

Martin-Fredrik Rikkinen

# Betonipeitteen puutteen vaikutukset paikalla valetuissa pilareissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työnjohto

Mestarityö

17.9.2018

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Martin-Fredrik Rikkinen Betonipeitteen puutteen vaikutukset paikalla valetuissa pilareissa 33 sivua + 2 liitettä 17.9.2018
Tutkinto	Rakennusmestari (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Talonrakennustekniikka
Ohjaajat	Lehtori Juha Virtanen Laatu- ja kehityspäällikkö Mikko Moilanen Laatupäällikkö Pauli Neuvonen
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin YIT Rakennus Oy:n Tripla-hankkeelle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella betonipeitteiden puutteiden vaikutusta paikallavalettujen pilarien toimintaan, syitä betonipeitteiden syntymiseen sekä niiden korjauksia ja niistä johtuvia lisäkustannuksia.</p> <p>Opinnäytetyön tekijä on ollut työnjohtoharjoittelijana kauppakeskuksen pilarien rakentamisen aikana ja osallistunut pilarien korjaustöiden seurantaan. Opinnäytetyö suoritettiin sekä teoria- että kenttätutkimuksena. Työtä tehdessä hyödynnettiin alaan liittyvää kirjallisuutta, nettisivuja, YIT:n omaa materiaalia sekä työmaalla opittua käytännön kokemusta. Kenttätutkimuksessa haastateltiin YIT:n omaa työnjohtoa, aliurakoitsijoiden työnjohtoa sekä suunnittelijoita.</p> <p>Työn aikana tultiin tulokseen, että pienelläkin betonipeitteen puutteella on suuria vaikutuksia paikallavaletun pilarin toimivuuteen. Betonipeitteen puutteen syntyminen voi johtua monista syistä. Korjaustyöt ovat haasteellisia ja ne tuovat hankkeelle turhia lisäkustannuksia.</p> <p>Tripla-hankkeen pilarien korjaustyöt eivät valmistuneet tämän opinnäytetyön aikana, joten pilarien korjaustöistä ei saatu laadittua kokonaiskustannusta.</p> <p>Triplan laadunvalvonta oli poikkeuksellista paikallavalurakentamisessa, koska niitä ei suoriteta toisilla työmailla. Työmailla on edelleen liian vähän tietoa betonipeitteiden todellisista määristä ja tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli edesauttaa tiedon lisäämistä betonipeitteiden laadunvalvonnan tärkeydestä.</p>	
Avainsanat	betoni, pilari, betonipeite, laadunvarmistus

Author Title Number of Pages Date	Martin-Fredrik Rikkinen Effects of Lack of Concrete Cover on Site Casted Columns 33 pages + 2 appendices 17 September 2018
Degree	Bachelor of Construction Site Management
Degree Program	Construction Site Management
Specialisation option	Building Construction
Instructors	Juha Virtanen, Senior Lecturer Mikko Moilanen, Quality and Development manager Pauli Neuvonen, Quality manager
<p>This thesis was made for YIT Construction Ltd's Tripla project. The aim of this thesis was to examine the impacts of the site casted column activities caused by lack of concrete cover, different reasons that caused lack on concrete covers, their repair projects and the additional costs they caused.</p> <p>The author worked as a supervisor trainee during the constructions of the shopping center columns and participated on the repair projects. The thesis was conducted both as a theoretical and field study. The study benefitted from related literature, web pages, YIT's own material and practical experience learned at the site. YIT's own management as well as the subcontractor's management.</p> <p>The study indicates that even a small lack of concrete has a major impact on the functionality of a site casted column. The lack of concrete cover may be caused by several reasons.</p> <p>Repair works are challenging, and they bring futile extra costs for the project. The repair works on the Tripla project columns were not finished by the time of the completion of the thesis, so the total costs of the repaired columns could not be clarified.</p> <p>Quality control for site casting was exceptional on the Tripla project because they were not run on the other sites. There is still too little information on the actual amounts of concrete covers in the construction sites and the aim of this thesis was to increase the awareness of the importance of quality control of concrete covers.</p>	
Keywords	concrete, column, concrete cover, quality assurance

