinta	59
	Lähteet	62
	Liite 1	1

Liite 1. Insinööritoimisto Matti Janhunen Oy – Jälkijännitetyn palkkilaatan työjärjestys

Liite 2. General Technologies, INC – Advantages and benefits of unbonded post-tensioning (General Technologies, INC – Tarttumattoman jälkijännitettävän rakenteen hyödyt ja edut).

Liite 3. Jätkäsaaren 1-lohkon aikataulu

Liite 4. Jätkäsaaren 2-lohkon aikataulu

Liite 5. Kivikon 1-kerroksen holvin toteutuksen aikataulu

Termit

Jännepunosvaijeri:	Teräksinen punostettu vaijeri, joka koostuu useammista pienemmistä vaijereista. Käytetään tutkittavien rakenteiden jännittämistyöhön.
Mesta:	Työntekopaikka.
Pumppari:	Betonipumpun operoinnista vastaava henkilö.
Vesi-sementtisuhte:	Sementin ja veden määrän suhde betonimassassa. Mitä suurempi vesi-sementtisuhte, sitä enemmän seokseen on laitettu vettä.
Vibra:	Betonin tiivistämiseen käytettävä työkalu. Toiselta nimeltään tärysauva.

1 Johdanto

Tämän mestarityön tavoitteena on tarjota kattava tietopaketti Rakennusliike Reponen Oy:n tulevaisuuden projekteihin, joissa rakennetaan jälkijännitettä holvirakenteita. Työssä pyritään antamaan tietoa rakenteen toteutuksen oikeasta työjärjestyksestä, keskeisistä työvaiheista, sekä aikataulu- ja kustannuslaskennan kannalta tärkeitä menekkitiedoista.

Työssä käydään edellä mainitut asiat läpi erityisesti työnjohtajan näkökulmasta, ja suuri osa työssä esitettävästä tiedosta on kerätty käytännössä toteutettujen projektien pohjalta Helsingin Jätkäsaareissa vuonna 2013, sekä Helsingin Kivikossa 2014.

Tämän lisäksi työ on tekijälle henkilökohtaisesti oppimisprojekti, sillä mestarityötä tehdessä hän on vedettyjen projektien kautta saanut tutustua jälkijännitetyn betonirakenteen toiminnan periaatteisiin ja toteutuksen yksityiskohtiin.

2 Tutkimuksen tavoite

2.1 Tutkimuksen rajaukset

Tässä mestarityössä tutkitaan jälkijännitetyn holvirakenteen toteutusta. Tutkittavina kohteina työssä ovat Rakennusliike Reponen toteuttamat pysäköintilaitokset Helsingin Jätkäsaareen vuonna 2013, sekä Helsingin Kivikkoon vuonna 2014. Työn tekijän rooli kummassakin kohteessa oli toimia kohdekohtaisena työnjohtajana. Mestarityössä käydään läpi kaikki jälkijännitetyn kansirakenteen toteuttamiseen liittyvät työvaiheet muottityön alkamisesta betonointiin, sekä muotin purkuun ja palautukseen. Työssä selostetaan kansirakenteen toteutuksessa tarvittavat resurssit, työryhmien, nostokaluston, työkalujen ja materiaalien puolesta, sekä selostetaan rakenteen toteutuksen toimiva työjärjestys. Työssä jätetään vähemmälle huomiolle kansirakenteen suunnitteluun liittyvät yksityiskohdat, ja rakenteen toimintaperiaate selostetaan vain pintapuolisesti.

2.2 Tutkimuksen aihe

Tutkimus pohjautuu Rakennusliike Reposen Helsingin Jätkäsaareen rakentaman autohallin, sekä Helsingin Kivikkoon rakentamaan pysäköintirakennuksen kansirakenteisiin, ja siinä pyritään löytämään käyttökelpoisia menekkitietoja tulevien kohteiden suunnittelua varten. Lisäksi työssä pyritään luomaan kattava selostus kansirakenteen rakentamisessa toimivista työjärjestyksistä, ja selostetaan vähintään pintapuolisesti jälkijännitetyn rakenteen toimintaperiaate.

3 Tutkimusmenetelmät

3.1 Kirjallisuus

Mestarityössä hyödynnetään käytettävissä olevaa ammattikirjallisuutta liittyen jälkijännitettyihin rakenteisiin, siltoihin ja pysäköintilaitoksiin.

Kansitason käytännön toteutuksessa hyödynnetään kansitason raudoitus ja punosuunnitelmien lisäksi muun muassa Doka-Finlandin ohjeita liittyen yrityksen 1-2-4-muottijärjestelmän käyttämiseen.

3.2 Toteutuksesta saatu tieto

Tutkimuksessa on pyrkimyksenä tutkia kansirakenteen toteutuksen menekkitietoja, jotta kustannus- ja tuotantosuunnittelua pystytään jatkossa suorittamaan entistä tehokkaammin ja realistisemmin. Jälkijännitetyistä rakenteista on Suomessa käytettävissä melko vähän käyttökelpoista kirjallista tietoa, eikä myöskään koulujen perusopetukseen kuulu kovin syvällistä jälkijännitetyn rakenteen toimintaperiaatteen läpikäyntiä. Tämän takia on mestarityöhön kerätty myös verrattain paljon kokemusperäistä tietoa, jota työn tekijä on kerännyt ja oppinut esimerkkikohteita johtaessaan, tai suunnittelijoiden ja muiden rakennetyypin tuntevien henkilöiden kanssa keskustellessaan.

4 Tulokset

4.1 Kansitason rakentamisen aloitus

4.1.1 Aloituspalaveri

Kummassakin projektissa pidettiin ennen kannen rakentamisen aloitusta aloituspalaverit, joihin osallistuivat muotti-, rauditus- sekä punostyönjohtajat, sekä kohteiden vastaavat mestarit. Ennen toteutuksen aloituspalaveria on kummassakin kohteessa pidetty jo aiemmin suunnittelun aloituspalaveri, missä on esimerkiksi määritelty toteutettavien holvien yksittäisten lohkojen määrät ja etenemisjärjestys. Nämä ovat hyvin oleellisia tuotannon suunnitteluun ja ohjaukseen liittyviä päätöksiä, jotka tulisi harkita tarkasti ottaen huomioon käytettävissä olevat resurssit, sekä työmaalla mahdollisesti olevat ulkopuoliset häirttekijät lohkojaon kannalta. Jätkäsaaren kohteessa kansi olisi ollut teknisesti mahdollista toteuttaa ilman työ- tai liikuntasauvoja, mutta se päätettiin kuitenkin toteuttaa kahdessa lohossa, sillä samalla sisäpihalla oli töiden alkaessa vielä pystyssä torninosturi, joka palveli kohteen runkotöitä. Kivikon kohteessa kansia oli yhteensä kahdessa eri kerroksessa, ja kannet oli jaettava pitkittäisen muotonsa takia vähintään kahteen eri liikuntasaumalla erotettuun lohkoon. Useampikin lohko olisi ollut mahdollista toteuttaa, mutta lohkojen todettiin olevan jo riittävän pieniä myös yhdellä liikuntasaumalla toteutettuna.

Jätkäsaaren kohteen aloituspalaverissa eri osapuolilta pyydettiin heidän omat arvionsa omien työsuorituksiensa kestoista. Insinööritoimisto Matti Janhuselta, joka toimi kannen rakennesuunnittelijana, sekä punostyön toteuttajana, saatiin käyttöön heidän laatimansa lista (liite 1) kansirakenteen toteuttamisen oikeasta työjärjestyksestä. Tätä listaa sekä palaverissa annettuja työmenekkejä käytettiin kannen toteuttamisen aikataulun laatimiseen. Jätkäsaaren kohteen ensimmäisen lohkon toteutuksessa kävi kuitenkin selväksi, että raudoittaja oli varannut itselleen aivan liian paljon työaikaa. Koska rauditusliike ei suostunut toista lohkoa aloitettaessa neuvottelemaan nopeammasta aikataulusta, päätettiin vaihtaa toiseen rauditusliikkeeseen, ja aikataulu saatiinkin lyhennettyä rauditus- ja punosasenustyön osalta puoleen ensimmäiseen lohkoon verrattuna.

Kivikon kohteeseen valmistautuessa Reposella oli jo käytettävissään Jätkäsaaresta kerätyt menekkitiedot, sekä näkemys oikeista työjärjestyksistä ja työn etenemisestä, joten aloituspalaveria varten oli jo pystytty laatimaan realistinen aikataulu kannen to-

teuttamista ajatellen. Näin aloituspalaverissa oli tarpeellista käydä vain läpi aikataulu, sekä sopia töiden aloitusajankohdat, sekä työryhmien koot ja materiaalityöajankohdat.

Aloituspalaverin tärkeimmät läpikäytävät asiat tämänkaltaisissa projekteissa ovat kunkin työvaiheen aloitusajankohta, työn etenemistahdin sopiminen eri osapuolten välillä, logistisista järjestelyistä sopiminen, tavaraerien toimitusajankohdat, työryhmien koot, sekä alustavan arvion laatiminen kunkin valulohkon valupäivästä. Näiden lisäksi suunnitelmien läpikäynti ennen töiden aloittamista on ensiarvoisen tärkeää, ja toteuttavien osapuolien olisi syytä pyrkiä miettimään ovatko suunnitelmat toteutuskelpoisia vai kaivattaisiinko sinne vielä muutoksia tai tarkennuksia. Jälkijännitetyt holvirakenteet eroavat perinteisistä talonrakentamisessa esiintyvistä rakennetyypeistä sen verran paljon, että on myös syytä käydä läpi rakenteen toimintaperiaatteet ja toiminnan kannalta kriittiset yksityiskohdat. Suurimpia eroja esimerkiksi elementtirakentamiseen tai massiivilaattoina toteutettuihin holvirakenteisiin lienevät jälkijännitetyn laatan irrottaminen ympäröivistä ja kantavista rakenteista irrotuskaistoilla sekä laakerikumeilla ja lisäksi jänespunosasetajien mukana olo raudoitustyöryhmän lisäksi.

Muottityön kannalta on tärkeää määritellä, mitkä työvaiheet toteutetaan ennen muottityön aloittamista ja millä tarkkuudella. Ennen kannen muottityön aloitusta on suositeltavaa, että kaikki kannen kantavat rakenteet ovat rakennettuna. Kantavien rakenteiden lisäksi muottityön kannalta on tärkeää suunnitella, millaisen pohjan päälle muotti rakennetaan. Tyypillisesti ainakin ensimmäisen kerroksen kattokansi rakennetaan maanrakentajan tasaamalle pinnalle. Palaverissa olisi syytä miettiä pystyykö maanrakentaja tasaamaan koko muotin alle jäävän alueen riittävän tasaisesti muottityön kannalta, sekä onko muotin alueella esimerkiksi viemäriinjoja tai muita heikompia rakenteita, jotka eivät välttämättä kestä muotin aiheuttamaa painetta ilman paineen jakamista suuremmalle alueelle, tai lisätuentaa. Maanrakennustöitä suunniteltaessa on syytä myös muistaa, että kannen muottia purettaessa todennäköisesti joudutaan ajamaan jollakin työkoneella vielä pohjan päällä, jotta muottikalusto saadaan tehokkaasti siirrettyä pois kannen alta. Tämän takia pohjaa ei kannata yleensä pyrkiä rakentamaan suoraan sillä tavalla, että sen päälle voidaan esimerkiksi holvin teon jälkeen valaa maanvaraista laattaa, vaan se kannattaa jättää muutaman sentin alle maanvaraisen laatan vaatiman pohjan. Muottitöitä varten on tärkeää myös tarkistaa onko työmaalla käytettävissä tarpeeksi kattavat mittatiedot kannesta sekä onko muottirakenteesta laadittu tai että olisi-ko siitä syytä laatia esimerkiksi muottitoimittajan puolesta suunnitelma. Jos muottityön-

tekijät eivät ole aiemmin rakentaneet vastaavanlaisia muotteja tai edellisestä vastaavasta on jo aikaa, on heidän kanssaan syytä vielä käydä läpi oikeat työjärjestykset muotin rakentamis- ja purkamisvaiheessa sekä työturvallisuuteen liittyvät asiat. Muottitoimittajilla on yleensä saatavana myös erilaisia koulutusmahdollisuuksia, johon esimerkiksi työnjohtajan ja ryhmän nokkamiehen voi olla hyvä osallistua.

Raudoitus- ja punostyön kannalta aloituspalaverissa on tärkeää sopia ensiksi, mihin asti muottia olisi hyvä rakentaa, ennen kuin raudoittajat voivat aloittaa oman työnsä. Raudoittajan on ennen punosten asennuksen aloitusta saatava palkkien pohjateräkset, eli yleensä pohjalle menevät U-haajat, sekä alapinnan pääteräkset asennettua. Raudoitus- ja punostyön aloitusajankohtaa mietittäessä on syytä muistaa, että sekä raudoitus- että muottityön sujumuutoksen kannalta olisi hyvä jättää kummallekin työryhmälle riittävästi työtilaa. Lisäksi olisi syytä miettiä töiden etenemistä niin, että raudoittaja voisi työnsä aloittamisen jälkeen mahdollisimman yhtenäisesti asentaa kaikkien palkkien pohjateräksät valmiiksi punos-asentajia varten ilman, että he joutuvat keskeyttämään töitään muottityöryhmän takia.

Jos näyttäisi siltä, että raudoitus- ja punostyö etenisi palkkien osalta jotakuinkin samaa tahtia, on mahdollista, että punostyöryhmä aloittaa punosten vetämisen ja katkaisemisen jo samana päivänä, kuin raudoittaja aloittaa palkkien pohjateräksien asentamisen. Voi kuitenkin olla suositeltavaa, että raudoittajalle annetaan yksi tai kaksi päivää aikaa valmistella palkkien pohjateräksien, ennen kuin punostyöryhmä aloittaa oman työnsä.

Raudoitus- ja punostyön osalta on työjärjestyksien lisäksi tärkeää myös sopia tavarantoimituksista sekä nostojen saatavuudesta. Jos raudoitusliikkeen kanssa sovitaan, että se toimittaa kaikki lohkon teräkset yhdellä kertaa, on syytä sopia jo tässä vaiheessa, mihin nämä teräkset tullaan varastoimaan. Toisaalta jos raudoitusliike haluaa mieluummin toimittaa teräkset useammassa erässä, on tärkeää määritellä kullekin toimituserälle oikea ajankohta niin, etteivät työt kärsi materiaalin puutteesta. Punostyön tarvitsemat toimituserät ovat yleensä hieman raudoitus- ja punostyötä helpompia, sillä punoksia tulee tyypillisesti paljon vähemmän asennettavaksi holviin kuin raudoitus- ja punostyötä. Punostöiden kannalta on sen sijaan tärkeää sopia, mihin punoskelat voidaan sijoittaa siksi aikaa, että punokset saadaan vedettyä ja katkaistua mittoihinsa. Jos holvi sijoittuu esimerkiksi kokonaisuudessaan taloyhtiön sisäpihalle, kuten Jätkäsaaren kohteessa, voi hyvin käydä niin, että yli 2 tonnin painoiset punoskelat joudutaan sijoittamaan muotin

päälle. Tämä taas täytyy huomioida muotin tuennassa, jotta se varmasti kestää kelan painon.

Jätkäsaaren kohteessa nostoja varten oli ensimmäisellä lohkolla käytettävissä torninosturi, joka pääasiallisesti palveli runkotöitä, ja aina runkotöiden sen salliessa se suoritti nostoja holvia varten. Torninosturin lisäksi työmaalla oli kurottaja, joka mahdollisuuksiensa mukaan auttoi myös nostotöissä. Jätkäsaaren toisen lohkon alkaessa torninosturi oli poistunut työmaalta, ja siellä nostoja varten otettiin kahdeksi päiväksi autonosturi, jonka aikana työmaalle otettiin osa muottikalustosta ja vaijeripunoksista, sekä kaikki lohkon raudoitteet.

4.1.2 Työn aloitus ja vastaanotto edelliseltä urakoitsijalta

Kummassakin tutkittavassa kohteessa kansitasoa edeltävänä työvaiheena toimi maanrakennustyöt.

Jätkäsaaren kohteen ensimmäisen lohkon aloittamisen kannalta oleellisia asioita ovat logistiikan hankaluus sekä varastotilan niukkuus. Kannen ensimmäinen lohko joudutaisiin rakentamaan samalle sisäpihalle, josta parhaillaan tehdään elementtiasennustöitä. Sisäpihalle johtava reitti on lisäksi hyvin ahdas, ja ainoa kunnollinen nostolaite on runkotöitä palveleva torninosturi. Ennen kannen muottitöiden aloittamista sisäpihalle on pitänyt rakentaa kannen pilarianturat, sekä asentaa kantta kannattelevat elementtirakenteiset pilarit. Pilareiden asentamisen jälkeen maanrakennusliikkeen kanssa sovittiin, että se asentaa kaikki viemäriinjat, jotka kulkevat yli puolen metrin syvyydessä maanpinnasta, sekä tasaa pohjan niin, että se jätetään vielä noin 3 senttimetriä vajaaksi lopullisesta lattian ja styroksin pohjasta. Reponen kysyi maanrakentajalta arvion pohjien teon kestosta kokonaisuudessaan siinä vaiheessa, kun kaikki anturat oli valettu, ja pilarit asennettu. Maanrakennusliike arvioi tuolloin pohjien teon kestävän vielä tuosta hetkestä noin viikon, mutta valitettavasti sen arvio ei tuolla kertaa aivan pitänyt paikkansa, ja työt venyivät tuosta arviosta vielä noin viikolla. Tämä valitettavasti vaikutti omalta osaltaan myös muottitöiden sujuvuuteen, sillä alkuperäisen arvion perusteella oli jo ehditty sopia muottityön aloittamisesta. Kiireellisen aikataulun takia töitä oli kuitenkin pyrittävä viemään eteenpäin melko tiukalla aikataululla, ja näin ollen tämä viivästys maanrakentajan työssä vaikutti osittain myös muottitöihin.

Jätkäsaaren toisen lohkon rakentaminen päästiin aloittamaan siinä vaiheessa kun runkotyöt tulivat päätökseensä ja torninosturi sekä elementtifakit saatiin pois sisäpihalta. Myös toisen lohkon rakentaminen alkoi pilarianturoiden rakentamisella ja elementtipila-reiden asentamisella, sekä tämän jälkeen maanrakennustöiden tekemisellä sellaiselle tasolle, että siellä jäisi mahdollisimman vähän töitä tehtäväksi ennen maanvaraisten lattioiden valamista. Valitettavasti myös tämän lohkon osalla maanrakentajan antama ennuste omien töidensä etenemisestä jäi pahasti todellisuudesta, ja muottityöt oli jälleen aloitettava kiireellisen aikataulun takia siinä vaiheessa, kun maanrakennustyöt olivat vielä kesken. Valitettavasti maanrakentajan aikataulun pettämisen lisäksi myös pohjien tasaisuudessa oli suuria ongelmia, jotka aiheuttivat myös omia ongelmia muotin rakentamisen kannalta.

Kivikkoon rakennettava pysäköintirakennus sisältää yhteensä neljä erillistä lohkoa jälkijännitettäviä kansia kahdessa kerroksessa. Pysäköintirakennus on kokonaisuudessaan paikallaan valettava myös seinien osalta, ja se on pohjaltaan täysin kaareva. Ennen ensimmäisen kansilohkon rakentamisen aloittamista rakennukseen on pitänyt valaa vähintään ensimmäisen kerroksen kantavat seinät, sekä paikallaan valettavat pilarit. Maanrakennustöiden kannalta todettiin kuitenkin olevan järkevintä valaa kaikki ensimmäisen kerroksen seinät valmiiksi, jotta maanrakentaja pystyy täyttämään lattioiden pohjat kaikilta osin noin 3 senttimetriä alle lopullisen lattian pohjan.

Tässä kohteessa maanrakentaja ei osannut antaa mitään tarkkaa arviota töiden lopullisesta kestosta ennen töiden alkua, mutta asiasta keskusteltaessa todettiin kuitenkin, että jos ei suurempia ongelmia esiinny, niin työt kestäisivät kokonaisuudessaan noin kaksi viikkoa. Syynä tähän oli se, että ei ollut täyttä varmuutta, onko kohteen louhinnat suoritettu riittävän laajasti, niin että viemäreiden asentamista varten ei tarvitsisi pysäköintirakennuksessa enää suorittaa lisää louhintoja. Töiden edetessä saatiin onneksi todeta, että ylimääräisiä haasteita ei kuitenkaan louhintojen takia ilmennyt, ja maanrakennusurakoitsija suoriutui myös omista töistään lupaamassaan aikataulussa. Pysäköintirakennuksen ensimmäisen kerroksen kattokansi muodostuu kahdesta lohkosta, ja maanrakennusliikkeen kanssa sovittiin, että siinä vaiheessa kun se vielä viimeisteli toisen lohkon pohjia, Reponen sai jo aloittaa ensimmäisen lohkon muottitöitä. Pysäköintirakennuksen ensimmäisessä kerroksessa oli kuitenkin vain yksi sisäänkäynti, joka jää ensimmäisen lohkon alueelle. Tämä sisäänkäynti sovittiin pidettävän auki niin pitkään, että maanrakennusliike saisi myös toisen lohkon työt tehtyä, eikä sen tarvitsisi

enää tulla holvin alle muuten kuin viimeistelemään holvin valun jälkeen lattioiden pohjia.

Jos kannen muotti rakennetaan sepelin päälle, kuten Jätkäsaaren holvi kokonaisuudessaan ja Kivikon ensimmäisen kerroksen holvi, on varmistettava, että maa-aines on tiivistetty huolella, ettei se pääse painumaan valun aikana. Tyypillisesti muotin pohjana on niin sanottu salaojakerros, jonka tiivistäminen täysin tiiviiksi on melko vaikeaa. Tämän takia on suositeltavaa käyttää muotin pystytukien alla vanerilevyjä, jotka auttavat pystytukien painon jakautumisessa pohjaa vasten. Pinnan on oltava riittävän tasainen, jotta muottirakenteen rakentaminen sen päälle on mahdollisimman sujuvaa. On kuitenkin muistettava että muottia purettaessa pohjan päällä on todennäköisesti vielä ajettava esimerkiksi kurottajalla, eli ei ole suositeltavaa vielä pyrkiä tekemään valmiita lattianpohjia. Jos kannen alle tulee asennettavaksi kaivoja ja viemäriinjoi, on ensiksi tutkittava, jäävätkö ne kaikki niin syväälle, ettei muotin aiheuttama kuorma pääse vaurioittamaan niitä, tai jäävätkö kaivot muotin rakentamisen tielle. Jos putkilinjat kulkevat hyvin pinnassa, alle puolen metrin syvyydessä, on syytä pohtia asennetaanko ne vasta holvin valamisen jälkeen. Toisena vaihtoehtona on miettiä pystytäänkö putkien vaurioitumista ehkäisemään esimerkiksi jakamalla muotin aiheuttamaa painetta pois putkilinjoista, tai asettamalla holvituot niin, etteivät ne sijoitu putkilinjojen kohdalle. Muottirakenteen rakentamisen kannalta riittää, että pohja pysyy metrin matkalla noin 5 senttimetrin sisällä. On kuitenkin tärkeää sopia, mihin tasoon ja millä tarkkuudella pohja tehdään. Tämän mukaan on muun muassa tehtävä valinta käytettävistä holvituista. Samalla voidaan myös todeta, että mitä tasaisemmaksi pohja saadaan tehtyä, sen parempi sen päällä on toimia ja sitä tehokkaampaa muotin rakentaminen tulee olemaan.

Ennen töiden aloitusta on työryhmien kanssa hyvä myös sopia nosturin käytöstä, varastointipaikoista ja kuormien toimitusajoista ainakin ensimmäisien kuormien osalta. Työryhmän kanssa on myös syytä käydä läpi tarvittavat suunnitelmat, sekä kussakin työssä käytettävät tarvikkeet ja niiden toimittajat. Työmestalle on hyvä järjestää riittävä sähköistys ja tarvittaessa valaistus. Lisäksi työturvallisuusasioista on vielä sovittava yhteiset pelisäännöt, jotka kuitenkin täyttävät lain asettamat edellytykset.

Muottitöiden alkaessa on syytä aloittaa mahdollisimman varhaisessa vaiheessa myös laakerikumien ja irrotuskaistojen asennustyö sekä mahdollisten reunastopparien asentaminen, jotta ne ehditään asentaa, ennen kuin raudoittaja niitä tarvitsee. Muottirakkaa sovittaessa on muistettava sopia myös laakereiden ja kaiteiden asennuksesta. Ne

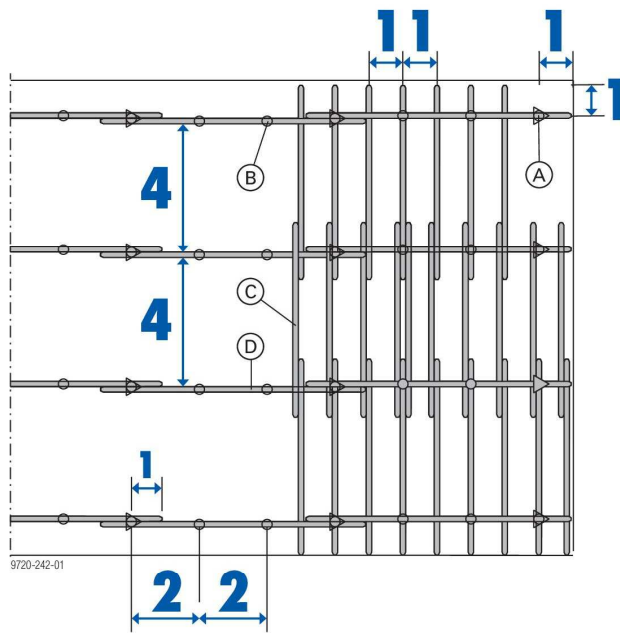
voi sisällyttää joko muottiurakkaan, tai sitten niitä tekemään voidaan ottaa esimerkiksi pääurakoitsijalta riittävä työryhmä. Tutkittavien kohteiden perusteella voidaan todeta, että laakereiden, irrotuskaistojen, putkituksien, kaivojen, varausten ja kaiteiden asennusta varten olisi syytä varata oma erillinen työryhmänsä, joka sisältää vähintään yhden rakennusammattimiehen sekä yhden rakennusmiehen. Näiden edellä mainittujen osien asennusta varten on syytä vaatia suunnittelijalta omat erilliset detaljinsa. Erityisesti laakerikumit tulevat aikanaan siirtämään holvin painon kokonaisuudessaan kantaville rakenteille, minkä takia niiden rakenteellinen merkitys on hyvin suuri, ja ne ovat lisäksi hyvin suuren rasituksen alla.

4.2 Muottityö

4.2.1 Doka 1-2-4-järjestelmä

Doka-Finlandin 1-2-4-muottijärjestelmä on tarkoitettu paikallaan valettavien holvien muotiksi, ja Doka antaa luvan valaa järjestelmän standardimitoituksella ilman erillisuunnitelmaa kaikki maksimissaan 300 mm paksut holvit (1). Järjestelmä on tyypiltään niin sanottu vakiopalkki ja muottilevy järjestelmä, joka rakennetaan yksittäisiä vakiomittaisia muottiosia käyttämällä. Tämän takia tämän tyyppinen järjestelmä on hyvin työvoimavaltainen, toisin kuin esimerkiksi pöytämuottijärjestelmä, joka perustuu suurien kiinteiden muottiyksiköiden siirtämiseen sellaisenaan valulohkolta toiselle. Tämän tyyppiset järjestelmät ovat tehokkaita ratkaisuja silloin, kun yksittäisiä valulohkoja ei ole kovin paljoa, eikä muottikiertoa synny näin ollen myöskään kuin muutama kierros. (2, s. 226.)

Doka 1-2-4-järjestelmä perustuu pystytukien ja puurakenteisten h-palkkien maksimietäisyyksiin, joita noudattamalla Doka lupaa muotin lujuuden olevan riittävä valutilanteessa, kunhan kannen paksuus ei ylitä 300 mm. Järjestelmässä käytetään Doka H20 top-palkkeja 3,90 m ja 2,65 m pitkinä. Lisäksi järjestelmässä käytetään H20-haarukkapäitä, jotka on varustettu pudotusominaisuudella, H20-kiertopäitä, jotka asennetaan lisätueksi siinä vaiheessa, kun muu muotti on pystyssä, Eurex-holvitukia kulloinkin tarvittavilla pituuksilla sekä terästuen tukijalkoja eli ns. kolmijalkoja. Muottipintana käytetään Dokadur-paneelia tai Doka 3-SO-muottilevyä. (Kuva 1)



- A Holvituki Eurex + Haarukkapää H20, pudotus + Terästuen tukijalka
- B Holvituki Eurex + Kiertopää H20 DF
- C Doka-palkki H20 top 2,65m (koolauspalkki)
- D Doka-palkki H20 top 3,90m (niskapalkki)

Kuva 1. Doka 1-2-4 -järjestelmän mitoitusperiaate

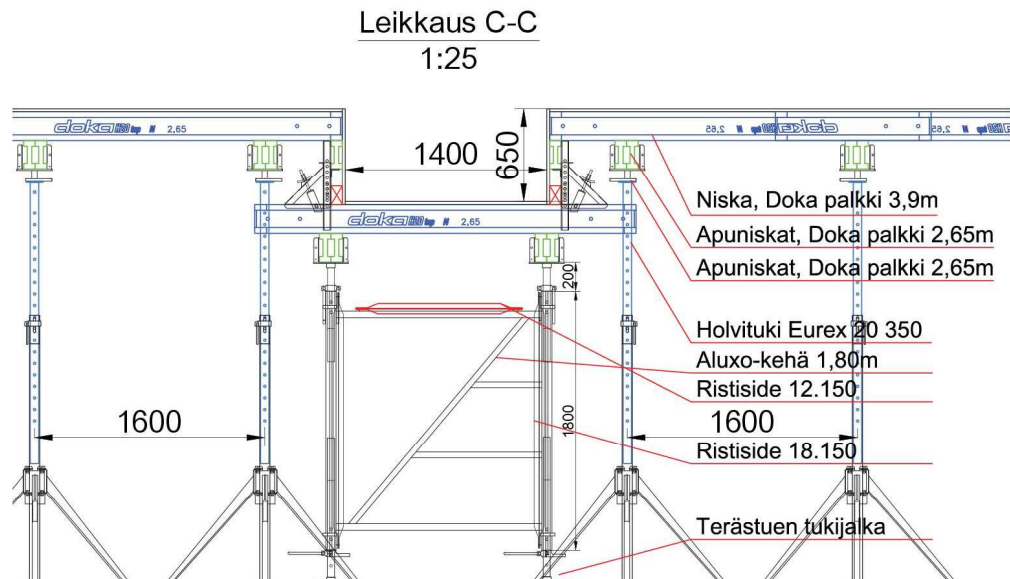
Doka 1-2-4-järjestelmä on saanut nimensä muottiosien mitoitusperiaatteesta. Doka H20 top-palkkien kylkeen on painettu merkiksi puolen metrin välein nuolia, jotka indikoivat kulloinkin riittävän tuentavälin. 2,65 m pitkiä Doka H20-palkkeja on asennettava vähintään jokaisen nuolen kohdalle ristiinkoolaukseksi, Eurex-holvitukia on asennettava vähintään kahden nuolen välein niskapalkkien alle, ja 3,90 m pitkiä Doka H20 top palkkeja on asennettava niskapalkkeiksi pystytukien alle vähintään neljän nuolen välein (1).

4.2.2 Kohteissa käytetyt muottijärjestelmät

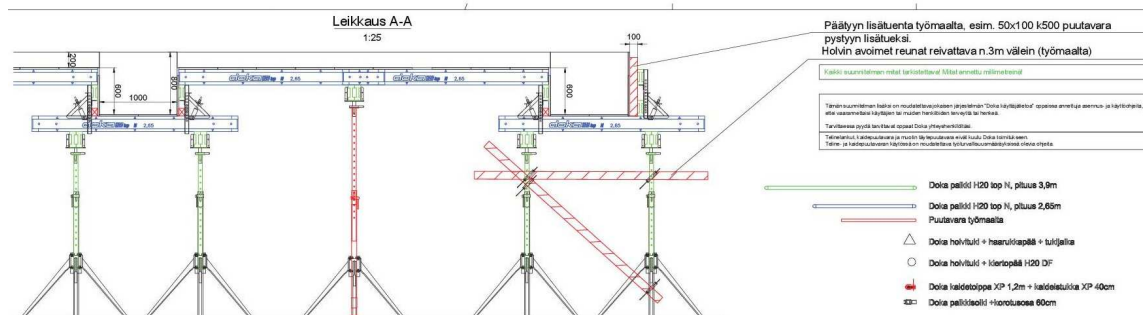
Jätkäsaaren kohteessa oli alun perin tarkoitus käyttää Dokan suunnittelijan ehdotusta, joka pohjautui Dokan 1-2-4-muottijärjestelmään. Sitä haluttiin kuitenkin muokata niin, että palkkien alla käytettäisiin Dokan Aluxo tukitorneja, joiden avulla saatiin vakaampi pohja muun muotin rakentamiselle. Tämä muutos aiheutti pienen lisäkustannuksen muottikaluston osalta, mutta se tehosti kuitenkin muottityön tekoa merkittävästi ja sa-

malla paransi myös työturvallisuutta. Muottisuunnitteluun käytettiin Dokan tarjoamaa muottisuunnittelupalvelua, jonka kautta saatiin samalla myös muotin rakentamista varten tarvittavat kalustomäärät helposti tietoon (Kuva 2).

Kivikon kohde toteutettiin täysin Dokan 1-2-4-muottijärjestelmän ja Dokan kohteeseen räätälöimän muottisuunnitelman mukaisesti, ilman Jätkäsaarella käytettyjä tukitorneja (Kuva 3). Kohteen muottiryhmä oli tässä kohteessa hieman kokeneempi kyseisten muottien suhteen, joten tukitorneja ei tarvittu helpottamaan muotin asennusta. Lisäksi muotin pohja saatiin tehtyä tasaisemmaksi, mikä myös helpotti muotin pystytystä.



Kuva 2. Kannen muotin leikkaus C-C Jätkäsaaren kohteessa (9)



Kuva 3. Kannen muotin leikkaus A-A Kivikon kohteessa (10)

Kohteiden muotit saatiin tärkeimmiltä osin toteutettua Dokan laatimien muottisuunnitelmien mukaisesti, vaikka niihin jouduttiinkin tietyiltä osin tekemään lisäyksiä. Palkkien muotteja varten jouduttiin sahaamaan erikseen 80 mm x 50 mm:n rimat muottilevyn ala-osan tueksi (kuvat 2 ja 3). Lisäksi palkkien kylkiin päätettiin käyttää valmiiksi mitaan sahattua 21 mm paksua havuvaneria. Tällä tavalla palkkien kyljistä saatiin hieman tasaisemmat, kun 500 mm leveästä vanerista aiheutuvaa vaakasaumaa ei betonin pintaan jäisi, eikä Dokan vanereista jouduttu myöskään sahaamaan erillisiä 100 mm:n soiroja, ja näin ollen lunastamaan niitä omaksi. Lisäksi Jätkäsaaren kohteeseen tilattiin vielä 850 kpl 400x400x21 mm:n havuvanerilevyjä joita käytettiin holvitukien ja tukitorni- en alla tasaamaan maahan kohdistunutta painetta. Nämä samat levyt saatiin hyödyn- nettyä vielä Kivikon työmaallakin. Palkkien kulmiin asennettiin muoviset kulmalistat, jotka parantavat palkkien kulutuskestävyyttä, jos joku esimerkiksi törmäisi joskus autol- la palkin kulmaan.

4.2.3 Muottityön aloittaminen

Ennen varsinaisen muottityön aloitusta on suoritettava mestan vastaanotto tässä tapauksessa maanrakennusurakoitsijalta pohjan tasaisuuden hyväksymiseksi. Lisäksi on tuotava tarvittava määrä muottikalustoa muotinrakennuspaikalle, jotta työ voi lähteä käyntiin. Ennen muottityön aloitusta on aiemmin pidetty jo aloituspalaveri, ja on käyty läpi suunnitelma muottikalustosta sekä tutustuttu muottikalustovalmistajan eli tässä tapauksessa Dokan ohjeisiin muotin oikeaoppisesta käytöstä (3, s. 6).

Jätkäsaaren kannen ensimmäisen osan rakentamisen aikaan oli työmaalla käytettävissä torninosturi, joka ensimmäisen osion rakennushetkellä palveli vielä samalla sisäpihalla rungon rakennustöitä. Muottikalusto kuljetettiin työmaalle puoliperävaunu-rekoilla, joiden todettiin olevan suurin ajoneuvoyhdistelmä, jolla uskalsi Jätkäsaareen ajaa. Muottikaluston purku auton kyydistä hoituu kaikista nopeiten kurottajalla tai muulla vastaavalla trukkipiikeillä varustetulla ajoneuvolla. Sisäpihan vaikeakulkuisuudesta johtuen päätettiin kuitenkin purkaa muottikalusto torninosturilla suoraan muotinrakennuspaikal- le. Yhden auton kuorman purkaminen vei tällä tavalla noin kolme tuntia, ja muottikalus- to saatiin kerralla lähelle työpistettä.

Kivikon työmaalla päätettiin ottaa pysäköintirakennusta varten jatkuvasti työmaalle oma autonosturi. Päätökseen vaikutti se, että holville pääsi syöttämään kalustoa vain yhdes- tä suunnasta rakennusta, ja lisäksi varastointitilaa oli vain vähän eikä useampien nos-

topaikkojen järjestäminen rakennuksen vierellä olisi ollut mahdollista kohtuullisella työlä. Holvin rakentamisen alkaessa maanrakennustyöt olivat vielä hieman kesken, eikä työmaalla ollut juurikaan ylimääräistä varastointitilaa holvikalustolle. Työmaalle oli kuitenkin helpompi kulkea kuin Jätkäsaaren työmaalle, joten sinne pystyttiin ottamaan muottikalustoa täysperävaunukuormilla. Tällä työmaalla kuormien purku sujui huomattavasti nopeammin, sillä kuljettava auto pystyi ajamaan suoraan varastointipaikan vielle purkua varten. Yhden täysperävaunukuorman purkaminen kesti noin yhden tunnin. Kivikon työmaalle oli päätetty ottaa palkkien kylkiin tarvittavat palkkisoljet ja niiden korotusosat jo etukäteen, jotta ne saatiin kasattua valmiiksi jo ennen muottitöiden aloitusta.

Ennen työn aloitusta on myös hyvä varmistaa, että muottityöryhmällä on kaikki työhön tarvittavat työkalut käytettävissään, sekä lisäksi vähintään työkaluille tarvittava sähkö, sekä pientarvikkeita varastossa mielellään vähintään viikoksi. Tyypillisiä muottityössä tarvittavia työkaluja ovat esimerkiksi seuraavat: Kenttäsiirkeli, käsipyörösaha, vasara, sorkkarauta, rautakanki, turvavaljaat, elementtiasennustikkaat, riittävä valaistus ja lisäksi työntekijöille omat otsalamput, kuviosaha, mittausvälineet, kuten tasolaser, rullamitta, vesivaaka ja linjalanka.

Jätkäsaaren kohteessa on yhteensä kahdeksan palkkia, jotka sijaitsevat keskitetysti moduulilinjoilla. Muotin rakentaminen päätettiin aloittaa laatan reunalla moduulilla 8 olevan palkin muotista, jolloin saatiin mitoitettua palkki oikealle paikalle. Laatan osuus, joka jäi palkin ja seinän väliin, pystyttiin rakentamaan tukevasti palkkia vasten. Jätkäsaaren kohteessa työryhmän koko oli 5 kirvesmiestä, ja siellä palkin pituus oli noin 50 metriä, ja yhden laattalohkon koko palkkien välissä oli noin 6,5 metriä, eli yhdellä loholla oli noin 325 neliometriä pinta-alaa. Yhden laatta- ja palkkivälin rakentaminen kesti keskimäärin kaksi työpäivää, ja työpäivien pituus oli keskimäärin 11 tuntia. Tästä voidaan laskea, että kyseinen työryhmä sai aikaiseksi 2,3 metriä valmista palkkia ja 15 neliometriä valmista laattamuottia yhdessä tunnissa, tai vaihtoehtoisesti 25 metriä valmista palkkia ja 162,5 neliometriä laattamuottia yhdessä työvuorossa.

Myös Kivikon pysäköintirakennuksen palkit sijoittuvat keskeisesti moduulilinjoille, ja muotin rakentaminen aloitettiin ensimmäiseltä P2-moduulilinjalla olevalta palkilta. Tämän jälkeen edettiin niin, että palkin jälkeen saatiin rakennettua edellinen laatan muotti ja seuraava palkki. Työtahti saatiin pidettyä Kivikon työmaalla neljän työntekijän työryhmällä ja 8 tunnin työpäivillä yhdessä palkissa ja yhdessä laattavälissä päivässä. Eli 18 metriä palkkimuottia ja noin 95 neliometriä laatan muottia syntyi yhdessä päivässä.

4.2.4 Muottityön eteneminen

Muotin rakentaminen jatkuu ensimmäisen palkin jälkeen sillä tavalla, että aina kun yhden palkin muotti on saatu valmiiksi, siirtyy osa muottityöryhmästä rakentamaan nyt valmistuneen ja edellisen palkin tai seinän välistä laatan osuutta, ja osa työryhmästä siirtyy rakentamaan seuraavaa palkkia. Kansien mitoitus on kummassakin esimerkki-kohteessa kiinnitetty palkkien keskilinjoihin, ja korkomitoitus perustuu tukipintojen kohdalla annettuihin korkotietoihin, joten tämä työjärjestys, että ensin rakennetaan palkki, ja sen jälkeen palkin viereinen lohko laattaa, on yksinkertaisin tapa saada muotti mitoitettua paikalleen. Työjärjestys edesauttaa myös muottirakenteen tukevuutta, sillä palkkien alla on kaikista tiheimmin pystytukia, joista valtaosa on vielä tuettu kolmijaloilla ja vinoreivauksin tai vaihtoehtoisesti palkit on tuettu tukitorneilla (kuva 2 ja kuva 3).