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Taustaa	1
2.1	YIT	1
2.2	Tripla by YIT	2
3	Paikallavalurakentaminen	3
3.1	Historia	4
3.1.1	Teräbetonin kehitys	5
4	Paikalla valettu pilari	6
4.1	Pilarit	6
4.2	Valmistus	6
4.2.1	Muottityö	6
4.2.2	Raudoitus	7
4.2.3	Valu	8
4.2.4	Muottityypit pilareissa	9
4.3	Betonipeite	10
5	Betonipeitteen puutteen vaikutukset	13
5.1	Rasitusluokat	13
5.2	Paloluokitus	15
5.3	Mahdollisia syitä betonipeitteen puutteen syntymiseen	16
6	Korjaaminen ja siitä muodostuvat lisäkustannukset	20
6.1	Havaitseminen	20
6.2	Betonipeitteen mittaus	22
6.3	Pilarien korjaus	25
6.3.1	Korjaustarpeen määrittäminen	25
6.3.2	Korjaus	26
6.3.3	Ongelmia korjaamisen kanssa	29

6.4	Lisäkustannukset	30
7	Yhteenveto	32
8	Pohdinta	33

#### Liitteet

Liite 1. Triplan sähköpostihaastattelu

Liite 2. Triplan pilarien korjausohje

## Lyhenteet

Congrid	Laadun dokumentointiin tarkoitettu ohjelma
Dataloggeri	Langallinen tai langaton tallennin joka tallentaa betonin lämpötiloja
Kopo	Alustastaan irti oleva pintakerros, joka todetaan esimerkiksi koputtamalla
Laiska rauta	Betonirakenne, jota ei ole jännitetty
Nimellislujuus	Betonin lujuusluokka, jonka mukaan rakenne on suunniteltu

## 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kertoa betonipeitteen merkityksestä paikallavaletuissa pilareissa ja miten pieneltä vaikuttavat puutteet betonipeitteissä vaikuttavat pilarin rakenteeseen ja käyttöikään. Työssä selvitetään mahdollisia syitä betonipeitteiden syntymiseen sekä puutteiden aiheuttamien korjaustöiden eri vaiheita ja niiden tuomia turhia lisäkustannuksia ja mahdollisia viivästyksiä aikatauluihin.

Tämän opinnäytetyö tehdään YIT Rakennus Oy Triplan työmaalle. Työssä tullaan käyttämään apuna YIT:n sisäistä materiaalia, kirjallisuutta, internet sivuja, sekä haastatteluja. Haastatteluihin osallistuu YIT Triplan työmaalla toimivia omia työnjohtajia, insinöörejä, aliurakoitsijoiden työnjohtajia sekä rakennesuunnittelijoita.

## 2 Taustaa

### 2.1 YIT

YIT Rakennus Oy on suuri suomalainen ja merkittävä pohjoiseurooppalainen rakennusyhtiö. Suomen lisäksi YIT:n toiminta-alueisiin kuuluvat Venäjä, Baltian maat, Tsekki, Slovakia ja Puola. YIT:n toimintaan kuuluvat asunto, - toimitila, - sekä infrarakentaminen. YIT on Suomessa suurin asuntorakentaja ja Venäjällä suurin ulkomainen asuntorakentaja.

YIT on perustettu vuonna 1912, joten sillä on yli 100 vuotta kokemusta rakentamisesta. Vuonna 2008 YIT kasvoi Venäjän suurimmaksi ulkomaiseksi rakentajaksi. Vuonna 2013 YIT jakautui kahdeksi pörssiyhtiöksi. Jatkossa YIT jatkoi rakentamispalveluiden kehittämistä ja Caverion Oyj otti vastuulleen kiinteistötekniset palvelut. Vuonna 2018 YIT fuusioitui Lemminkäinen Oy:n kanssa. Fuusioitumisen johdosta yrityksen liikevaihto nousi 3,86 miljardiin euroon ja työntekijöitä on nykyään noin 10 000. Yrityksen toimitusjohtajana on toiminut vuodesta 2013 Kari Kauniskangas. [1.]

## 2.2 Tripla by YIT

Tripla by YIT on Keski-Pasilaan rakenteilla oleva kolmen korttelin kokonaisuus, joka sisältää pysäköintilaitoksen, kauppakeskuksen, hotellin, toimistoja sekä asuntoja.