Doka muottijärjestelmä sisältää 3-SO muottilevyjä, jotka ovat mitoiltaan 21 x 500 x 2000 mm tai 21 x 500 x 2500 mm. Jos palkin pohjan leveys tai laatan leveys ei sattumalta ole jaollinen tasan 500 mm:llä, niin joudutaan jokaisessa työvaiheessa leikkaamaan vähintään yksi kaista sovitelevyjä. Tähän tarkoitukseen voidaan käyttää joko erillistä vaneria, tai leikata Dokan 3-SO levyistä sopivia siivuja. Samoin joudutaan levyjä muokkaamaan esimerkiksi palkkien päissä ja pilareiden kohdalla. Työnjohtajan ja muottiporukan nokkamiehen on hyvä sopia etukäteen, mistä tavarasta nämä levyt tehdään, sillä se tulee vaikuttamaan samalla urakan kokonaiskustannuksiin. Samoin palkkien kylkiin voi olla hyvä tilata määrämittäisiin sahattuna erilliset muottivanerit, jolloin ei tarvitse turhaan muokata Dokan omia levyjä. Näissä kohteissa päätettiin kaikki nämä täytelevyt toteuttaa erikseen tilatuilla 21 mm paksuilla havuvanereilla, jolloin ei jouduttu maksamaan Dokan levyistä sekä vuokraa että lunastusmaksua. Dokalta on kuitenkin mahdollista ostaa myös omaksi käytettyä 3-SO-muottivaneria, jolloin tällaisia päällekkäisiä kustannuksia ei synny. On hyvä muistaa, että esimerkiksi tavallisesta havuvanerista syntyy jonkin verran erilainen betonipinta kuin Dokan muottivanerista. Kohteen arkkitehdiltä voi olla hyvä kysyä ennen päätöksien tekemistä eri materiaalien käytöstä, minkälaiset vaatimukset valusta syntyville betonipinnoille asetetaan. Yleensä ottaen havuvaneri kuitenkin hyvin öljyttynä on toimiva materiaali esimerkiksi palkkien kylkien muottipinnaksi, varsinkin jos muottikiertoa ei tarvita kuin enintään kaksi kierrosta. Toisena hyvänä vaihtoehtona on filmivanerin käyttö kyseiseen tarkoitukseen, tämä ei jätä myöskään erilaista pintaa valun pintaan kuin Dokan oma levy.

4.2.5 Muotin purku

Kun punosten jännitystyö on suoritettu hyväksytysti ja pääsuunnittelijalta on purkulupa, voidaan muotin purkaminen aloittaa.

Muotin purku aloitetaan löysäämällä koko kentän holvitukia hieman, ja poistamalla kier-topäillä varustetut välituet niskapalkkien alta. Tämä jälkeen lähdetään järjestyksessä purkamaan Dokan ohjeiden mukaisesti kentän muottia jostakin sovitusta pisteestä järjestyksessä pois. Välitukien poistamisen jälkeen pudotetaan haarukkapäiden pudotuspäät alas lohko kerrallaan, jolloin muottirakennelma laskeutuu sen verran alas, että koolauspalkit on mahdollista kaataa kyljelleen ja ottaa alas. Kun koolauspalkit on poistettu, otetaan muottivanerit alas, ennen niskapalkkien ja loppujen holvitukien purkamista. Muottivanerin purkamisen jälkeen puretaan loput muotista (1, s. 9). Työnjohtajan on syytä valvoa muotinpurkuvaiheessa, että purettavan muotin alle ei tule muita kuin purkutyöhön osallistuvia henkilöitä. Lisäksi on syytä muistuttaa muotinpurkutyöryhmää erityisestä varovaisuudesta, sekä työturvallisuuden huomioimisesta muottia purettaessa. Muottia purettaessa on erityisen suurena riskinä, että joku henkilö jää putoavan muottikaluston alle, jos muotinpurkua ei suoriteta oikein.

Muottikalustoa purkaessa on syytä jatkuvasti laittaa kaikki kalusto suoraan omiin kuljetuslaatikoihinsa, sekä pinota palkit ja vanerit samanlaisiin nippuihin kuin ne ovat työmaalle saapuneet. Jos ei muista tuotteiden nippukokoja, kannattaa asiaa kysyä Dokan myyjältä tai lähettämöltä, sillä kuljetuksen ja jatkovarastoinnin kannalta on ensiarvoisen tärkeää, että niput ovat keskenään samankokoisia ja muutenkin Dokan standardin mukaisia. Kaluston purkuvaiheessa helpottaa, jos muotin rakennusvaiheessa on jätetty tarvikelaatikot ja fakit muotin alle sitä mukaa, kun ne ovat tyhjentyneet. Näin säästytään paljon ylimääräiseltä kantamiselta ja kävelemiseltä. Ainoastaan siinä tapauksessa, että kannen alta ei ole mahdollista hakea kalustoa millään käyttöön sopivalla koneella, kuten kurottajalla, tulee kalusto kantaa yksitellen käsin sellaiseen paikkaan, josta se voidaan koneellisesti siirtää niputettuna eteenpäin.

Muotinpurkuvaiheessa tulee vanerikalusto myös puhdistaa ylimääräisestä betonista ja nauloista. Kun tämän työvaiheen tekee huolellisesti, voidaan samaa muottikalustoa käyttää useaan otteeseen myöhemminkin, ja saadaan merkittäviä kustannussäästöjä.

Muotin purkamisen ja niputtamisen jälkeen siirretään muottikalusto vielä valmiiksi odottamaan kuljetusta. Jos muottikalusto on välittömästi menossa uudelleen käyttöön esimerkiksi seuraavaan valulohkoon, voidaan sitä siirtää sopiville paikoille sitä mukaa, kun muottia saadaan purettua. Kaluston pitkäikäisyyden kannalta ja seuraavan lohkon muotinrakennuksen sujuvuuden kannalta on kuitenkin järkevää, että kalusto lajitellaan omiin laatikoihinsa ja muutenkin niputetaan välissä riittävän huolellisesti.

Jätkäsaaren kohteessa kansi jaettiin kahteen lohkoon, joiden rakentamisen välillä jouduttiin ulkopuolisista syistä pitämään noin kolmen kuukauden tauko työskentelyssä. Muottikalusto palautettiin Dokalle kaikilta muilta osin, paitsi palkkisoljet päätettiin jättää työmaalle odottamaan seuraavaa lohkoa. Tämä johtuu siitä, että palkkisoljet kasataan kahdesta erillisestä osasta ja niiden kasaaminen ja purkaminen vaatii niin suuren määrän työtä, että niiden vuokrahinta jäi pienemmäksi, kuin siihen kulutettu työmäärä olisi maksanut.

Kivikon kohteessa kaikki valutyöt päästiin tekemään yhtäjaksoisesti niin, että ensimmäisen kerroksen muotin purun jälkeen täytyi vain välissä rakentaa toisen kerroksen kantavat seinät, ja tämän jälkeen päästiin jo rakentamaan toisen kerroksen holvimuottia. Näin ollen ensimmäisen kerroksen holvimuotin purun ja toisen kerroksen holvimuotin rakentamisen aloittamisen välillä on niin lyhyt aika, ettei muottikaluston palautus Dokalle ja jälleen tilaaminen työmaalle ole kustannuksiltaan järkevää.

4.2.6 Muottityölle asetetut laatuvaatimukset

Kohteen pääsuunnittelijan tehtävänä on määritellä valettaville betonipinnoille jokin pintaluokka, sekä tarvittaessa käytettävät muottimateriaalit. Tässä työkaluna toimii esimerkiksi BY 40-normisto, jossa annetaan kriteerit erilaisten valupintojen mittatarkkuudelle.

Tutkittavista kohteista kummassakin valettu betonipinta jäi sellaisenaan ainakin muottipinnoiltaan näkyville ilman käsittelyä jälkikäteen. Tämä vaati muottityöltä tiettyä tarkkuutta, jotta pinnasta saatiin riittävän siisti.

4.2.7 Muottityön menekkitiedot

Alla on esitetty tutkittavista kohteista kerättyjä toteutuneita keskimääräisiä työsaavutuksia erilaisista työsuorituksista. Näitä työsaavutuksia ei vertailla Ratun määrittelemiin työmenekkeihin, koska kohteissa on käytetty järjestelmämuottia, joka ei vastaa kaikilta osin Ratun määrittelemiä menekkejä. Laskelmissa ei ole huomioitu nosturin työaikaa. Menekkitiedot ovat urakkatyönä toteutuneita menekkitietoja.

Laatta-muotin rakennus sisältäen nostot:

tutkittavissa kohteissa: 10 m²/tth tai 0,1 tth/m²

Palkin rakentaminen sisältäen nostot:

tutkittavissa kohteissa: 2,3 m/tth tai 0,4 tth/m

Muotin rakentamisen ohessa tarvittavat aputyöt, kuten kaivojen ja laakerikumien asennukset:

tutkittavissa kohteissa: 0,14 tth/m²

4.2.8 Muottityön vaatimat aputyöt

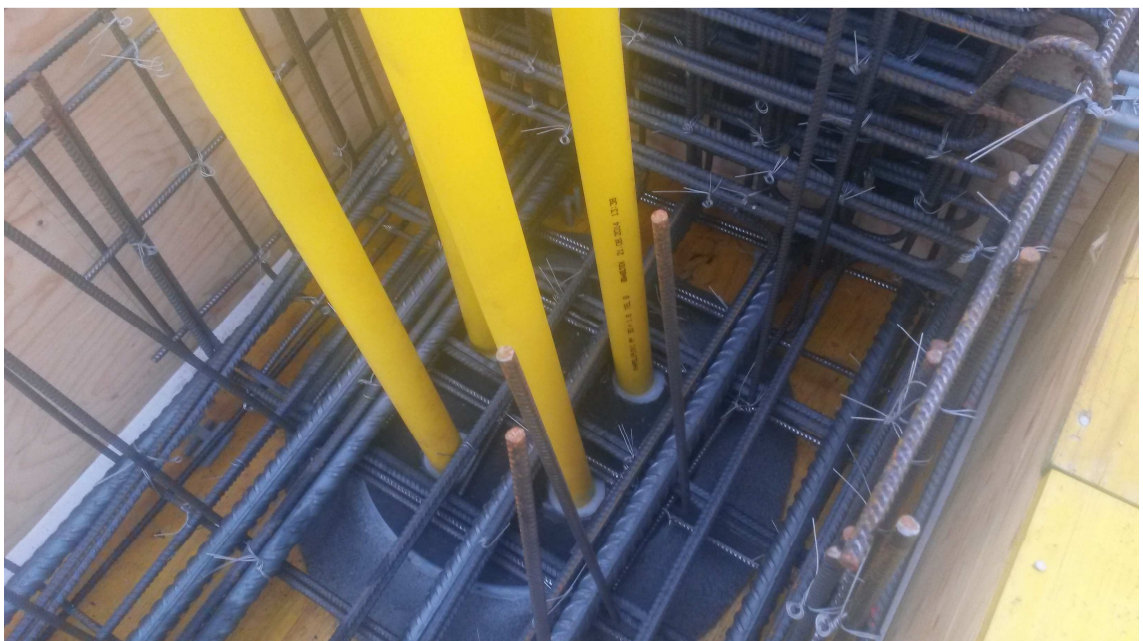
Varsinaisen holvimuotin rakentamisen lisäksi pääurakoitsijalle jäi tutkittavissa kohteissa toteutettavaksi holvin rakentamiseen liittyvät avustavat työt. Näitä töitä olivat muun muassa laakerikumien asennus, tapituksien putkitus, kaivojen asennus, varauksien teko, muottipintojen öljyäminen sekä muottipinnan siivous. Näiden aputöiden toteutuksen onnistuminen on hyvin tärkeässä osassa kokonaisuuden onnistumisen kannalta, ja niitä tekemään on syytä varata vähintään kahden henkilön työryhmä, riippuen hieman edellä mainittujen töiden kokonaismäärästä.



Kuva 4. Pilarin laakerointi ja tappien putkitus Jätkäsaaren työmaa (tässä kohteessa tappeja ei valettu kiinni jälkikäteen, joten putkitus ulotettiin vain 50mm tappien yläpinnasta yli)

Käytännössä kaikki nämä edellä mainitut työvaiheet on suoritettava muotin rakennuksen ja raudoituksen välissä, minkä takia nämä työt ovatkin luonteeltaan aikataulua taidistavia töitä, joihin on syytä suhtautua jo työsuunnitteluvaiheessa vakavasti.

Näihin työvaiheisiin sisältyy myös paljon sellaisia teknisiä yksityiskohtia, jotka työnjohtajan on hyvä tuntea ja joista rakennesuunnittelijan tulisi antaa riittävän kattavat ohjeet. Esimerkkeinä näistä yksityiskohdista ovat laakerikumien oikea mitoitus ja mahdollisten kaivojen paikalleen asennus. Laakerikumia paikalleen asennettaessa ja sitä mitoitettaessa on syytä ottaa huomioon, että sen tulisi olla niin hyvin kiinnitettynä pohjaansa, ettei se pääse valun aikana nousemaan ylös. Laakerikumi välittää valun jälkeen holvista tulevan massan alla olevalle pilarille tai muulle tukipinnalle. Laakeria mitoitettaessa olisi hyvä muistaa, että esimerkiksi pilarin sisällä olevan raudoituksen ulkopuolella on tyypillisesti vähintään 35 mm suojabetonia, joka suuren rasituksen alla halkeaa herkästi. Tämän takia laakerikumi olisi hyvä mitoittaa aina niin, ettei se kohdistaisi holvista tulevaa painoa suojabetonin päälle, vaan raudoitetuille osalle. Tämän takia esimerkiksi Kivikon työmaalla halkaisijaltaan 500 mm:n suuruisten pilareiden päälle asennetut laakerikumit toteutettiin 460 mm:n suuruisina. Tällä tavoin pilarin ulkokehän uloimmalle 20 mm:lle jäi joka puolella alue, johon ei kohdistu voimia holvista. Tällä tavoin tehtäessä on kuitenkin muistettava peittää näkyviin jäävä betoni jollain riittävän elastisella materiaalilla, kuten solukumimatolla, jottei valettava betoni ole suoraan pilarin betonia vasten (kuva 5).



Kuva 5. Pilarin laakerointi ja tappien putkitus Kivikon työmaalla. Pilarin pyöreä laakerikumi on halkaisijaltaan 40 mm pienempi, kuin pilari itsessään. Tämä johtuu siitä, että kun pilarin halkaisuteräk-

sien ympärillä on 35 mm suojabetonia, aiheuttaisi yhtä leveä laakerikumi mahdollisesti pilarin pään halkeamisen halkaisuteräksien ulkopuolelta. Laakerikumin ulkopuolelle jäävä osa betonista peitetään irrotuskaistalla, jottei valettava betoni pääse ottamaan tukea suoraan pilarin betonista, vaan voima välittyy laakerin kautta.

Kaivojen paikalleen asentaminen on toinen tarkkuutta vaativa työsuorite, joka täytyy saada tehtyä holvimuottityön ja raudoitustyön välissä. Kaivojen tulisi olla sijoitettuna holvin kaatojen kannalta juuri oikeaan, suunnittelijan määrittelemään paikkaan, ja erityisesti niiden korkoaseman tulisi olla tarkalleen oikea. Kaivojen kiinnityksen tulisi olla myös niin vahva, että ne eivät pääse valun aikana liikkumaan paikaltaan. Tutkittavissa kohteissa kaivojen asennus päätettiin suorittaa kuvan osoittamalla tavalla niin, että kaivon laippojen alle asennettiin kahteen riviin riittävän korkeita uppokantaisia ruuveja, joiden päälle kaivo saatiin asennettua korkoonsa. Kaivon kiinnitys vielä lopuksi varmistettiin asentamalla kaivon läpi niin sanottu kiripuu, joka kiinnitettiin holvin alapuolelle vielä kiinni, ja näin ollen kaivo ei päässyt nousemaan myöskään ylöspäin. (Kuva 6)

Betonin pääsy kaivoon olisi myös suotavaa estää valun aikana. Tätä asiaa ei saisi kuitenkaan varmistaa niin, että teippaa esimerkiksi muovikalvon kaivon yli, sillä betonin ja kaivon kannen väliin ei saisi jäädä ylimääräistä rakoa. Betonin kaivoon pääsyä estämään varten voi kaivoon asentaa esimerkiksi solukumipaloja tai muuta täytettä jotka estävät betonin tarttumisen kaivon rakenteisiin (kuva 6). Jos valettavan holvin päällä tulee olemaan rakennuksen katto, tulee kaivon todennäköisesti olla varustettu omalla kermilaipalla, johon vesikaton huopa voidaan aikanaan liittää. Tämän tyyppisen kaivon asennuksessa tulisi ottaa huomioon, että kaivossa kiinni oleva huopa ei saisi jäädä valun sisälle, vaan se pitää esimerkiksi teipata nippuun kaivon päälle.



Kuva 6. Yksi mahdollinen tapa asentaa kaivo paikalleen. Tässä on kyseessä ritiläkaivo, joka tulee toimimaan ylemmän kerroksen lattiakaivona. Kaivon laipan alle on porattu viisi 180 mm pitkä ruuvia, joiden päällä kaivo lepää. Lisäksi laipan reunoilta on asennettu sähköputket, joiden tehtävänä on kalliistaa laippaa niin, että se johdattaa mahdollisen kaivon vierelle pääsevän veden kaivon sisälle. Lopuksi kaivo on vielä kiinnitetty kiripuulla kiinni, ettei se pääse nousemaan valun aikana ylös.

Holvin kantaviin rakenteisiin on tyypillisesti määritelty asennettavaksi jokin määrä tappeja, jotka joudutaan irrottamaan holvista ainakin siihen asti, että punosten jännitystyö on suoritettu. Tätä varten tapit täytyy irrottaa valusta suunnittelijan määrittelemällä putkitusmenetelmällä. Putkituksen yksityiskohtiin vaikuttaa kaikista suurimmin se, halutaanko putket juottaa jälkikäteen kiinni juotosmassalla vai halutaanko niille jättää vapaa liikkumatiila johonkin tiettyyn suuntaan. Jos jälkikäteen tehtävää juotosvalua ei ole määritelty, on putkien pituus syytä mitoittaa niin, että ne jäävät täysin valun sisälle, mutta kuitenkin vähintään 50mm tapin yläpinnan yläpuolelle. Näin putkitus ei aiheuta ongelmia holvin vedenpitävyyden suhteen, mutta se ei kuitenkaan estä holvin liikkumista



Kuva 7. Laatan irrotus pystyrakenteista irrotuskaistalla, sekä kantavista pinnoista laake-reilla. Lisäksi tappien putkitus, joilla ne irrotaan valusta, ja juotetaan jälkikäteen kiinni holviin, kun punokset on jännitetty.

suunnitellulla tavalla. Jos putkituksen halutaan sallivan holville valun jälkeen liikettä vain johonkin tiettyyn suuntaan, on putkituksessa käytettävä jotakin muodoltaan neli-kulmaista putkea. Kivikon kohteessa tämän tyyppisiä putkituksia oli määritelty pari-kymmentä kappaletta ja tähän tarkoitukseen käytettiin Stalan valmistamaa RST-kanavaa, joka esti tapin liikkeen maanpaineen aiheuttamaan suuntaan, mutta salli holvin lämpölaajenemisen aiheuttaman liikkeen.

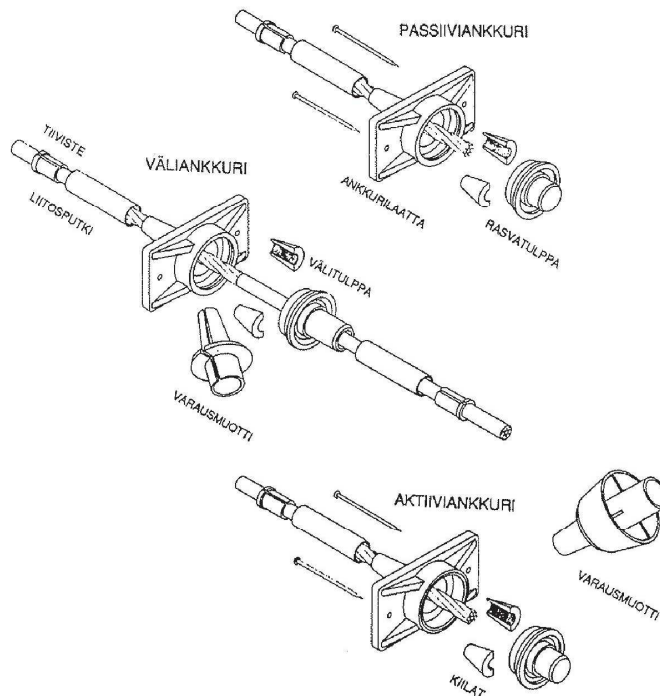
4.3 Raudoituksen ja punosten asennus

4.3.1 Lock-jännepunosmenetelmä

Lock-jännemenetelmä on Yhdysvaltalaisen General Technologies Inc:n kehittämä ja Insinööritoimisto Matti Janhusen Suomeen tuoma rakennusmenetelmä, joka perustuu tartunnattomiin jänteisiin. Betonin saavuttaessa määritelty lujuus punokset jännitetään suunnittelijan määrittelemään arvoon, jonka jälkeen ne ankkuroidaan ankkureihin kiinni kiilojen avulla. Kokonaiseen rakenteeseen sijoitetaan tyypillisesti useita kymmeniä tai jopa satoja yksittäisiä jännepunoksia, joista jokainen on suojattu muovikuorella, jonka sisällä on rasvakerros punoksen ympärillä. Rasvakerroksen ja muovikuoren ansiosta yksittäiset jännepunokset eivät tartu betoniin ja ne pääsevät liikkumaan vapaasti kuoren sisällä jännitystyötä tehtäessä. Punokset ovat kiinni ainoastaan toisesta päästä kiilaamalla passiiviankkuriin kiinni, ja jännitystyön jälkeen punos kiinnitetään myös aktiiviankkuriin kiinni käyttämällä samanlaista kiilaa. (4, s. 2 – 3.)