Valmistuttuaan Triplasta tulee Helsingin uusi ja elävä keskus. Triplan Kokonaislaajuus on noin 183 000 kerrosneliötä ja se yhdistää Itä- ja Länsi-Pasilan toisiinsa. Kauppakeskus tulee sisältämään noin 250 erillistä liiketilaa, pysäköintilaitokseen tulee autopaikkoja noin 2250, joista 350 on latauspaikkoja sähköautoille. Asuntoja tulee noin 430 kappaletta, joista tarjolla on vuokra- ja omistusasuntoja pientalouksille ja perheille. Asuntojen suuri piha-alue viherkattoineen tulee toimimaan viihtyisänä puistona asukkaille. Toimistot tulevat tarjoamaan töitä noin 7000 ihmiselle ja hotelliin tulee noin 440 huonetta.

Triplan rakentaminen kestää noin 6 vuotta ja sen on määrä valmistua vuoden 2020 aikana. Kustannusarvio Triplalla on noin miljardi euroa. Rakentaminen alkoi erillisurakkana vuonna 2014 Pasilan sillan laajentamisella. Haastetta rakentamiselle on tuottanut jatkuva junaliikenne. Pasilan aseman kautta kulkee päivittäin noin 1000 junaa sekä 60 000 matkustajaa. Työmaalla työskentelee päivittäin noin 900 henkilöä noin 80:stä eri kansallisuudesta. [2.]



Kuva 1 Tripla by YIT (Internet haku)

### 3 Paikallavalurakentaminen

Paikallavalurakentamisella tarkoitetaan rakennuksen kantavan rungon rakentamista pääosin työmaalla. Paikallavalurakentamisen työvaiheisiin kuuluvat muotti-, raudoitus- ja betonointityöt, jotka tapahtuvat rakennustyömaalla.

Paikalla valettu betonirakenne muodostuu betonista ja teräksestä. Teräksen tehtävänä on ottaa vastaan rakenteelle muodostuvat vetorasitukset ja betoni puolestaan ottaa vastaan puristusrasitukset. Suuren ominaispainon vuoksi teräsbetonille ominaista on mm. hyvät lujuus-, jäykkyys-, palonkestävyys- ja ääneneristävyysominaisuudet. Muita teräsbetonin hyviä ominaisuuksia ovat:

- joustava suunnittelu- ja valmistusteknilliset ominaisuudet
- monipuolinen muotoiltavuus
- korkea kotimaisuusaste
- valmistuksen energiantarve käyttökään nähden
- mahdollisuus materiaalin uusiokäyttöön. [3 s 191.]

Yhteistoiminta vaatii, että muodonmuutokset ja jännitykset siirtyvät raudoituksen ja betonin välisen kontaktin eli tartunnan vaikutuksesta betonista raudoitukselle ja päinvastoin raudoitukselta betonille. [4 s 54].

Lisäksi betonin ja teräksen lämpötilakertoimet ovat likimain samansuuruiset, jolloin suuretkaan lämpötilanmuutokset eivät aiheuta materiaalien välille muodonmuutosevoja ja ylimääräisiä rasituksia. [3 s 109].

Teräsbetonia käytetään monipuolisesti rakentamisen eri osa-alueilla. Tässä opinnäytetyössä keskitytään pilareihin.

### 3.1 Historia

Betonirakentamisen historia ulottuu kauas antiikin Rooman aikoihin. Antiikin aikoihin poltettuun kalkkiin lisättiin vulkaanista tuhkaa, josta saatiin aikaiseksi hydraulista sideainetta. Tämä hydraulinen sideaine kovettui reagoimalla veden kanssa sekä myös veden alla. Antiikin Rooman ehkä tunnetuin betonirakenne on Pantheonin temppeli. Sen jänneväliltään 43,5-metrinen kupoli on maailman suurin raudoittamattomasta betonista valmistettu rakenne. Rooman valtakunnan asteittaisen kaatumisen myötä myös betonin käyttäminen hiipui noin tuhanneksi vuodeksi, kunnes vuonna 1844 englantilainen Isaac Charles Johnson keksi ”vahingossa” nykyisen sementin.