LOCK-JÄNNEMENETELMÄN ANKKURIEN OSAT

LIITE 4



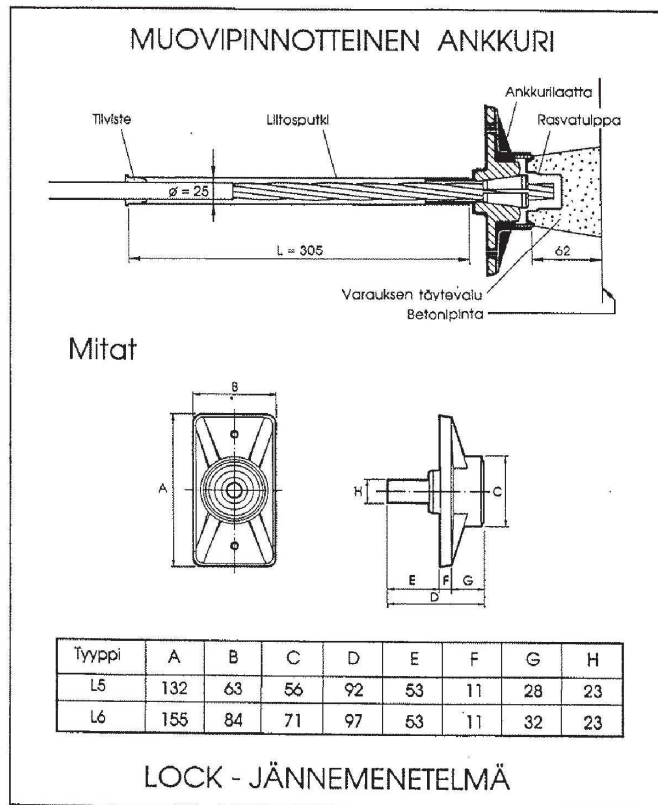
**INSINÖÖRITOIMISTO
MATTI JANHUNEN OY**
Melkonkatu 16 B
00210 HELSINKI
Puh.: (09) 682 1900
Fax: (09) 682 1233

Kuva 8 - Lock-jännemenetelmän ankkureiden osat. Tutkittavissa kohteissa on käytetty passiiviankkureita ja aktiiviankkureita. Väliankkureita ei tarvittu, sillä valualueet erotettiin liikuntasauvoilla.

Punosvaijerit asennetaan holviin samanaikaisesti raudoitusten kanssa ennen valua. Punoksien passiiviankkurit jäävät kokonaan valun sisään. Niiden päähän asennetaan kiila, joka pitää vaijerin paikallaan, ja sen jälkeen ankkurin päähän asennetaan vielä rasvatulppa, joka suojaa vaijeria korroosiolta. Vaijereiden toinen pää kulkee aktiiviankkurin läpi valun reunasta ulos, josta betonin kovettumisen jälkeen suoritetaan varsinainen jännitystyö. Kun jännitystyö on suoritettu, asennetaan myös aktiiviankkuriin metallikiila, jonka asettuessa vaijeri pääsee palautumaan noin 9 mm, jolloin vaijeriin jää sen lopullinen jännevoima. Passiiviankkurin kiila antaa jännitysvaiheessa 3 mm:n liukuman, joka on suunnitteluvaiheessa myös otettava huomioon (kuva 8) (4, s. 6).

Raudoitus- ja punosasennustyön yhteensovittaminen on tärkeää suunnitella huolella ja suorittaa juuri oikeassa järjestyksessä, jotta mikään työvaihe ei muodostuisi liian hankalaksi toteuttaa. Tätä asiaa selostetaan tässä työssä myöhemmin tarkemmin.

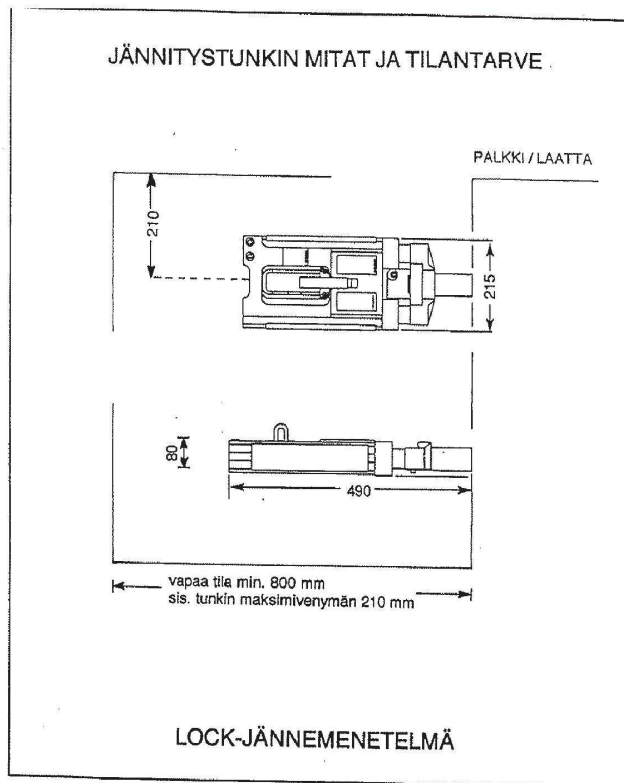
Punosasennuksessa tarvittavia osia ovat ankkureiden erilaiset osat ja niihin tarvittavat työkalut, varsinaiset punosvaijerit sekä vaijereiden purkutelineet. Varsinkin vaijerit ja niiden purkutelineet hyvin raskaita käsitellä (täysi vaijerikela ja teline painaa noin 2 500 kg). Tämä on syytä ottaa huomioon jo työtä suunniteltaessa, kun päätetään käytettävästä nostokalustosta. Vaijereiden katkaisua varten vaijerin purkuteline on saatava työtä varten sopivaan paikkaan, mikä voi vaatia jopa suurenkin nosturin käytettävissä olemista riippuen siitä, kuinka lähelle nosturi saadaan telineen purkupaikkaa. Vaijereiden katkaisua varten voidaan purkutelinettä joutua siirtämään työn aikana useampiin paikkoihin, ja myös yksittäisen kelan loppuessa telineestä tarvitaan kelan vaihtamiseen riittävän suurta nostokalustoa. Punosurakoitsija tyypillisesti huolehtii itse kaikista erikoistyökaluista, joita ankkureiden asentamiseen tarvitaan, mutta nostokalusto jää usein pääurakoitsijan huolehdittavaksi.



Kuva 9. Muovipinnoitteisen ankkurin kaaviokuva.

4.3.2 Menetelmän edut

Jälkijännitetyn rakenteen suurimmiksi eduiksi mielletään hoikka rakenne sekä nopea rakennussykli. Punoksien jännittämisen jälkeen rakenne ei vaadi ylimääräistä jälkituenta, vaan rakenteen koko hyötykuorma on käytävissä heti jännitystyön valmistuttua. Ainoastaan ylemmän holvin valun aikaisesti rakenteelle voidaan määritellä vielä ylimääräinen jälkituenta, kun kanteen kohdistuva kuorma ylittää rakenteen hyötykuorman hetkellisesti hieman suuremmin. Hoikka rakenne vähentää suorien betonimenekkien lisäksi matalamman kerroskorkeuden ansiosta rakennuksen ulkovaipan materiaalikus-tannuksia. Hoikat rakenteet mahdollistavat myös tavanomaista betonikansirakennetta pitemmät jännevälit, joista on hyötyä erityisesti pysäköintilaitoksissa ja teollisissa rakennuksissa, sillä rakennetta kannattelevien pilareiden ja seinien väliin jää enemmän vapaata tilaa.



**INSINÖÖRITOIMISTO
MATTI JANHUNEN OY**
Melkonkatu 16 B
00210 HELSINKI
Puh.: (09) 682 1900
Fax: (09) 682 1233

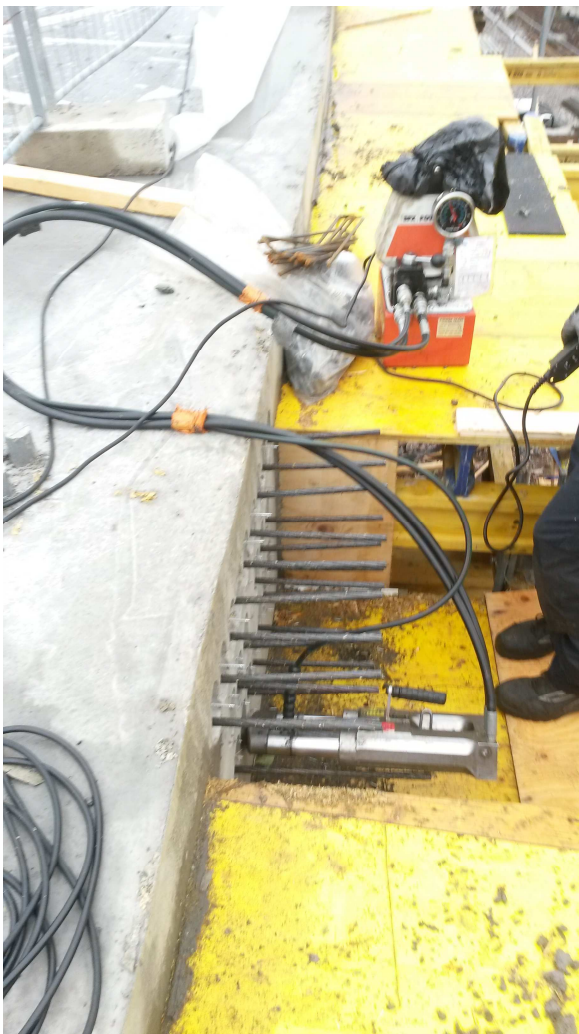
Kuva 10. Jännitystunkin kaaviokuva. Kuvassa on esitetty tunkin mitat, ja tunkin vaatiman tilan minimimitat jännitystyötä tehtäessä.

Jälkijännitetyt rakenteet mahdollistavat myös perinteisiä rakenteita monimuotoisempia muotoja rakenteelta, mikä antaa suunnittelijoille aiempaa vapaammat kädet muotoilun suhteen (liite 2).

Tartunnattomien jänteiden pohjalle suunniteltujen holvirakenteiden suunnittelu vaatii hyvin erikoistunutta osaamista, eivätkä rakenteen lujuuksiin liittyvät laskelmat yleensä kuulu työnjohtajan osaamisalueeseen. By 27-normisto on kuitenkin antanut ohjeet tartunnattomien jänteiden käyttöön Suomessa, ja se antaa muun muassa ohjeet vaijereissa ja niiden suojauksissa käytettäville materiaaleille. Käytettävillä punosvaijereilla tulee olla olemassa voimassa oleva varmennettu käyttöseloste, jonka ohjeiden mukaisesti vaijerit tulee asentaa holviin. Vaijereiden suojaukseen käytetty muovi tai kumikuori tulee olla laadultaan sellaista, ettei se läpäise vettä tai vesihöyryä. Se ei saa myöskään luovuttaa itsestään betonia vaurioittavia kemikaaleja. PVC:n käyttäminen vaijerin suojaeroksena on kielletty. Vaijerin ja muovikuoren välissä olevalle rasvalle on annettu määritelmä, että sen täytyy olla tarkoitukseen sopivaa kovettumatonta ainetta. (5.)

4.3.3 Työn aloittaminen

Ennen rauditus- ja punostyön aloittamista on erityisen tärkeää suunnitella huolellisesti logistiset järjestelyt liittyen asennustyöhön, ja sopia eri työryhmien kanssa tavaran varastoinnista niin, että se palvelee asennustyötä mahdollisimman tehokkaasti. Nosturikaluston saatavuus ja aikataulu tulee sopia eri materiaalitoimittajien kanssa, ja raudat ja punokset tulee pyrkiä sijoittamaan heti tässä vaiheessa mahdollisimman pitkälti sellaisiin paikkoihin, että käsin tehtävät siirrot myöhemmässä vaiheessa jäävät mahdollisimman pienelle osalle.



Kuva 11. Punosvaijereiden jännitystyötä Kivikon työmaalla.

Jätkäsaaren toteutetussa kohteessa logistiset vaikeudet olivat erityisen suuressa osassa työn onnistumisen kannalta, sillä kansi kattaa koko sisäpihan, ja rakentamisen ensimmäisessä vaiheessa samalta pihalta tehtiin samaan aikaan ympäröivän raken-

nuksen elementtiasennustöitä. Toisaalta ensimmäisessä vaiheessa siirtoihin oli mahdollista hyödyntää torninosturia tavarankierron siirtoihin, mikä helpotti tavarankierron siirtoja. Kannen rakentamisen toisessa vaiheessa siirrot tehtiin autonosturilla niin, että kaikki raudotteet ja punokset nostettiin kannen valmiille osalle ja muihin sovittuihin paikkoihin yhden päivän aikana, ja loput materiaalien siirroista hoidettiin tämän jälkeen käsin.

Varsinainen raudoitus- ja punosasenustyö alkaa kuitenkin asentamalla raudoituskorkeet ja työteräkset, joiden varaan alimmat pääteräkset tai haat sitten asennetaan. Tutkittavissa kohteissa ensimmäisenä asennettiin palkkien raudoitusvälkkeet, työteräkset, palkkihaat ja alapinnan pääteräkset. Ennen punosasenustyön aloittamista suoritettiin myös palkkien päiden työsaumateräksien asennus. Jännepunosten asennuksen ensimmäisessä vaiheessa asennetaan palkkien päiden aktiiviankkurit ennen raudoitus-työn aloittamista. Raudoittajien asennettua palkkien pohjahaat sekä palkkien alapintojen pääteräkset aloittaa punosasenustyöryhmä asentamalla punosten asennusteräkset, joiden varassa punokset saadaan asennettua oikeaan korkeuteen.

Jätkäsaaren työmaan kaltaisessa kohteessa, missä yhden palkin pituus on noin 50 metriä ja yhdessä lohossa on noin 1200 m² muottipintaa, sopiva aloitusväli muottityön ja raudoitus-työn välillä on noin yksi viikko tai puolet muottityön kestosta, ja raudoitus-työn on hyvä edetä vähintään kahden palkin verran pohjarautojen osalta, ennen punos-työn aloittamista.

4.3.4 Asennustyön järjestys

Jälkijännitettävän holvin raudoitus- ja punosasenustyön yhteensovittaminen on hyvin tärkeää suunnitella huolella, ja näitä töitä tulee johtaa hyvin tarkasti, niin että kumpikin työryhmä etenee omassa työssään juuri oikealla tahdilla toiseen työryhmään nähden. Varsinkin punoksien ankkureihin liittyy tyypillisesti hyvin ahtaita detaljeja, joiden raudoittaminen vasta punoksien asentamisen jälkeen on hyvin paljon vaikeampaa kuin oikein tehtynä raudoittajan ja punosasantajan yhteistyössä punosten asentamisen aikana. Samalla tavalla on jokaisen työvaiheen alkaessa mietittävä, jääkö esimerkiksi seuraavaksi asennettavien punoksien alle joitakin sellaisia teräksiä, jotka on helpompi asentaa ennen punosten asentamista.

Insinööritoimisto Matti Janhunen, joka toimi kummankin tutkittavan kohteen raudoitus- ja punossuunnittelijana sekä punosasenustusurakoitsijana, on laatinut jälkijännitettäviä

holveja varten työjärjestyslistan (liite 1). Tämän listan pohjalta sekä tutkittavista kohteista kerätyn tiedon ja osaamisen perusteella käydään nyt läpi jälkijännitetyn laattapalkiston toteutuksen eri vaiheet.

Ensimmäisessä vaiheessa muottityö on vietävä niin pitkälle, että raudoitus- ja punostyöryhmät voivat aloittaa omat työnsä, niin että kullakin työryhmällä on riittävän paljon työskentelytilaa omiin töihinsä. Lisäksi aloitusajankohta olisi hyvä ajoittaa niin, että raudoitus- ja punosasenustyöryhmät pääsevät aloittamisen jälkeen etenemään rauhassa loppuun asti ilman muottityöryhmästä aiheutuvia katkoksia. Raudoitus- ja punostyö aloitetaan palkkien teräksien ja punoksien asentamisella. Tämän takia muottityöryhmän on asennettava pohjamuotin lisäksi vähintään palkkien päätystopparit ennen raudoitus- ja punostyöryhmän aloitusta.

Ennen raudoitus- ja punosasenustöiden aloitusta on lisäksi huolehdittava vähintään palkkien kohdalla laatan irrottamisesta alapuolisista tukipinnoista laakereilla ja ympäröivistä pystyrakenteista irrotuskaistalla. Pilareiden päässä ja muilla tukipinnoilla mahdollisesti olevat tapitukset on putkitettava, niin että nekin jäävät irti holvivalusta. Muottipinta on puhdistettava kaikesta ylimääräisestä roskasta. Lisäksi viimeistään tässä vaiheessa on selvitettävä, voidaanko muotissa käyttää muottiöljyä, joka on levitettävä kullekin alueelle ennen raudoitustyön aloittamista. Näiden lisäksi on huolehdittava muotin reuna-alueiden kaiteista.

Ennen raudoitustyön aloittamista on punostyöryhmän asennettava vielä vaijeripunoksi- en aktiiviankkurit stoppareihin kiinni (kuva 4, kuva 5). Tämän jälkeen raudoitustyöryhmä voi aloittaa palkkien pohja- ja päätyhakojen, sekä palkkien alapintojen pääteräksien asentamisen.

Raudoittajien asentaessa palkkien alapintojen teräksiä voi punostyöryhmä jo aloittaa palkkien punoksien katkaisemisen mittoihinsa. Jos nämä kaksi työvaihetta päätetään suorittaa samanaikaisesti, on kuitenkin katsottava, että muotin päällä on riittävästi työtilaa kummallekin työryhmälle. Jos vaikuttaa siltä, ettei kumpikin työryhmä mahdu toimimaan samanaikaisesti palkkien ympärillä, on punoksien leikkaaminen syytä aloittaa vasta siinä vaiheessa, kun raudoitustyöryhmä on saanut asennettua sovitun määrän palkkien alapintojen teräksiä.

Raudoitustyöryhmän saatua sovitun määrän palkkien alapintojen teräksiä valmiiksi, voi punostyöryhmä aloittaa omien työautojensa sekä punoksien asentamisen. Punoksien asentamisen aikaan on hyvä, että vähintään yksi henkilö raudoitustyöryhmästä työskentelee punostyöryhmän kanssa yhteistyössä, ja asentaa punoksien ankkureiden lukoteräkset paikoilleen samalla kun punoksia asennetaan.

Punostyöryhmän saadessa palkkien vaijeripunoksia asennettua, voi raudoittaja aloittaa jo laatan alapintojen teräksien, palkkien yläpintojen pääteräksien ja palkkihakojen hatujen, sekä laatan reunapussien asennuksen. Jos aikataulu halutaan rakentaa tiukaksi, voidaan tässä vaiheessa mahdollisesti lisätä raudoitustyöryhmän kokoa, jos palkkien rauditus ei vielä ole aivan valmis. Tämä on kuitenkin asia, joka tulee miettiä tapauskohtaisesti kohteen laajuuden mukaisesti. (kuva 12.)



Kuva 12 - Jätkäsaaren holvilla aloitettu laatan alapintojen terästen asennus

Kun kaikki laattojen alapintojen verkot, palkkien yläpintojen pääteräkset, sekä palkkien hakojen hatut on asennettu, voi punosasennustyöryhmä aloittaa kentän punoksien leikkaamisen sekä työteräksien ja punoksien asentamisen.

Raudoitustyöryhmän on syytä pyrkiä asentamaan ensisijaisesti kaikki laattojen alapintojen verkot sekä palkkien yläpintojen teräkset, sillä ainakin tutkittavien kohteiden kal-

taisissa rakenteissa laatan reunojen hakastuksia pystytään asentamaan samanaikaisesti punostyöryhmän asentaessa laatan punoksia. Reunojen hakastuksien lisäksi yhden henkilön raudoitustyöryhmästä on hyvä keskittyä vaijereiden ankkureiden lukkotäräksien asennukseen yhteistyössä vaijeriasentajien kanssa. Kun näin toimitaan, raudoitustyöryhmälle ei synny aikatauluun ylimääräistä taukoa sillä aikaa, kun punostyöryhmä asentaa laatan punoksia.

Kun laatan punokset on asennettu, voidaan laatan yläpinnan verkon, mahdollisten palkkien yläpintojen lisätäräksien sekä holviin yläpuolisia rakenteita varten asennettavien tartuntojen asennus aloittaa.

Yläpintojen täräksien asentamisen jälkeen suoritetaan raudoitus- ja punostyön tarkastus. Jos tarkastuksessa ei ilmene syytä suorittaa lisäyksiä tai muutoksia punoksiin tai raudoituksiin tai muita puutteita, voidaan holvi valaa.

Valuun liittyvää tekniikkaa käydään läpi myöhemmin tässä työssä. Valuun on lujuuden seuranta varten kuitenkin syytä asentaa lämpötilanseurantalaitteisto, jonka perusteella pystytään määrittelemään betonin lujuus valun jälkeen. Tämän tiedon perusteella pystytään määrittelemään oikea hetki vaijereiden jännittämistä varten. Valun lämpötilanseurantalaitteistoja ja tämän tiedon perusteella suoritettavaa lujuuslaskentapalvelua tarjoaa esimerkiksi Rudus Oy, joka toimii myös tutkittavissa kohteissa yhteistyökumppaninamme.

Valua seuraavana päivänä on syytä aloittaa välittömästi stoppareiden purku ja työtasojen rakentaminen vaijereiden jännittämistä varten. Holvin alapuolista tuentaa ei saa missään nimessä purkaa ennen jännitystyön loppuun saattamista, mutta huolellista jälkihoitoa sekä muotin purun valmistelevia töitä voidaan kuitenkin jo tehdä ennen muotipurkuluvan saantia.

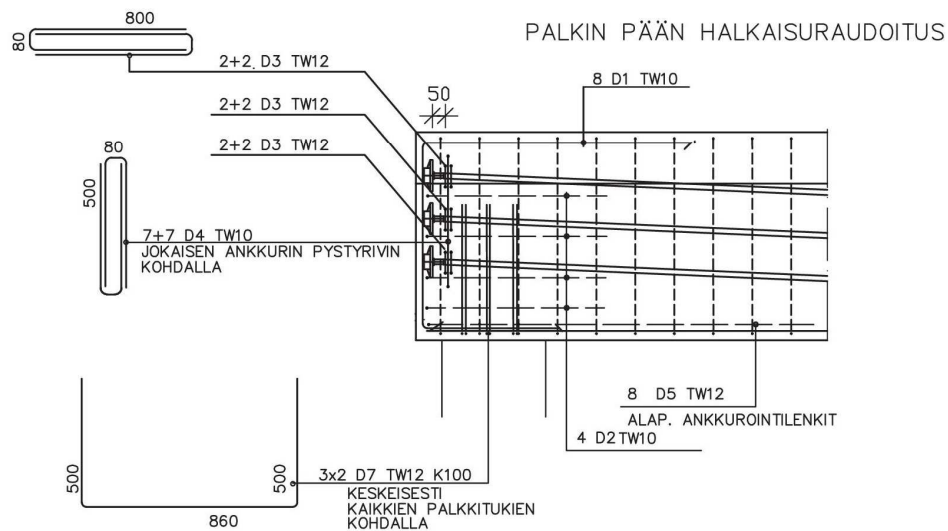
Pääurakoitsijan puolelta holvin teosta vastaavan työnjohtajan on syytä muistaa koko holvin rakentamisen prosessin aikana huolehtia työturvallisuuden toteutumisesta sekä laadunvalvonnasta. Kaikkien leikkauksien, betonin suojaetäisyyksien, varauskuvien sekä muiden tärkeiden yksityiskohtien toteutuminen suunnittelijan tarkoittamalla tavalla on ensisijaisesti pääurakoitsijan vastuulla. Jos raudoitustarkastuksessa huomataan puutteita esimerkiksi raudoitusvälikkeiden korkeudessa, voidaan ne pahimmillaan joutua vaihtamaan. Tämän kaltaiset korjaustoimenpiteet tulevat aina hyvin kalliiksi. Lisäksi

on aina olemassa riski, ettei puuttuvia yksityiskohtia huomata työmaalla edes tarkastusvaiheessa. Tämä aiheuttaa riskin, ettei betonoitu ja jännitetty rakenne kestäkään kuormaa suunnitellulla tavalla, ja jopa ihmishenkiä voi olla tämänkaltaisessa tilanteessa uhattuna.

4.3.5 Punostyöhön liittyvät detaljit

Palkin pään raudoitus

Palkkien päihin asennetaan tyypillisesti ankkureita varten pystyyn ja vaakaan lukkote-räkset, jotka ottavat vastaan ankkurin betoniin aiheuttaman voiman punoksien jännityk-sen takia. Lisäksi palkin pohjahakastusta on lisätty päädysssä.



Kuva 13. Esimerkki palkin pään punoksista ja raudoituksista



Kuva 14. Palkin pään raudoitus ja punoksien aktiiviankkurit Jätkäsaaren työmaalla. Kuva punoksien asentamisen jälkeen.



Kuva 15. Palkin pään raudoitus ja punoksien passiiviankkurit Jätkäsaaren työmaalla. Passiiviankkurit jäävät kokonaisuudessaan valuun sisälle.



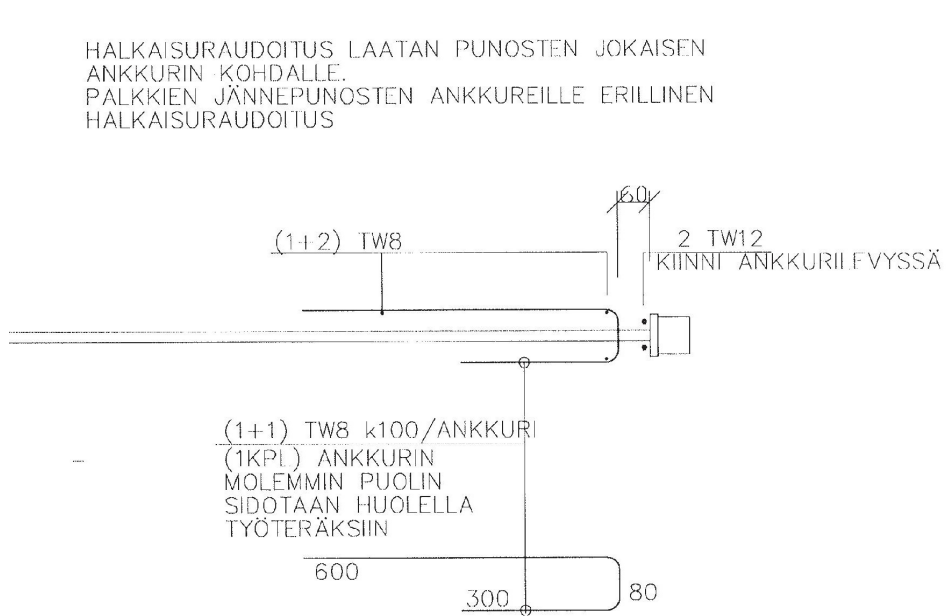
Kuva 16. Palkin pään raudoitus, passiiviankkurit ja putkitus Kivikon työmaalla.



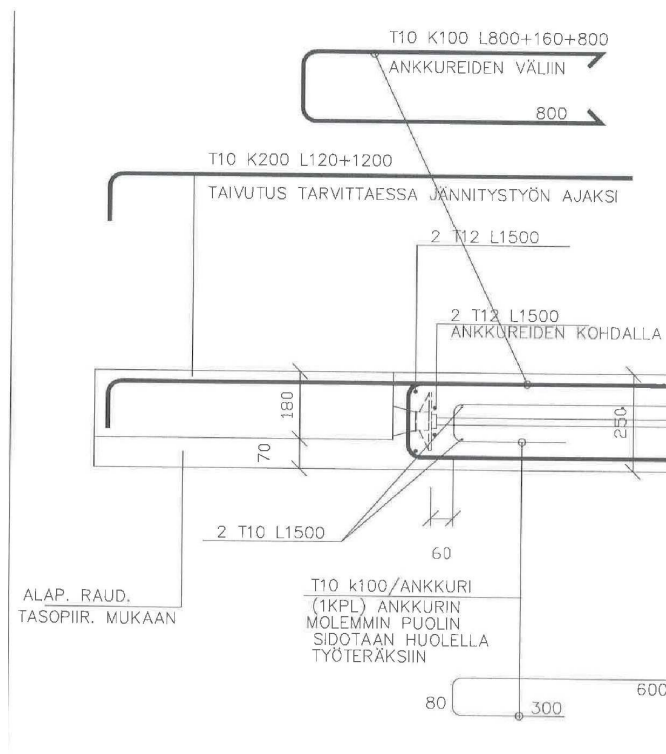
Kuva 17. Palkin pään raudoitus ja punoksien aktiiviankkurit sekä pilarin tappien putkitus.

Laatan punoksien ankkureiden halkaisuraudoitus

Myös laatalle olevien punoksien ankkureita varten asennetaan lisähakastus ottamaan jännitysvoimista aiheutuvia voimia vastaan.



Kuva 18. Laatan punoksien halkaisuraudoitus Kivikon työmaalla



Kuva 19. Laatan jännitysvaraus ja aktiiviankkureiden halkaisuraudoitus Jätkäsaaren työmaalla

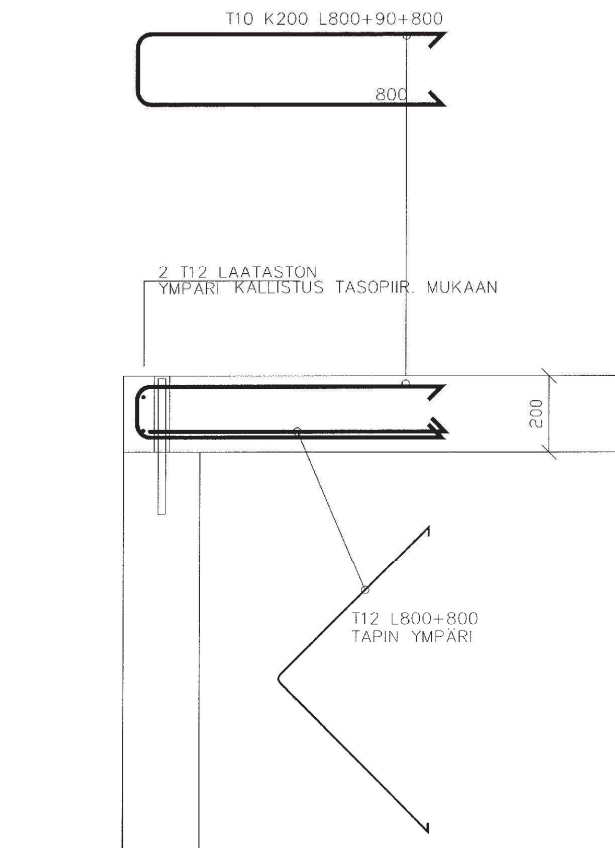


Kuva 20. Laatan jännitysvarauslaatikoita siinä vaiheessa, kun kentän punokset on asennettu paikalleen. Laatikot on ripustettu roikkumaan seinästä, sillä niiden alle valetaan 80 mm paksu kerros betonia holvin valun yhteydessä. Tämä parantaa kannen vedenpitävyyttä.

4.3.6 Raudoitukseen liittyvät detaljit

Laatan reunan hakastus

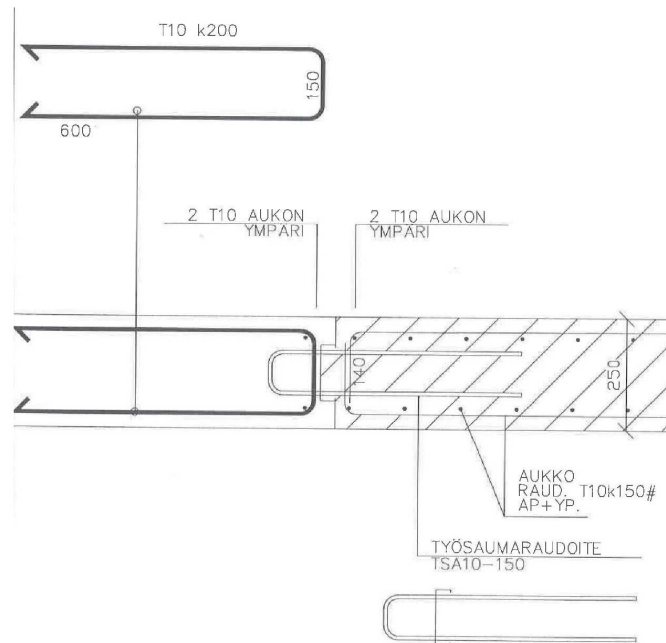
Laatan reunalle asennetaan ympäriinsä hakastus, joiden kulmiin tyypillisesti asennetaan vielä hakastuksen pääteräkset. Kivikon työmaalla kantavista seinistä tuli ylös tappeja, joiden kohdalle oli vielä piirretty kulmaan taivutettu teräs (kuva 21).



Kuva 21. Laatan reunan hakastus Kivikon työmaalla

Työsaumaraudoite

Jos laattaan joudutaan jättämään työsaumaraudoitteita esimerkiksi punoksien jännittämistyötä varten, on tätä tarkoitusta olemassa erilaisia valmist tuotteita (kuvat 22 ja 23).



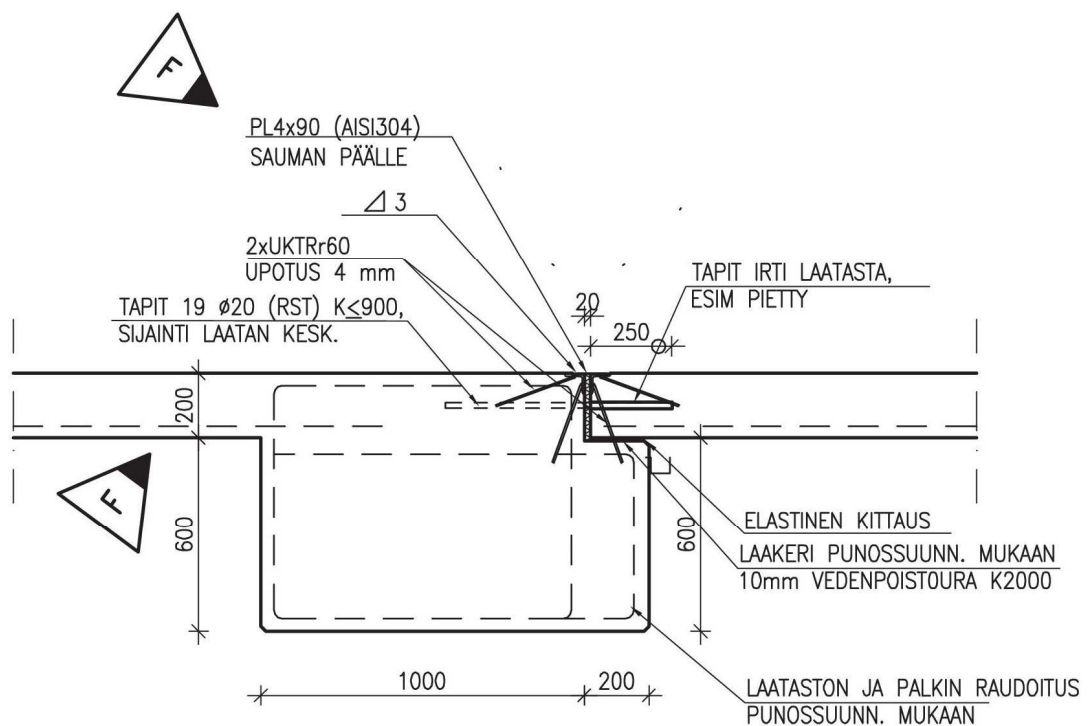
Kuva 22. Laatan työsaumaraudoite Jätkäsaaren työmaalta



Kuva 23. Laatan työsaumaraudoite avattuna Jätkäsaaren työmaalla. Palkkien päihin jouduttiin jättämään punoksien jännittämistä varten varaukset. Kun punokset on jännitetty, avataan työsaumarautojen teräkset ja valetaan palkin pään ja seinän väliin jäävään osaan vielä 250 mm paksu laatta. Kun palkin pää ei ulotu seinään asti, niin jää laataston alapuolelle palkin ja seinän väliin sopiva tila, mihin saadaan tekniikka kulkemaan ilman, että sen takia joudutaan vähentämään autohallissa käytävissä olevaa ajokorkeutta.

Liikuntasauaman raudoite

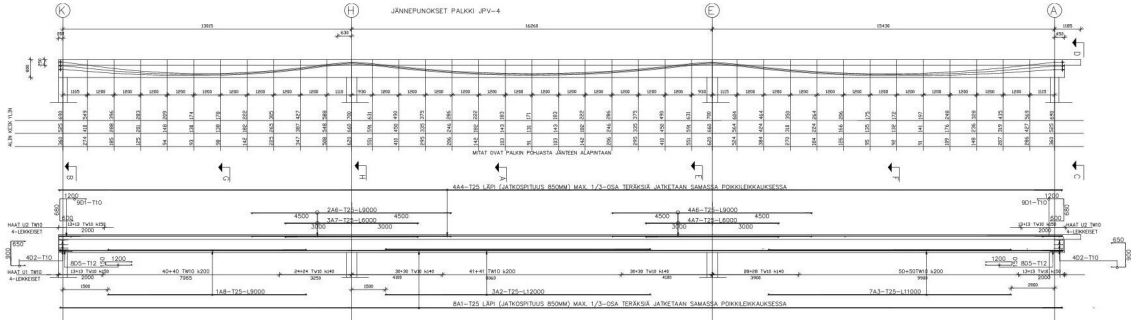
Holvien liikuntasaumoihin suunnitellaan tyypillisesti asennettavaksi vaakatappeja, jotka kiinnitetään esimerkiksi ensimmäiseksi valettavaan lohkoon ja irrotetaan jälkimmäiseksi valettavasta lohkosta esimerkiksi pikeämällä ne (kuva 24). Lisäksi liikuntasauojen kohdalle voidaan esimerkiksi määritellä asennettavaksi kulmarautoja, tai erilaisia valmiita liikuntasauमारautoja. Tiettyjen valmisosien kanssa voidaan jopa saavuttaa vettä pitävä liikuntasauमारakenne.



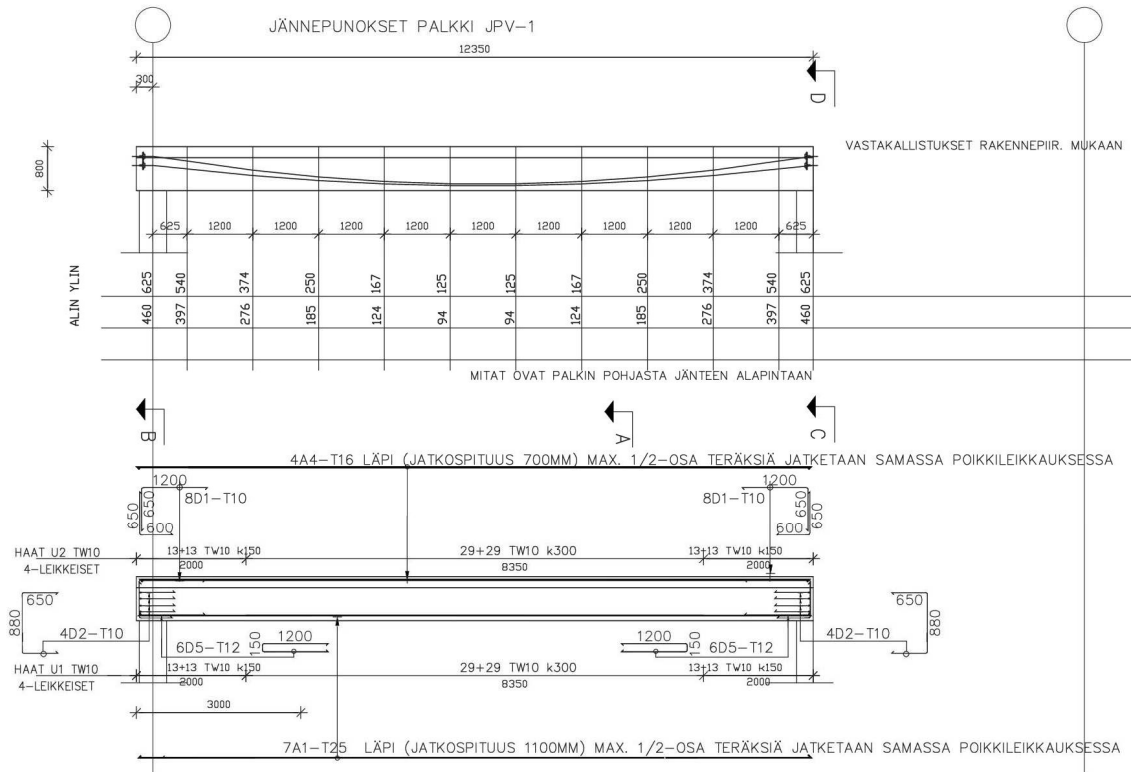
Kuva 24. Liikuntasauaman kulmarauta ja tapitus Kivikon työmaalla

Palkkien raudoitus- ja punoskuva

Palkkien rakenteesta on tutkittavissa kohteissa ollut käytössä yhdistelmäkuvia, joissa on esitetty samanaikaisesti palkin vaijerit sekä raudoitus (kuvat 25 ja 26)



Kuva 25. Palkin punostus ja raudoitus Jätkäsaaren työmaalla



Kuva 26. Palkin punokset ja raudoitus Kivikon työmaalla

4.3.7 Raudoituksen ja punosten asennustyön valmistuminen ja tarkastus

Raudoitus- ja punosasennustyön valmistuessa kutsutaan koolle raudoitus- ja punosasennustyön tarkastus. Tähän tarkastukseen olisi hyvä kutsua paikalle vähintään laatan rakennesuunnittelusta vastaavat tahot, ja lisäksi tarkastuksesta on hyvä vähin-

tään informoida kohteen valvoja, rakennuttajan edustajia, teknisiä suunnittelijoita ja jos kohteen päärakennesuunnittelija on eri kuin punossuunnittelija, niin heidätkin olisi hyvä kutsua tarkastukseen.