**Kuva 2 Pantheonin temppelin betonikupoli (internet haku)**

Ensimmäiset sementtierät saapuivat Suomen Suurruhtinaskuntaan vuonna 1869, mutta heikon kysynnän takia sen valmistus lopetettiin jo 1894. Sementin tuotantoa jatkettiin uudelleen vuonna 1914 Paraisten Kalkkivuori Oy:n toimesta ja vuonna 1919 Oy Lohjan kalkkitehdas Ab perusti sementtitehtaan Virkkalaan, josta betonin käyttö laajeni vuosien saatossa sementtivalmistuksen teollistumisen sekä teräsbetonin kehittymisen myötä. Helsingin kaupungin rakennustarkastuskonttori julkaisi ensimmäiset betoninormien

luontaiset ohjeet vuonna 1913 ja Suomen Betoniyhdistys ry perustettiin vuonna 1925. [3 s 20-24.]

### 3.1.1 Teräbetonin kehitys

Teräbetonirakentamisen kehitys lähti käyntiin, kun Francois Hennebique kehitti ensimmäisiä teräsrakenteiden laskentamenetelmiä vuonna 1892. Suomalainen Jalmar Castren julkaisi vuonna 1904 ensimmäiset talonrakennuksen teräsbetonirakenteiden piirustukset. Ensimmäisinä jännitettyjen teräsbetonirakenteiden keksijöinä pidetään Saksalaista Franz Dischingeriä ja Ranskalaista Eugene Feysinettiä, jotka julkaisivat 1930-luvulla jännitettyä betonia koskevat keksintönsä.

Suomen betonirakentaminen otti valtavan harppauksen Salpauslinjan rakentamisen yhteydessä talvisodan jälkeen. Salpauslinjan selkärangan muodostivat järeät betonikorsut ja rakenteista tehtiin erittäin lujia, koska niiden tarkoituksena oli ottaa vastaan vihollisen raskasta tykkituloa. Salpausselän betonirakenteet ovat vielä nykypäivänäkin erinomaisessa kunnossa ja ne voitaisiin betonin puolesta ottaa käyttöön milloin tahansa.

Sotien jälkeen Suomessa kehitettiin 1960-luvun lopulla BES-järjestelmä (betonielementtjärjestelmä). BES on niin kutsuttu avoin järjestelmä, jossa on mahdollista käyttää eri valmistajien elementtejä. BES-järjestelmän myötä Suomen elementtirakentaminen nousi huomattavasti ja mahdollisti sodan jälkeisen huutavan asuntotarpeen tyydyttämisen. Nykyaikaisen korkealujuusbetonin käyttö kehitettiin 1990-luvulla ja julkisivujärjestelmät ja pinnat ovat uusiutuneet ja monipuolistuneet 2000-luvun aikana. [3 s 20-24.]

## 4 Paikalla valettu pilari

### 4.1 Pilarit

Pilarit ovat sauvamaisia rakenneosia, jotka toimivat rakennusten ja rakenteiden pystykannattajina. Pilareiden pääasiallinen kuormitus on puristusta, mutta pilareihin liittyy aina myös taivutusrasitusta.

Pilarit ovat poikkileikkaukseltaan yleensä neliön tai suorakaiteen muotoisia, mutta pyöreitä ja monikulmaisia pilareita käytetään myös. [5 s 97.]

### 4.2 Valmistus

Nimensä mukaisesti paikalla valetut pilarit rakennetaan työmaalla. Työvaiheisiin kuuluvat muottityö, raudoitustyö sekä valu. Toisena vaihtoehtona on käyttää elementtipilareita, jotka saapuvat työmaalle elementtitehtaalta. Rakentamisissa käytetään pilarimuotteja, jotka valmistetaan yleensä teräksestä, lujitemuovista, vanerista tai sahatavarasta.