Tarkastuksessa on hyvä käydä läpi vielä ainakin suojabetonietäisyydet, mahdolliset hieman erikoisemmat detaljit, varaukset, sekä laatassa olevien ulokkeiden kestävyys. Betonoinnin onnistumisen kannalta palkkien päät ovat tyypillisesti sellaisia paikkoja, jossa on hyvin suuri määrä terästä ja joihin kohdistuu punosten jännittämisen takia suuria voimia. Ne olisikin syytä käydä läpi, että betonia menisi terästen väliin riittävä määrä, jotta rakenne kestää jännitysvoimat suunnitellulla tavalla.

Kohteen betonoinneista on laadittava betonointisuunnitelma, jota täydennetään kunkin valun yksityiskohtien kanssa työn edetessä. Esimerkkejä betonointisuunnitelmaan tehtävistä lisäyksistä kuhunkin valuun erikseen ovat muun muassa käytettävä pumppauskalusto, pumppauskaluston sijainti, työryhmän koko, valun aloitusajankohta ja etenemisnopeus, valun jälkihoitomenetelmät sekä mahdolliset talvibetonointiin liittyvät asiat. Betonointisuunnitelma ja betonointipöytäkirja ovat hyvin tärkeitä asiakirjoja kohteen laatuasiakirjoissa. Jos rakenteeseen sattuisi tulemaan kohteen valmistumisen jälkeen joitakin ongelmia, voidaan näiden asiakirjojen perusteella arvioida, onko betonointityö suoritettu riittävällä tarkkuudella. (6, s. 56–57)

4.3.8 Punosten jännitys

Betonin saavuttaessa suunnittelijan määrittelemän punosten jännityslujuuden, voidaan punosten jännitystyö aloittaa. Jätkäsaaren kohteessa tämä lujuus oli 70 % 28 vuorokauden suunnittelulujuudesta K40 ($0,7 \times 40\text{kN} = 28\text{kN}$), ja Kivikon kohteessa vaadittu lujuus oli 70 % 28 vuorokauden suunnittelulujuudesta K45 ($0,7 \times 45\text{kN} = 32\text{kN}$).

Punosten jännittämistyötä varten on järjestettävä jännitystyön tekijälle riittävät työtasot, joiden päältä jännitystyö pystytään suorittamaan. Lisäksi jännittämistyössä tarvitaan tunkille sähkönsyöttö. Jännittämistyö aloitetaan poistamalla aktiiviankkureiden ja punosvaijereiden suojamuovit, jotta jännittämistyössä käytettävä tunkki saadaan asetettua paikalleen.

Punossuunnittelijan tehtävä on antaa joko kuvissa tai erillisessä selosteessa ohjeet punosten jännittämisyjärjestyksestä, jota punoksia jännitettäessä tulee noudattaa. Tällä

varmistetaan, ettei rakenteeseen pääse jännitystyön aikana syntymään epätasaisia jännitysvoimia, jotka voisivat aiheuttaa rakenteeseen esimerkiksi ylimääräisiä halkeamia.

Jännittämistyössä käytettävä tunkki vaatii tutkittavissa kohteissa syvyysuunnassa vähintään 800 mm tilaa, joka tulee ottaa huomioon rakennesuunnitteluvaiheessa. Kun vaijerissa saavutetaan suunnittelijan määrittelemä jännityshetken jännevoima, asennetaan vaijerin lukitsemista varten paikalleen lukituskiila, jonka asettuessa vaijeri palautuu 9 mm, ja vaijeriin jää lopullinen jännevoima.

4.3.9 Raudoitus- ja punostyön vaatimat nostot

Kaikista tehokkainta työskentelyn kannalta on pyrkiä pitämään riittävää nostolaitetta, esimerkiksi autonosturia, useampaan otteeseen tai jatkuvasti pitkin holvin rakennustyötä työmaalla. Nostot voi kuitenkin olla myös mahdollista hoitaa vähemmällä nostokaluston paikalla olemisella.

Jätkäsaaren työmaalla ensimmäisen lohkon nostoissa oli käytettävissä osa-aikaisesti runkoasennustöissä käytettävä torninosturi. Tämä mahdollisti kohtuullisen joustavia järjestelyitä nostojen osalta, eikä raudoitteita tarvinnut juurikaan siirtää käsin työmaan aikana.

Jätkäsaaren työmaan toisen lohkon aikana tilanne kuitenkin muuttui niin, että työmaalle oli mahdollista ottaa autonosturi ainoastaan raudoitus- ja punosasennustyön aloitusvaiheessa. Siellä päätettiin ottaa ensimmäisen lohkon päälle kaikki toisen lohkon tarvitsemat raudoitteet välivarastoon, josta ne siirrettiin käsin asennuspaikalle. Punosvaijerikelojen kanssa päätettiin toimia niin, että ensimmäisen valulohkon päälle nostettiin kaksi kokonaista vaijerikela, joiden laskettiin riittävän laatan punoksien tarpeisiin. Lisäksi alkuvaiheessa nostettiin yksi vaijerikela muotin päälle, josta saatiin hoidettua ensimmäisten palkkien vaijereiden katkaisut. Loput vaijerit saatiin katkaistua niin, että kela jätettiin sisäpihan sisäänajoväylälle, josta vaijeri vedettiin holville. Nämä järjestelyt toimivat muilta osin melko hyvin, mutta ainoastaan vaijereiden katkaisussa käytetty teline oli hieman haasteellinen saada siirrettyä laatan punoksien luokse keskelle holvia.

Kivikon työmaalla nostoja varten päätettiin ottaa koko ajaksi 100 tonnin autonosturi, koska sille todettiin olevan jatkuvasti nostoja. Muottityön valmistuttua ensimmäisen

valulohkon osalta jatkoi muottiryhmä toisen valulohkon muotin rakentamisella, ja rauditus- ja punostyöryhmät jatkoivat ensimmäisen valulohkon asentamista. Ensimmäisen valulohkon jännitystöiden valmistuttua muottiryhmä jatkoi toisen kerroksen kantavien seinien rakentamisella, ja rauditus- ja punostyöryhmät jatkoivat toisen valulohkon asentamisella. Näin voitiin todeta, että pysäköintirakennuksen nostoja palvelemaan tarvittiin vähintään kuudeksi tunniksi päivässä nosturia. Pysäköintirakennuksen rakentajien kanssa samanaikaisesti vieressä oli käynnissä väestönsuojan rakentaminen sekä kerrostalon perustustyöt, joita nosturi pystyi myös palvelemaan. Näiden tekijöiden lisäksi työmaan tilanne oli sellainen, että siellä ei ollut juurikaan mahdollisuuksia varastoida ylimääräistä kalustoa tai materiaaleja mihinkään, eikä esimerkiksi kurottajalla tai pienemmällä autonosturilla olisi ollut mahdollista toteuttaa nostoja, kun pysäköintirakennuksen nostoja pystyi suorittamaan vain yhdeltä puolelta rakennusta. Pisimmät nostoetäisyydet venyivät jopa 45 metrin pituisiksi, ja nostettavat kuormat olivat jopa neljän tonnin suuruisia.

4.4 Kannen betonointi

4.4.1 Betonoinnin suunnittelu ja tilaus

Jälkijännitetyt betonirakenteet ovat tyypillisesti ensimmäisen luokan betonirakenteita, jotka vaativat betonoitaessa ensimmäisen luokan betonityönjohtajan paikalla olemista. Myös kummankin tutkittavan kohteen kansirakenteet ovat ensimmäisen luokan betonirakenteita, joten niitä toteuttamaan Reposen oli ostettava betonointipalvelu sellaiselta yritykseltä, jonka palveluksessa toimii ensimmäisen luokan betonityönjohtaja.

Tällaisten rakenteiden valuista on laadittava myös erillinen betonointisuunnitelma, jossa on esitetty oleellimmat betonointiin liittyvät tekijät. Näitä tekijöitä ovat esimerkiksi betonointiin käytettävä kalusto, työryhmän koko, valutahti, valurintaman etenemisnopeus, jälkihoitomenetelmät sekä esimerkiksi valun pinnalle asetetut vaatimukset, ja niiden toteutustapa. (6, s. 56-57.)

Betonointityönjohtajan ja pumpparin kanssa on syytä käydä ennen valua läpi ainakin betonautojen ajoreitti, pumppuauton paikka, tarvittava pumpun pituus sekä valuryhmän tarvitsemat nostot valuun liittyen. Muita asioita, joita on syytä miettiä ennen betonoinnin aloittamista, ovat kohteen riittävä valaistus, työryhmän käytettävissä oleva sähkön- ja

vedensyöttö sekä turvalliset kulkureitit valupaikalle myös valun päättyessä. Näihin liittyen on tärkeää tietää valun aloitus- ja suunniteltu päättymisajankohta sekä valurintaman eteneminen, aloituspaikka, sekä päättymispaikka.

Betonointia suunniteltaessa on hyvä käydä myös läpi käytettävät betonityypit ja pohtia, saadaanko valu suoritettua riittävän laadukkaasti kyseisillä massoilla. Jälkijännitetyissä rakenteissa on etenkin palkkien päissä punosankkureiden läheisyydessä hyvin suuria määriä terästä ja vaijereita. Nämä paikat ovat samalla valun kannalta kaikista tärkeimpiä paikkoja onnistua, sillä niihin tulee aikanaan punoksia jännitettäessä ja sen jälkeen kohdistumaan hyvin suuria voimia.

Näiden asioiden lisäksi on syytä miettiä valmiiksi jokin varasuunnitelma esimerkiksi pumpun rikkoutumista varten. Lisäksi esimerkiksi säätiedotuksien seuraaminen valua edeltävinä päivinä on tärkeää, sillä valupäivän olisi hyvä olla poutainen, eikä pakkastaakaan saisi olla kovin paljoa (6, s. 59, 96.)

4.4.2 Betonoinnin aloittaminen

Betonitoimittajan kanssa on syytä sopia mahdollisimman totuudenmukainen valun aloitusajankohta, johon kaikkien osapuolien olisi syytä pyrkiä pääsemään. Betonivalu voidaan sopia alkamaan automaattisesti esimerkiksi niin, että ensimmäinen betoniauauto on työmaalla klo 6.00. Yleisesti on kuitenkin turvallisempaa sopia valun alkavan vasta puhelinsoitosta betonitehtaalte, niin että työmaalla on saatu kalusto varmasti omalle paikalleen, ja työryhmä muutenkin valmiuteen. Tällä tavalla vältytään ylimääräiseltä odottelulta valun alussa, ja betonimassa ei myöskään ehdi olemaan liian pitkään betoniau-tossa.

Vaikka betonointi olisikin sovittu alkavan puhelinsoitosta, on betoni kuitenkin tärkeää varata hyvissä ajoin etukäteen ennen valua, jotta betonitoimittaja pystyy varaamaan kyseiseen tarkoitukseen riittävän määrän kalustoa.

Betonoinnin alkaessa ja muutenkin koko valun ajan on tärkeää vahtia käytettävän betonimassan sopivuutta kyseiseen valuun ja yleisesti betonin riittävää laatua (kuva 27). Jos betonimassan laadussa ilmenee ongelmia, esimerkiksi massa on liian jäykkää, jotta siitä saadaan tehtyä laadukasta pintaa ja rakenteesta saadaan riittävän tiivis, tulee asiasta informoida välittömästi toimittavaa betonitehdasta ja tarvittaessa betonitoimit-

tajan laadunvalvontaa. Tässä tehokkain tapa on olla puhelinyhteydessä niihin tahoihin, jotka betonintoimittaja on ilmoittanut valun yhteyshenkilöiksi.



Kuva 27. 1-luokan betonirakenteissa laadunvalvonta on tärkeässä asemassa (Kuva Kivikon työmaan 1-kerroksen 1-lohkon valusta). Tämän betonin notkeus on S4/ 20 cm valuman tasoa.

Kokeneilla valuryhmillä ja niiden johtohenkilöillä on tyypillisesti hyvä tuntuma siihen, minkälainen massa on hyvää käsitellä, ja myös ensimmäisen luokan betonityönjohtajan ammattitaidon tulisi riittää määrittelemään, mikä on riittävän laadukasta massaa kyseiseen tarkoitukseen.

Betonointia suoritettaessa on ensiarvoisen tärkeää vahtia massan laadun lisäksi työryhmän työskentelyä, niin että betonin tiivistys tulisi suoritettua kaikkialla riittävällä tarkkuudella ja betonin pumppaus ei aiheuttaisi esimerkiksi betonimassan erottumista. Betonia ei saisi pudottaa pumpun päästä yli metrin korkeudelta muotin pinnalle, ja massaa ei saisi siirtää tärysauvan kanssa paikasta toiseen. Muotin kuormitus tulisi myös

ottaa huomioon valua suoritettaessa, ja valun tulisi edetä riittävän rauhallisena ja tasaisena rintamana, jotta muottiin ei synny kerralla liian suuria rasituksia, eikä ylimääräisiä valun aikaisia työsaumoja pääse syntymään (6, s. 69–71).

4.4.3 Betonoinnissa tarvittava kalusto ja työryhmä



Kuva 28. Jätkäsaaren kannen ensimmäisen lohkon betonointi. Käytössä 52 metrin pituinen betoni-pumppu.

Betonoinnissa tarvittava kalusto ja työryhmä tulee suunnitella aina kuhunkin valuun erikseen sopivaksi. Tyypillisesti nämä muodostuvat kuitenkin seuraavista osista:

- Betonipumppu, mielellään riittävän pitkä, jotta valussa ei tarvitse käyttää ylimääräistä letkulinjaa (kuva 28)
- Pumppari eli pumpun käyttäjä.
- Liipparit, yleensä kaksi henkilöä, jotka määrittelevät valun paksuuden ja liippiä käyttäen tekevät ensimmäisen raakapinnan valuun, sekä huolehtivat kaatojen toteutumisesta.

- Vibramiehet, tyypillisesti yksi tai kaksi henkilöä, jotka huolehtivat betonin vibraamisesta eli tiivistämisestä.
- Pintamies, yleensä yksi henkilö, joka huolehtii betonin pinnan lopullisesta tekemisestä. Tyypillisesti käyttää hiertokonetta. Hänen työnsä alkaa yleensä noin 4–10 tunnin kuluessa valun alkamisesta riippuen ilman lämpötilasta
- Jälkihoitotyöryhmä. Riippuen valun koosta ja jälkihoitotavasta tämän työvaiheen voi suorittaa joko pintojen tekijä tai erillinen työryhmä joka sisältää tyypillisesti 1-3 henkilöä.

Näiden lisäksi betonoinnissa tarvittavaa pienkalustoa ovat esimerkiksi betonivibrat, liipit eli linjaarit, korkotikku, tasolaser, hierrin ja mahdollisesti jonkin erikoisemman pinnan tekemiseen tarvittava kalusto, kuten harava tai vaikka silikonimuotti. Valuryhmällä tulee tyypillisesti olla käytössään myös riittävä määrä valaistusta, sähköä ja mahdollisesti vettä pintojen tekoa ja jälkihoitoa varten. Sähkön syöttö kannattaa katsoa riittävän suureksi ja varmaksi, ettei betonin vibraaminen jää ainakaan sen takia tekemättä. Tyypillisesti kolmivaiheinen 16A:n sähkönsyöttö on riittävän tehokas ja luotettava tähän käyttöön.

Valua varten on syytä myös huolehtia riittävästä nostokalustosta työmaalla. Erityisesti hiertokalusto voi olla sen verran raskasta, että sen nostamiseen tarvitaan erillistä nosturia.



Kuva 29. Kivikon ensimmäisen kerroksen ensimmäisen lohkon valu. Valussa käytettiin 42 metrin pituisia pumppua.

4.4.4 Betonointipaikka ja ajoreitti

Ennen kannen valua on hyvä suunnitella huolellisesti valutyöryhmän edustajan sekä betonin toimittajan kanssa valuun liittyvät käytännön järjestelyt, jotta valu onnistuisi mahdollisimman sujuvasti.

Jos valu suoritetaan pumpaamalla, on pumpun paikka syytä katselmoida etukäteen niin, että pumpulla on riittävän paljon petaustilaa ja betoniautoille jää vielä riittävästi tilaa syöttää betonia. Valutahti olisi syytä säätää sellaiseksi, että valujonossa ei olisi samanaikaisesti purkavan betoniauton lisäksi kuin enintään yksi betoniauto. Betoniautojen ajoreitti ja odotuspaikat on myös syytä suunnitella etukäteen, ja näistä on hyvä informoida betonitoimittajaa, jottei valusta aiheudu ylimääräistä häiriötä ympäröivälle liikenteelle tai asutukselle.

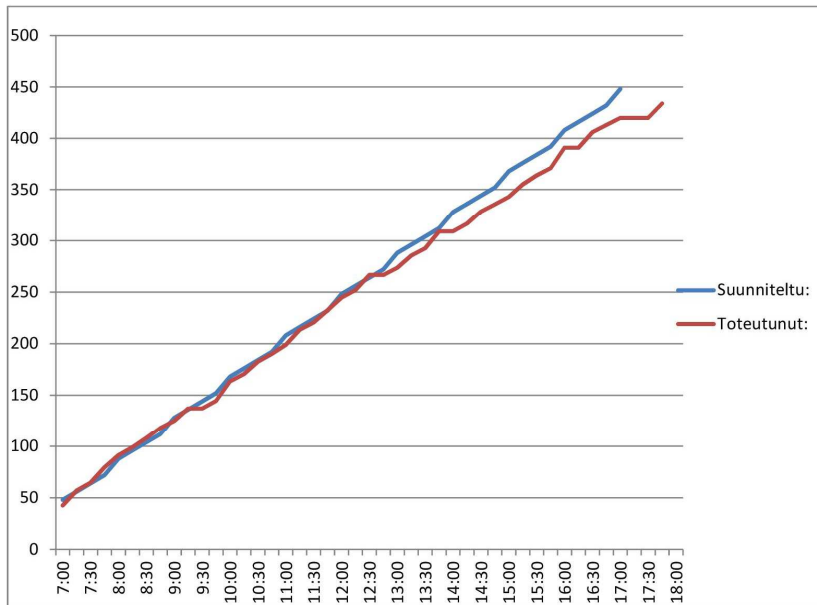
Näiden lisäksi olisi hyvä sopia etukäteen betoniautojen ja -pumpun pesupaikka, toimitettavan betonitehtaan ja työmaan välinen yhteydenpitomenettely sekä esimerkiksi valun etenemissuunta.

4.4.5 Betonoinnin eteneminen

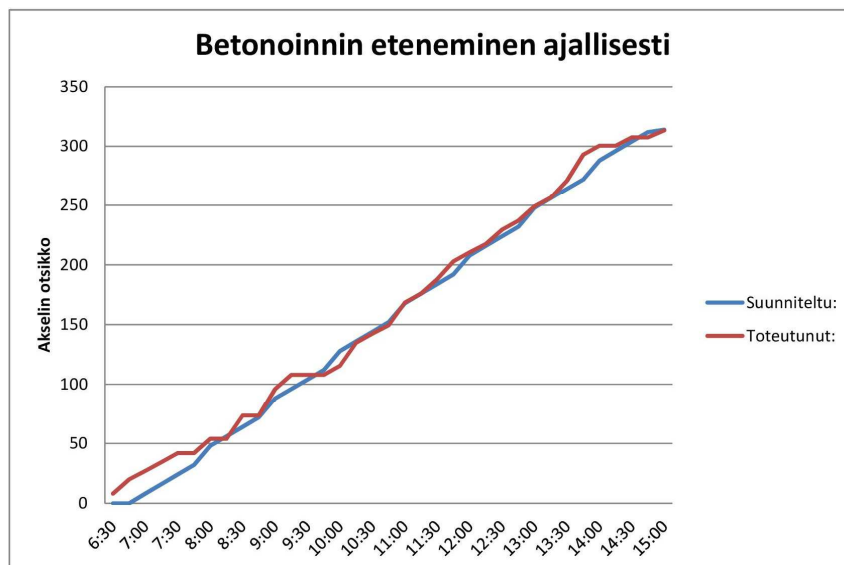
Kun valu on saatu käyntiin, pyritään betonointi saada etenemään mahdollisimman lähellä sillä tahdilla, mitä on etukäteen suunniteltu. Tyypillinen tahti esimerkkikohteiden kaltaisissa valuissa on 35-40 m³ tunnissa, riippuen hieman valurintaman leveydestä. Ensimmäisen luokan holvivaluissa, joissa on tavoitteena saavuttaa vedenpitävä betonirakenne, on suositeltavaa pyrkiä enintään puolen tunnin valurintaman etenemään, jotta liiallista kovettumista ei ehtisi tapahtua ennen rintaman etenemistä, ja näin ollen ei syntyisi vettä vuotavia ja rakennetta heikentäviä työsaumoja. Silloin, kun betoniautoja on työmaalla samanaikaisesti jatkuvasti kaksi kappaletta, on valutahti todennäköisesti hyvin lähellä suunniteltua. Jos betoniautoja alkaa olla jonossa enemmän kuin yksi, tai jos betoniautojen välissä on liian paljon aikaa, eikä tyhjentyvän auton tilalle ole välittömästi uutta autoa, on asiasta syytä huomauttaa betonitoimittajaa, jotta asia saadaan korjatuksi.

Alla on tutkittavista kohteista kerättyjä valujen toteutuneita etenemätietoja, joista ilmenee kunkin valun suunniteltu etenemä sekä vastaavasti toteutunut etenemä (kuvat 30, 31, 32 ja 33). Näistä diagrammeista voidaan todeta, että tyypillisesti valun alussa ja

lopussa tulee herkästi sellaisia viivästyksiä, jotka johtuvat valuryhmän viivästyksistä joko pumpun pystyttämisen venymisellä tai loppuvalun betonin täsmätalauksista. Valun keskelle sijoittuvat viivästyksset tyypillisesti kielivät taas ongelmista betonitoimittajan aikataulussa pysymisessä tai betonin laadullisissa asioissa. Mitä paremmin valun ennakosuunnittelu on tehty, sitä paremmin myös valun eteneminen saadaan onnistumaan toivotulla tavalla.

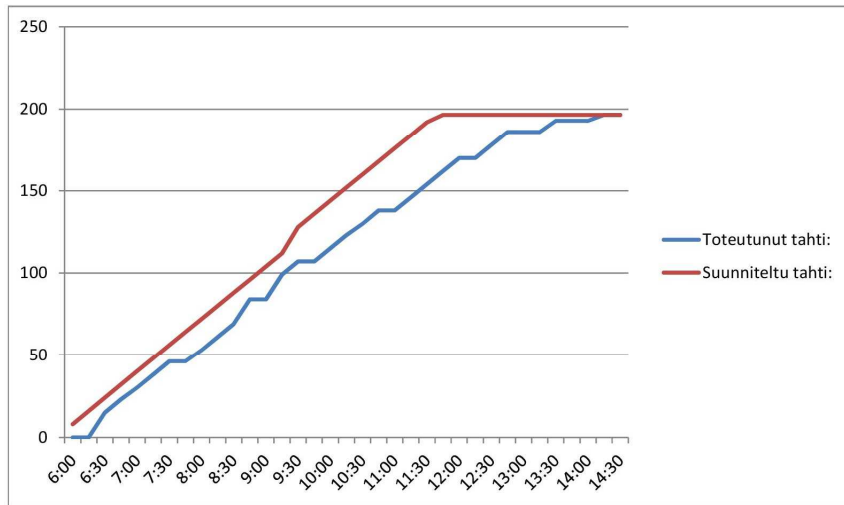


Kuva 30. Betonoinnin eteneminen ajallisesti, Jätkäsaaren kannen 1-lohko

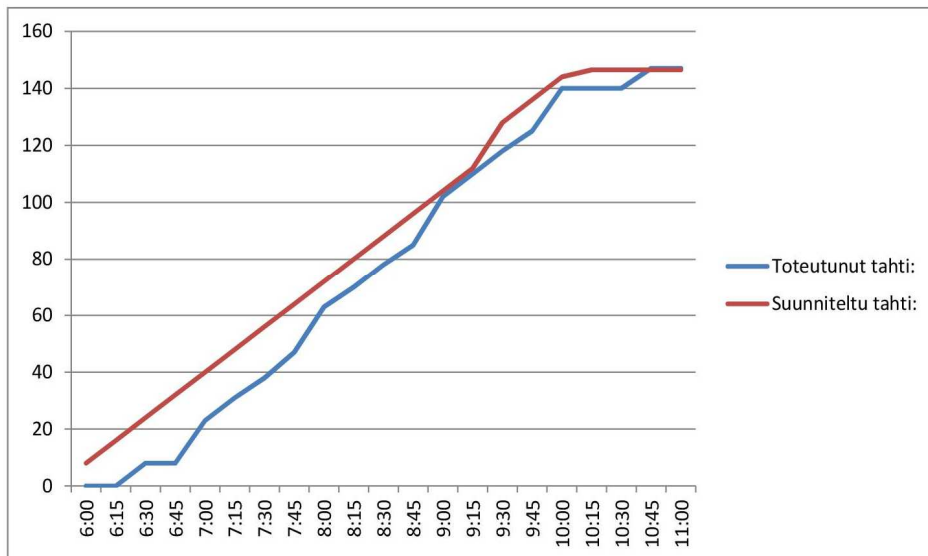


Kuva 31. Betonoinnin eteneminen ajallisesti, Jätkäsaaren kannen 2-lohko

Valun etenemä ajallisesti:



Kuva 32. Kivikon 1-kerroksen holvin 1-lohkon valun etenemä ajallisesti. Tässä voidaan nähdä, että betonitoimituksissa oli jonkin verran ongelmia, eikä tavoiteltua valutahtia saavutettu.



Kuva 33. Kivikon työmaan toteutunut valutahti 1-kr, 2-lohko.

Valurintaman aloituspaikka ja etenemissuunta ovat myös asioita, jotka olisi syytä suunnitella ja sopia ennen valua. Näiden asioiden kannalta oleellisia asioita ovat muun muassa muotin vaatimukset valun etenemisen suhteen, kulkureitit muotille ja erityisesti pois muotilta valun päätteeksi sekä valurintaman riittävän nopea eteneminen sovitulla järjestyksellä.

4.4.6 Olosuhteiden vaikutus betonointiin

Kesällä

Kesä-aikaan suoritettavissa valuissa suurimpina ongelmina ovat tyypillisesti liiallinen lämpö sekä sateen riski. Betonin jälkihoito on lämpötilan takia aloitettava mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, jotta kosteutta ei pääse haihtumaan liian paljoa. Sade voi sen sijaan aiheuttaa ongelmia pintojen tekoon. Kesällä suoritettavista valuista olisi syytä keskustella etukäteen betonin toimittajan ja rakennesuunnittelijan kanssa, että onko valussa syytä käyttää jotakin ylimääräistä ulkopuolista jäähdytysmenetelmää, jotta rakenteen lämpötila ei pääse nousemaan liian lämpimäksi betonin kovettuessa. Ennen valua on myös syytä tarkkailla sääennusteita. Jos valupäivälle on luvattu runsasta vesisadetta, voi olla syytä harkita valupäivän siirtämistä, varsinkin jos valusta syntyvän pinnan on tarkoitus toimia lopullisena lattiapintana.

Talvibetonointi

Päahaasteena talvibetonoinneissa on se, että betonirakenne ei saisi päästä jäätymään ennen vaaditun lujuusarvon täyttymistä, ja mahdollinen lumen sataminen täytyisi pyrkiä ottamaan huomioon valupäivänä. Tyypillisesti suurien holvivalujen täydellinen peittäminen jonkin kattorakenteen alle on hyvin kallista toteuttaa, minkä takia holvia pitäisi lämmittää ensisijaisesti alapuolelta sekä mahdollisesti valun sisältä, ja valun pinta pitäisi päästä peittämään riittävällä eristekerroksella mahdollisimman aikaisessa vaiheessa valun jälkeen. Talvella betonoitaessa pitäisi lisäksi huolehtia, ettei raudoitteiden päälle ole päässyt kerääntymään jääkerrosta, joka aiheuttaa raudoitteiden huonon tartunnan betoniin. Jos valettavan rakenteen pinta jää lopulliseksi lattian pinnaksi, on valun toteuttaminen alle 0 celsiusasteen lämpötiloissa hyvin riskialtista ja vaikeaa. Betonoinnin aloittamisesta kuluu kylmällä kelillä hyvin pitkä aika, ennen kuin betoniin ei enää synny jälkiä sen päällä käveltäessä, eikä näin ollen valun pintaa lämmittävää eristekerrosta päästä levittämään ennen kuin betonin pintaa ehtii jo jäätyä.

4.4.7 Betonin jälkihoito

Jälkihoito kesällä

Kesällä lämpimällä kelillä betonin jälkihoito tutkittavien holvien kaltaisissa rakenteissa on aloitettava niin varhaisessa vaiheessa kuin mahdollista. Ensimmäinen jälkihoitotapa on levittää niin sanottu välijälkihoitoaine heti pinnan liippauksen jälkeen. Tämän jälkeen varsinainen jälkihoitoaine tulee levittää pintaan hierron jälkeen, ja jälkihoitoaineen lisäksi on hyvä kastella holvin pinta ja mahdollisesti levittää betonin päälle muovi, joka vähentää tuulen vaikutusta pinnan kuivumiseen ja samalla myös osaltaan tasaa kosteuden haihtumista ja lämpötilaeroja. (6, s. 78–79)

Kivikon kohteessa ensimmäisen kerroksen ensimmäisen lohkon valu suoritettiin syyskuun puolivälissä, jolloin yölämpötila on ollut alle kymmenen celsiusastetta ja päivälämpötila on noussut noin 18 celsiusasteeseen. Kannen valupäivänä oli poutakeli, joten pintojen tekeminen oli kohtuullisen helppoa, mutta koska kyseisessä lohkossa oli määriteltä käytettäväksi P50-luokan betonia, oli massan vesi-sementtisuhde jouduttu jättämään melko pieneksi. Pieni vesi-sementtisuhde aiheutti jonkin verran lisähaasteita betonin pintojen hiertäjälle, mutta jälkihoidoksi tässä kohteessa todettiin riittävän yksinkertainen muovitus holvin päälle heti, kun pinta kesti kävelyn päällä ilman, että siihen jäi jälkiä, eli valun aloituspuolella noin 9 tuntia valun aloittamisen jälkeen (kuva 34).



Kuva 34. Kivikon ensimmäisen kerroksen ensimmäinen valulohkon jälkihoito hoidettiin muovittamalla koko kenttä mahdollisimman varhaisessa vaiheessa (eli seuraavan illan ja yön aikana).

Jälkihoito talvella



Kuva 35 - Talvella on syytä tarkkailla betonin pinnan lämpötilaa. Jätkäsaaren toinen lohko valettiin 2.12.2013. Valun pinta on hierron jälkeen hieman alle 5 celsiusasteen. Pian tämän jälkeen kun betonin pintaan ei enää tule vaurioita sen päällä käveltäessä, valun päälle levitettiin routamatto ja pressu.

Betonirakenteen jälkihoito talvella tarkoittaa käytännössä valettavan rakenteen lämmittämistä ennen valua, valun aikana ja valun jälkeen. Ennen valua on huolehdittava, ettei raudoitteiden päällä ole jäätä, joka estää betonin tarttumista raudoitteisiin, ja muutenkin mahdollinen lumi on poistettava valettavasta rakenteesta ennen valua. Valun aikana voidaan esimerkiksi käyttää esilämmitettyä betonimassaa, ja holvin alapuolisia tiloja voidaan lämmittää käyttöön sopivalla ja riittävällä kalustolla.

Varsinainen jälkihoito talviaikaan onkin todennäköisesti kaikista haastavin osuus suurien holvirakenteiden talvivaluissa. Tyypillisesti holvin päälle ei ole mahdollista rakentaa kohtuullisilla kustannuksilla minkäänlaista säänsuojaa, varsinkin jos holvin ääriimitat ylittävät 30 metrin pituuden. Tämän takia holvi pitäisi päästä peittelemään esimerkiksi solumuovieristeellä eli niin sanotulla routamatolla mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Jos holvin pinta tulee olemaan kuitenkin samalla näkyviin jäävä lattiapinta, niin eristekerroksen levittäminen pystytään toteuttamaan vasta siinä vaiheessa, kun holvin pinnan tekeminen on suoritettu loppuun, ja se kestää päällä kävelemisen ilman, että siitä syntyy ylimääräisiä jälkiä. Tilanne on helpompi silloin, kun valun pinnan ei ole suunniteltu jäävän lopulliseksi lattianpinnaksi. Silloin valun jäävät jäljet eivät haittaa, ja eristekerros voidaan levittää valun päälle heti, kun se vain kantaa riittävästi tai kun pinta on hierretty. (7, s. 50–62.)

Yleisesti ottaen holvivalun toteuttaminen talviolosuhteissa silloin kun valun pinta ei tule jäämään näkyviin, on mahdollista jopa kohtuullisen kylmissä, jopa -15 celsiusasteen lämpötiloissa. Rakenne itsessään tuottaa niin suuren määrän lämpöä, että enintään aivan valun pintakerros ehtii päästä hieman jäätymään ennen jälkihoitoeristeen levittämistä. Holvivalujen toteutus talviolosuhteissa on kuitenkin joka kerta huolellisesti suunniteltava niin rakennesuunnittelijan kuin myös betonitoimittajan kanssa. Tällaisia valuja suoritettaessa on kuitenkin aina olemassa suuria riskejä valun epäonnistumisesta, jos valua ei suoriteta oikealla tekniikalla ja oikealla betonimassalla.

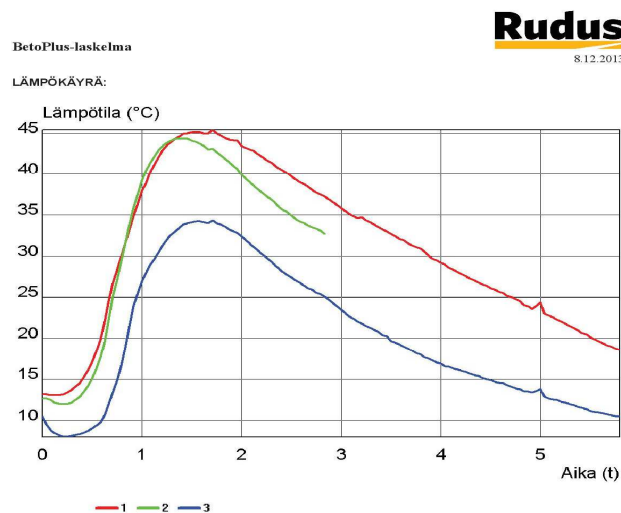


Kuva 36. Jätkäsaaren toisen lohkon päälle on levitetty valun jälkeisenä yönä routamatto ja pressu. Suojien paikallaan pysyminen kannattaa varmistaa esimerkiksi asettamalla koolingit niiden päälle.

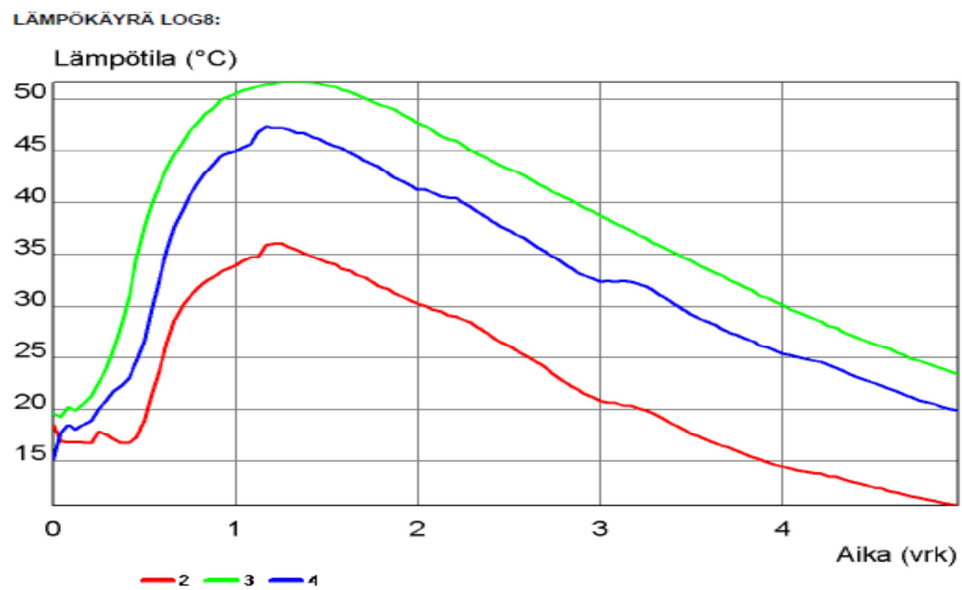
4.4.8 Betonin lujuudenkehityksen seuranta

Jälkijännitettävän kannen betonin lujuudenseuranta on hyvin tärkeä osa betonointia, ja tutkittavissa kohteissa tämä asia on hoidettu lämpötilaloggereilla, joiden tuottaman datan perusteella pystytään määrittelemään betonin saavuttama lujuus. Tämän palvelun Rakennusliike Reponen osti Lohja Rudus Oy:ltä, jolla on BetoPlus-niminen palvelu tätä asiaa varten olemassa. Rudus toimi samalla myös kohteiden betonin toimittajana, joten yhteistyö Ruduksen kanssa myös tässä asiassa oli hyvin luontevaa. (Kuvat 37–40.)

Lujuuden seuranta voi suorittaa myös koekappaleiden avulla, mutta koska varsinkin alkuvaiheen lujuudenkehitys on hyvin paljon riippuvainen betonin lämpötilasta, niin jännityslujuuden määrittämistä varten koekappaleen käyttäminen ei ole sopiva vaihtoehto. Tämä johtuu siitä, että jos betonista tehdään koekappale, joka on esimerkiksi 150 mm x 150 mm x 150 mm kokoinen kuutio, on sen lämpötilakäyttäytyminen betonin lujittuessa hyvin erilaista, kuin se on yli metrin leveän ja noin metrin korkean palkin keskellä. Betonin lämpötilakäyttäytyminen on esimerkiksi kohteiden kaltaisissa laattapalkistoissa syytä ottaa huomioon, sillä suurien palkkien keskellä oleva betoni voi lämmetä hyvinkin paljon, ja toisaalta lämpötila ero palkin keskeltä laatan keskelle voi taas kehittyä joissakin tilanteissa turhan suureksi. Tämän takia lämpötilakäyttäytymistä on hyvä seurata ja tarvittaessa pyrittävä hallitsemaan joko lämmittämällä tai jäähdyttämällä tai esimerkiksi eristämällä holvia jälkihoidon yhteydessä. Yleinen sääntö on, että lämpötilaero betonirakenteen eri kohdissa ei saisi nousta yli 20 celsiusasteen, jotta lämpötilaerojen aiheuttamat jännitteet eivät aiheuttaisi halkeilua rakenteeseen. (6, s. 86–89)



Kuva 37. Lämpötilaloggerin tuottama käyrä Jätkäsaaren holvin toisesta lohkost

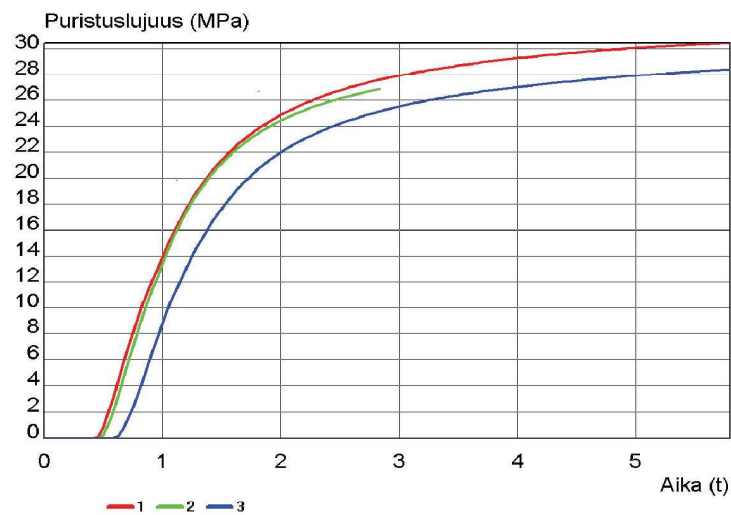


Kuva 38. Lämpötilaloggerin tuottama käyrä Kivikon kohteen ensimmäisen kerroksen toisesta lohkoista. 2-käyrä on mitattu laatan keskeltä, 3-käyrä palkin yläpinnasta ja 4-käyrä palkin keskeltä. Laatan jälkihoito toteutettiin holvin peittämisellä routamatolla ja rakennusmuovilla.

BetoPlus-laskelma

Rudus
8.12.2013

LUJUUSKÄYRÄ:



Kuva 39. Jätkäsaaren holvin toisen lohkon laskennallinen lujuuden kehitys lämpötilaloggerin perusteella. Käyrät 1 ja 2 ovat palkin keskeltä ja pinnasta mitattujen arvojen perusteella laskettuja

lujuuksia, ja käyrä 3 esittää laatan keskeltä mitatun lämpötilan perusteella laskettua lujuuskehitys-

LUJUUSKÄYRÄ LOG8:



Kuva 40. Kivikon kohteen ensimmäisen kerroksen toisen lohkon laskennallinen lujuuden kehitys lämpötilaloggerin tietojen perusteella. Betonin suunniteltu 28 vuorokauden lujuus kohteessa on K45

tä.

4.4.9 Betonin lujuusvaatimukset punosten jännittämistä varten

Punossuunnittelijan tehtävänä on määritellä minimilujuus, joka betonin täytyy saavuttaa ennen punosten jännitystyön aloitusta. Tähän tarkoitukseen esimerkiksi edellä esitetty Ruduksen Betoplus-palvelu on hyödyllinen työkalu, jonka avulla saadaan kohtuullisen luotettavasti todettua betonirakenteen todellinen lujuus.

Tutkittavissa kohteissa kummassakin betonin lujuudeksi on vaadittu vähintään 70 % betonin 28 vuorokauden suunnitellusta lujuudesta. Tämä arvo tulee kuitenkin aina tarkistaa erikseen kulloiseenkin kohteeseen määritellyistä asiakirjoista.