#### 4.2.1 Muottityö

Muotit tulee suunnitella ja rakentaa siten, että ne kestävät kaikki ennakoitavissa olevat asennuksen ja betonivalun aikaiset rasitukset. Muottien ja tukirakenteiden tulee olla niin jäykkiä, että lopulliselle rakenteelle määritellyt ulkonäkö- ja mittatoleranssit täyttyvät. Betonoinnin ja betonin kovettumisen aikana muoteissa ei saa tapahtua haitallisia muodonmuutoksia. Muotteja varten laaditaan suunnitelmat, joissa kuvataan muottien ja tukirakenteiden asennusmenetelmät, purkumenetelmät ja purkujärjestys. Muottia suunniteltaessa on otettava huomioon seuraavia muotille syntyviä kuormituksia,

- muottien, raudoituksen ja betonin paino
- muotteihin kohdistuva valupaine
- kaluston, työntekijöiden ja betonimassan työstön aiheuttamat sysäykset.

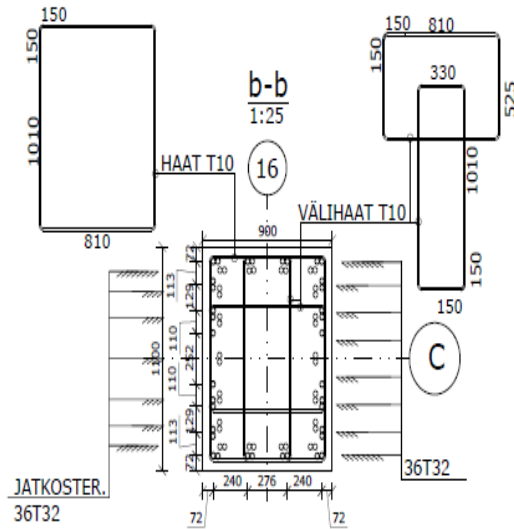
Muotit tulee tehdä tiiviiksi, jotta betonin hienot osa-aineet ja vesi eivät pääse haitallisessa määrin vuotamaan muotista. Muottien sisäpintojen on oltava puhtaita ja öljyttöinä, jotta taataan pinnalle hyvä laatu valun jälkeen. [3 s 235-239.]

#### 4.2.2 Raudoitus

Muotti raudoitetaan ennen muottipuoliskojen kiinni laittoa. Pilarit raudoitetaan päätangoilla ja haoilla. Päätangot sijoitetaan mahdollisimman lähelle pilarin ulkosivuja, jotta rakenteesta tulisi jäykkä ja se ei pääse nurjahtamaan. Päätankojen ympärille asennetaan hakateräkset, joiden tehtävänä on pitää päätangot paikoillaan sekä estää pilarin rakennusaikaisen nurjahtamisen sekä pituussuuntaisen halkeilun. Päätankojen paksuudet ovat tyypillisesti 12-32 mm välillä. Myös 38-40 mm tankojen käyttö on mahdollista. Hakasraudoitteen tyypilliset paksuudet ovat 6, 8 ja 10 mm. [4 s 56].

Raudoitus valmistetaan suunnitelmien mukaisesti joko työmaalla tai raudoitetehtaalla. Ne asennetaan paikoilleen piirustusten ja muiden mahdollisten ohjeiden mukaisesti työmaalla. Raudoitteet toimitetaan raudoitetehtaalta työmaalle valmiiksi taivutettuina irtoraudoitteina työmaalla sidottaviksi tai valmiiksi sidottuina kuten esimerkiksi pilariraudoitteet. Suunnitelmissa esitetään tarkasti raudoituksen laatu, muoto, sijainti, vaadittu betonipeite, tankojako, jatkosten sijainti ja jatkospituudet. Toteutusluokan 2 tai 3 rakenteissa joihin teräsbetonipilarit yleensä lasketaan, piirustuksissa esitetään lisäksi raudoituksen tuenta ja työteräkset. Raudoituksen asentamisessa on käytettävä piirustuksissa annettuja betonipeitteen nimellisarvoja. Raudoitus on asennettava ja kiinnitettävä muottiin siten, että sen lopullinen sijainti rakenteessa on toleranssien mukainen ja täyttää betonipeitevaatimukset.

Ennen pilarin muottityötä tai sen viimeistelyä, tulee raudoitus tarkastaa ja dokumentoida pöytäkirjaan. Tarkastuksessa varmistetaan, että raudoitus on tehty suunnitelmien mukaisesti ja se täyttää kaikki sille annetut kriteerit. Ennen valua muotti pitää tarkastaa ja varmistaa että betonipeitevaatimukset täyttyvät. [3 s 276-284.]