Kun betonin todetaan lämpötilan seurannan perusteella saavuttaneen määritelty lujuus, ilmoitetaan asiasta kirjallisesti jännitystyöstä vastaavalle työnjohtajalle ja suunnittelijalle. Tämän jälkeen jännitystyöryhmä voi aloittaa punosten jännitystyön, jonka jälkeen laaditaan jännityspöytäkirja, jonka hyväksynnän jälkeen punostyönjohtaja ja punos-

suunnittelija voi antaa muotipurkuluvan. Muotin purun jälkeen kansi pystytettiin kummassakin tutkittavassa kohteessa kuormittamaan täydellä suunnitellulla kuormalla. Ainoastaan Kivikon kohteen 2-kerroksen holvin valun yhteydessä jouduttiin 1-kerroksen holvi jälkitukemaan, sillä valun aikana holviin kohdistuu muotin kautta huomattavasti suurempia voimia, kuin se on suunniteltu kantamaan. Jälkituennasta on kuitenkin aina pyydettävä kohteen suunnittelijalta erillinen suunnitelma, eikä omin päin saa tehdä asiasta oletuksia.

5 Johtopäätökset

Jälkijännitetty holvirakenne tartunnattomilla jännepunoksilla toteutettuna on talonrakennustyömailla käytettävistä betonirakentamisen menetelmistä yksi tarkimmista ja vaikeimmista rakennetyypeistä. Samalla tämä menetelmä sisältää paljon etuja, jotka erityisesti pysäköintilaitoksissa ja teollisissa rakennuksissa tuovat merkittävää etua niin rakennuksen toteuttajalle kuin myös rakennuksen loppukäyttäjälle. Rakenne muistuttaa ominaisuuksiltaan monella tapaa siltoja, sillä pitkät jännevälit, lämpöliikkeiden huomiointi ja hyvin suuret yhtenäiset valut ovat asioita, joita harvemmin tulee vastaan esimerkiksi elementtirakentamisessa.

Jälkijännitetty holvirakenteet antavat mahdollisuuden käyttää paljon matalampia rakennepaksuuksia ja samalla paljon pitempiä jännevälejä kuin perinteiset massiivirakenteiset holvit. Lisäksi holvit kaipaavat paljon pienempiä määriä terästä kuin massiivirakenteiset holvit, jotka perustuvat pelkästään raudoitteiden toimintaan. Nämä tekijät tuovat rakenteen toteuttajalle huomattavia materiaalisäästöjä betonissa ja raudassa. Loppukäyttäjä hyötyy taas sillä tavalla, että esimerkiksi pysäköintilaitoksiin jää huomattavan paljon enemmän tilaa ajoneuvoille, kun pilareita ja muita kantavia rakenteita tarvitaan paljon harvemmalla tiheydellä. Rakenteen hoikkuus tuo myös rakenteen julkisivun suhteen säästöjä, sillä kun kerrosten välinen korkeus vähenee, vähenee samalla myös julkisivun kokonaisneliöt. Vaihtoehtoisesti hyötynä voi toki olla myös korkeampi hyötykorkeus kerroksien välissä.

Jälkijännitettävät rakenteet tuovat paikallavalurakentamiseen myös aikataulullista hyötyä, sillä vaikka aikataulun rytmittäminen onkin tarkkaa työtä, pystytään holvin muotin purku yleensä aloittamaan jo viikon kuluessa valusta. Massiivirakenteinen holvi tarvit-

see tyypillisesti jälkituentaa vielä paljon kauemmin kuin viikon ajan, kun taas jälkijännitetyt holvit voidaan kuormittaa saman tien jännitystyön päätyttyä.

Jälkijännitetyn laattapalkiston toteuttaminen vaatii työnjohtajalta tarkkaa aikataulun suunnittelua ja hyvää ymmärrystä haastavan rakenteen toiminnasta. Jotta rakennustyöt etenevät sujuvasti, on eri työvaiheita limitettävä keskenään hyvin monessa eri vaiheessa, ja työryhmien kokoja sekä työjärjestyksiä tulee suunnitella ja valvoa jatkuvasti. Palaverit työryhmien nokkamiesten ja työnjohtajien kanssa ovat tärkeässä osassa työn onnistumisen kannalta, mutta päivittäinen jatkuva keskustelu seuraavaksi toteutettavista työvaiheista ja materiaalitoimituksista ovat elinehto töiden sujuvuuden kannalta.

Tutkittavien kohteiden kaltaisten rakenteiden toteuttamisen johtaminen asettaa veto vastuussa olevan työnjohtajan samalla kuitenkin hyvin suureen vastuuseen rakenteen onnistumisesta. Onkin syytä muistaa, että jos rakenne toteutetaan huolimattomasti ja kävisikin niin, ettei se kantaisi suunniteltua kuormaa, niin kuin suunniteltu on, seuraamuksena on taloudellisesti hyvin merkittäviä tappioita. Lisäksi samalla tavalla kuin missä tahansa rakentamisessa, tämän kaltaisen rakenteen toteutuksen huolimattomuus voi johtaa jopa ihmishenkien riskeeraamiseen.

Tutkittavia kohteita rakennettaessa, ja tätä mestarityötä tehtäessä huomattiinkin yhtenä asiana, että jälkijännitettyjen holvien rakentamiseen liittyvää kirjallisuutta ja tietoutta ei Suomesta tällä hetkellä ole kovin paljoa saatavissa, ja monille suunnittelijoillekin tämän kaltaisten rakenteiden toteuttaminen vaatii tavallista enemmän huomiointia ja keskittymistä.

6 Pohdinta

Jälkijännitetty betonirakenne on rakennetyyppinä ollut olemassa jo 1960-luvulta lähtien, ja Suomeen esimerkkikohteiden kaltaisista tartunnattomiin jänteisiin perustuvista rakenteista laadittiin ensimmäisiä ohjeistuksia jo vuonna 1988. Suurimpana käyttökohteena tämän kaltaisille rakenteille ovat kuitenkin olleet tähän päivään asti sillat, eikä rakenteen toteuttamista osaavia henkilöitä ole Suomessa tänäkään päivänä vielä kovin monia.

Työnjohtajan näkökulmasta voidaan todeta tämän kaltaista rakennetta rakennettaessa, että jälkijännitetyn holvin rakentamisen johtamiseen sisältyy aina hyvin paljon teknistä ja rahallista vastuuta yhteen rakenteeseen. Lisäksi jälkijännitetyn laatan rakentaminen vaatii työnjohtajalta suurta sitoutumista, jos työ halutaan saada tehtyä tehokkaasti ilman ylimääräisiä ongelmia tai viivästyksiä.

Työnjohtaja, joka ei ole aikaisemmin ollut johtamassa jälkijännitetyn holvin rakentamistöitä, joutuu hyvin nopeasti opettelemaan monimutkaiset työjärjestykset ja rakennedetailjit, jotta hän pystyy tehokkaasti valvomaan työn edistymistä. Aikataulun, työjärjestyksien, materiaalien ja miehistön ennakkosuunnittelu, sekä huolellinen tutustuminen kuviin ennen töiden aloittamista ovat hyvin tärkeässä osassa työnjohtajan valmistautumisessa projektin vedossa. Näistä asioista löytyy samalla myös yksi syy, jonka takia jälkijännitetyn holvin rakentaminen voidaan saada suoritettua myös hyvin tehokkaalla aikataululla, ja hyvin tehtynä projektin veto voi olla työnjohtajalle myös hyvin palkitsevaa. Jälkijännitetyn holvin rakennustöihin liittyvät ongelmakohdat, ja mahdolliset yllätykset on nimittäin kohtuullisen helposti havaittavissa etukäteen, ja hyvin moni asia voidaan valmistella hyvissä ajoin etukäteen ennen varsinaista holvin rakentamista.

Jälkijännitetyt holvit määritellään tyypillisesti 1-luokan betonirakenteiksi, joka asettaa samalla jonkin verran rajoituksia sille kuka tämän kaltaisia rakenteita saa suunnitella tai toteuttaa. Ensimmäisen luokan betonirakenteen hyvänä puolena on kuitenkin se, että se tuo tyypillisesti merkittäviä materiaalisäästöjä, kun rakennepaksuudet voidaan jättää hyvin pieniksi ja jännevälit suuriksi. Samalla voidaan valettu rakenne monesti jättää jopa sellaisenaan näkyville, ilman että sitä tarvitsee millään tavalla käsitellä tai peittää. Näin ollen muotin rakentamisen alkamisesta voidaan saada aikaiseksi valmis rakenne jo muutaman viikon kuluessa, toisin kuin elementtirakentamisessa, joka tyypillisesti vaatii vielä suuren määrän jälkitöitä ennen kuin se voidaan todeta valmiiksi.

Kaiken kaikkiaan jälkijännitetyn laatan rakentaminen on varsinkin työnjohtajan näkökulmasta varsin mielenkiintoinen, mutta samalla haastava kokonaisuus. Tehokkaasti ja laadukkaasti tehtynä rakenteen toteutus on usein kannattava satsaus taloudellisesti, ja samalla lopputuloksena on hyvin siisti ja avara betonirakenne. Tämän mestarityön tekijä päätyi johtamaan esimerkkikohteiden holvit jo kouluaikoinaan, ja ne ovat vaatineet hyvin paljon oppimista lyhyessä ajassa. Keskittymällä annettuihin neuvoihin, sekä tutkimalla ja pohtimalla rakenteen toteutustapaa töiden edistyessä on hän kuitenkin saanut melko pian otteen töiden oikeista toteutustavoista. Samalla kohteiden veto on opet-

tanut rakenteiden toiminnasta hyvin paljon asioita, joita ei varmasti olisi tavallisemmissa projekteissa oppinut.

Lähteet

- 1 Doka Finland. 2013. Dokaflex 1-2-4 muottijärjestelmän asennus- ja käyttöohje
- 2 Suomen Betoniyhdistys Ry, 2004. BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004
- 3 Ratu 0398. 2012. Levymuottityö.
- 4 Insinööritoimisto Matti Janhunen. 2010. Käyttöseloste. LOCK-jännemenetelmä, tarttumattomat jänteet.
- 5 Suomen Betoniyhdistys Ry, 1988. BY 27 Tartunnattomat jänteet betonirakenteissa.
- 6 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry, 1995. RIL 149-1995 Betonityöohjeet.
- 7 Betoniteollisuus Ry, Mittaviiva Oy, 2013. Talvibetonointi.
- 8 Verkkoaineisto paikallavalurakentamisesta. <
<http://www.betoni.com/paikallavalurakentaminen>> 2013. Luettu 9.9.2014.
- 9 Doka Finland Oy. 2013. Holvimuottisuunnitelma Rakennusliike Reposen työmaalle tyynenmerenkatu 3:n pysäköintilaitoksen työmaalle.
- 10 Doka Finland Oy. 2014. Holvimuottisuunnitelma Rakennusliike Reposen työmaalle Kivikontie 2:n pysäköintirakennuksen työmaalle

Liite 1**Insinööritoimisto Matti Janhunen Oy – Jälkijännitetyn palkkilaatan työjärjestys**

Insinööritoimisto
Matti Janhunen Oy

Marko Haanpää
15.1.2013

JÄLKIJÄNNITETYT TASOT
Jälkijännitetyn palkkilaatan työjärjestys

- muotti valmiiksi, myös reunastopparit sekä palkkien päihin että laatan osalle, muotin ja stoppareiden öljyminen
- kaivot, varaukset paikoilleen
- jännitetyn holvin irroitus pystyrakenteista, pilareiden päät ja seinien yläpinnat (laakerit), palkkien päiden jännitysvarausten pystypinnat pakkasmatto, pilareiden ja seinien tartunnat putkitus
- palkkien ja kentän aktiiviankkureiden ruuvaus kiinni päätytoppareihin (punosmiehet)
- palkkien haat + pääteräkset palkkien pohjalle (raudoittaja)
- palkkien punosasenrus ja samanaikaisesti palkkien päiden halkaisuraudoitukset (punosmiehet+raudoittaja)
- laatan alapinnan teräkset
- palkkien yläpinnan pääteräkset+palkkien hakojen hatut
- laatan punokset (punosmiehet)
- mahdolliset sähkövetojen putkitukset
- laatan punoksien ankkureiden halkaisuteräkset
- laatan reunapussit
- laatan yläpinnan raudoitus
- tartuntalätkät/tartuntateräkset jälkikiinnityksille sitoen/hitsaten
- raudoitustarkastus
- valu, huolellinen vibraus, oltava sauvavibra Ø25 mm sauvalla, että saadaan palkkien päät ja laatan reunat tiivistettyä
- valua seuraavan päivän aamuna holvin kastelu ja peittely muovilla ja mikäli kylmät kelit, niin muovin päälle vielä pakkasmatto
- mahdollisimman pian valun jälkeen kannattaa purkaa reunastopparit palkkien ja laatan jännityspäistä (helpottaa purkua, betoni tarttuu muottiin koko ajan lujemmin)
- mikäli kylmät kelit, niin 12 h valusta voi pistää lämmityksen päälle alapuolelle
- työtasot jännitystä varten palkkien ja laatan jännityspäihin
- jännityslujuus 28 MPa, kirjallinen ilmoitus betonin jännityslujuuden täyttymisestä jännitysurakoitsijalle (lujuudenseuranta betonin lämpötilan mukaan suositeltavaa)
- jännittäminen ja jännityspöytäkirjan täyttö (punosmiehet)
- hyväksytyt jännittämistyön jälkeen punosten jännityshäntien katkaisu ja ankkureiden rasvatulppaus (punosmiehet)
- jännitysvarausten laastipaikkaus kutistumattomalla laastilla
- muotin purku, jälkituenta tarpeen useampikerroksisissa pysäköintihalleissa

Insinööritoimisto
Matti Janhunen Oy

Melkonkatu 16 B 00210 Helsinki
puh 09-682 1900, fax 09-682 1233
www.mjanhunen.com

Liite 2

General Technologies, INC – Advantages and benefits of unbonded post-tensioning (General Technologies, INC – Tarttumattoman jälkijännitettävän rakenteen hyödyt ja edut).

**ADVANTAGES AND BENEFITS OF UNBONDED POST-TENSIONING**

By Larry B. Krauser

March 15, 2007

Unbonded post-tensioning is an efficient structural system that has successfully been used worldwide in construction. There are a wide range of advantages and benefits for large as well as small projects. The system's efficiency begins with the use of high-strength materials that allow for a more effective use of materials and construction techniques. The ability of unbonded tendons to resist applied loads by varying the force and location of the prestressing steel within the concrete cross section provides the designer with added flexibility. The combination of high-strength prestressing steel and concrete allows structural members to resist compressive and tensile forces created by various loads.

Unbonded post-tensioning has made it possible for owners, designers, and builders to see their projects come to life with:

- Exceptional design flexibility and aesthetically pleasing architecture.
- Superior strength, durability, and fire resistance.
- Fast and efficient construction schedules.
- Long design lives with low maintenance requirements.

The construction benefits that unbonded post-tensioning provides in structures include:

- Significant reduction of concrete and reinforcing steel quantities.
- Superior structural integrity provided by continuous framing and tendon continuity.
- Permanent compressive forces result in greater control of cracks, deflection, and camber.
- Thinner structural members allow lower structure heights, reduced foundation loads, and longer spans when compared with conventionally reinforced structures.
- Monolithic connections between slabs, beams, and columns eliminate troublesome joints between elements.
- Profiled tendons result in balanced gravity loads, significantly reducing total deflections.
- Post-tensioning reduces overall building mass, which is important in zones of high seismicity.

Unbonded post-tensioning has found widespread use and effectiveness in a variety of structure types, including:

- Slabs-on-Ground: residential slab-on-ground foundations, light industrial foundations, heavy industrial foundations, mat foundations, sport courts, and pavements.
- Buildings: office buildings, condominiums/residential buildings, hotels, mixed-use, theaters, shopping centers/malls, schools, casinos, libraries, manufacturing plants, research/academic institutions, and governmental.
- Parking Structures: commercial, airport, underground parking structures, and mixed-use.
- Storage Structures: water storage tanks (floors, walls, roof), clarifiers, digesters, and silos.
- Grandstands and Stadiums
- Staged Construction: transfer plates, transfer podiums, transfer slabs, and transfer girders.
- Tension Members: tension rings and tie-beams.

ADVANTAGES AND BENEFITS OF UNBONDED POST-TENSIONING

March 15, 2007

Page 2 of 2

Construction advantages of unbonded post-tensioned structures compared to steel, non-prestressed concrete, and precast construction include:

- **Faster Floor Construction Cycle:** use of standard design details for post-tensioning elements, minimum congestion of prestressed and non-prestressed reinforcement, use of high-strength concrete, and earlier stripping of formwork after tendon stressing can also significantly reduce the floor construction cycle.
- **Lower Floor Weight:** greater span-to-depth ratios are allowed for post-tensioned members as compared to non-prestressed members resulting in a lighter structure.
- **Lower Floor-to-Floor Height:** greater span-to-depth ratios are allowed for post-tensioned members as compared to non-prestressed members resulting in a reduction in floor height while maintaining required headroom.
- **Reduced Exterior Shell Costs:** by reducing the individual floor-to-floor heights the overall building height is decreased thus the costs for the exterior building treatment is reduced.
- **Larger Spans between Columns:** the reduced weight and structural integrity of a post-tensioned member allows for greater spans between support points.
- **Reduced Foundations:** the reduced weight of the post-tensioned structure allows the reduction in the size of the foundations.
- **Increase in Flexibility for Space Planning:** increasing the column spacing and the use of flat soffits allows for greater flexibility of space for tenants and mechanical and electrical services.

Unbonded post-tensioning is used in all areas of construction, such as new construction, repair, rehabilitation, and retrofit. Project applications range from Residential Slab-on-Ground to Parking Structures to High-rise Condominiums. Structural members are primarily slabs, beams, joists, and girders; however, unbonded tendons have also been used in walls and columns.

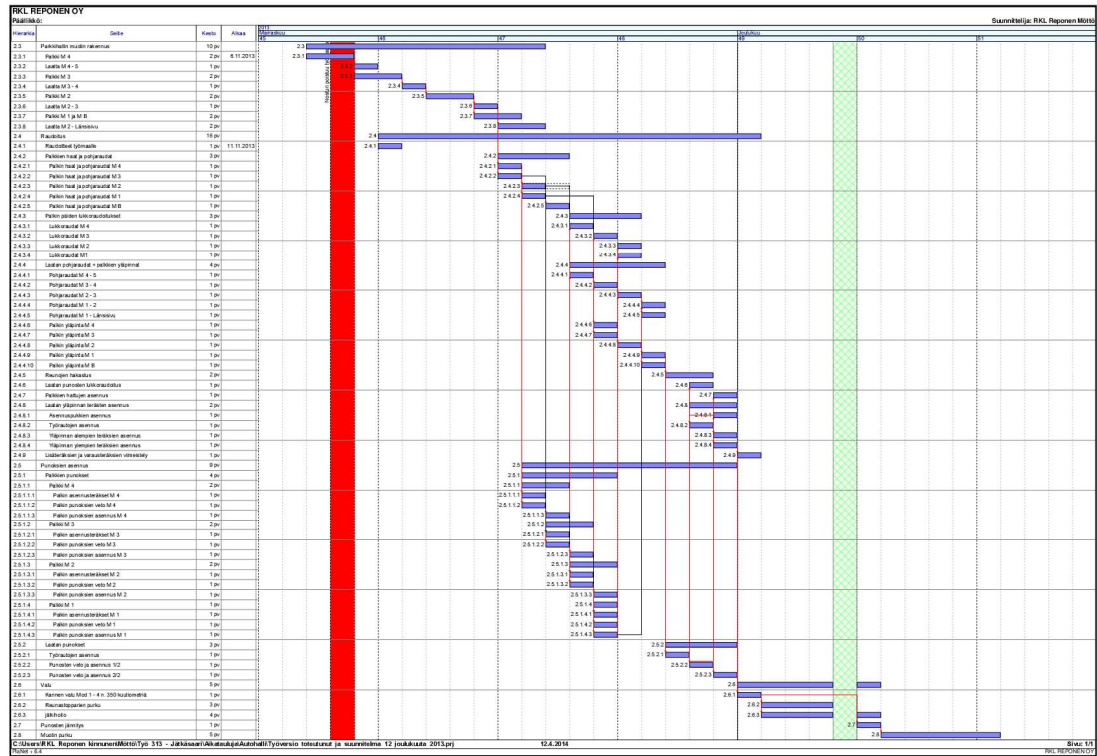
Cast-in-place, unbonded post-tensioned structures are the construction technique of choice when owners, designers, and builders look to minimize initial and life-cycle costs while maintaining structural integrity and durability.

References

1. PTI, "Post-Tensioning Manual, 6th Edition," Post-Tensioning Institute, Phoenix, AZ, 2006.
2. Franz A. Zahn and Hans R. Ganz, "VSL Report Series 4.1, Post-Tensioning in Buildings," VSL International, Berne, Switzerland, June 1992.
3. Bijan O. Aalami and Allan Bommer, "Design Fundamentals of Post-Tensioned Concrete Floors," Post-Tensioning Institute, Phoenix, AZ, April 1999.
4. Bijan O. Aalami, "Unbonded and Bonded Post-Tensioning Systems in Building Construction, *A Design and Performance Review*," Post-Tensioning Institute, Phoenix, AZ, Technical Note, Issue 5, September 1994.

Liite 4

Jätksaaren 2-lohkon aikataulu



Liite 5

Kivikon 1-kerroksen holvin toteutuksen aikataulu