Kuva 3 Esimerkki pilarin raudoituksesta



Kuva 4 Valmiiksi asennetut pilarien raudoitushäkit

#### 4.2.3 Valu

Ennen betonointia muotit pitää tarkastaa ja varmistaa, että ne on tehty suunnitelmien mukaisesti. Kun muottityönjohtaja on hyväksynyt ja allekirjoittanut pöytäkirjat, betonityönjohtaja dokumentoi ne. Pilaria betonoidessa tulee huomioida, että pumppubetonin siirtoletku tai nostoastian valusukka saadaan mahdollisimman syvälle muotin sisään. Tällä varmistetaan, että betonimassan pudotuskorkeus muotin pohjalle olisi mahdollisimman pieni. Betonin pudotuskorkeus saa olla maksimissaan yhden metrin. Liian korkealta pudotetun betonin kiviainekset pääsevät erottumaan valun aikana ja tämä heikentää betonirakenteen tiivyyttä, kestävyyttä sekä pinnan laatua. Betonin nousunopeutta on seurattava jatkuvasti valun aikana. Nousunopeuden on oltava riittävän alhainen, jotta ylimääräinen ilma ehtii varmasti poistua tiivistämisen aikana. Valun aikana betonia tiivistetään tärysauvoilla. [7 s 22.]

Muotin saa purkaa valun jälkeen vasta kun betoni on luotettavasti todettu kovettuneen niin paljon, että rakenne kestää sille tulevan rasituksen ja ettei siihen synny liian suuria muodonmuutoksia. Betonin lujuus todetaan ensisijaisesti betonista mitattujen lämpötilojen mukaan. Mittauksissa käytetään perinteisiä lämpömittareita tai betonoinnin yhteydessä betoniin upotettavia dataloggereita, joiden avulla työnjohtajan on helppoa seurata tietokoneelta internetin välityksellä betonin lämpötilaa sekä lujuudenkehitystä.

Muottien purkulujuuden työmailla määrittää rakennesuunnittelija ja työnjohtaja antaa luvan muotin purkamiselle. Kantavien rakenteiden purkua varten betonin lujuuden on oltava vähintään 60% nimellislujuudesta, mutta pystyrakenteissa kuten pilareissa lujuudeksi riittää yleensä 20-30% nimellislujuudesta. [8.]

#### 4.2.4 Muottityypit pilareissa

Suorakaidepilarit tehdään yleensä järjestelmämuoteilla, jotka ovat teräs- tai alumiinirunkoisia. Muottipinnaksi soveltuvat joko muotin vaneri tai pinnoitettuna halutulla materiaalilla, kuten esim. sahalaudalla tai grafiittikankaalla. Myös kuviopinnat ovat mahdollisia ja erikoiset pilarit voidaan muotittaa säädettävällä järjestelmämuottikalustolla. Säädettävä muotti jättää betonipintaan muottipulttien säätöreikien jäljet. Erikoispilarijärjestelmämuottien pintaosa kiinnitetään aina työmaalla pilarikoon ja laatuvaatimuksen mukaisesti. Siten näillä pilarimuoteilla saadaan parhaiten toteutettua halutut korkeat laatuvaatimukset.



**Kuva 5 Pilarin kasettimuotti**

Pyöreiden pilarien muotit ovat yleensä terästä, lujitemuovia tai vaneria. Pyöreiden pilarien muotit kootaan yhdistämällä muottipuolikkaat pulttiliitoksella. Muottipuolikkaissa on nostokorvat ja kiinnityskorvakkeet vinotukia varten. [3 s 221-223.]



Kuva 4 Pilarin teräsmuotti



Kuva 5 Pilarimuotti kasattuna (taustalla valettuja pilareja)

### 4.3 Betonipeite

Betonipeite on betonipinnan ja sitä lähinnä olevan raudituksen pinnan välinen etäisyys. Betonipeitettä määrittäessä on otettava huomioon sekä haat että työteräkset. Rakenne suunnitellaan raudituksen betonipeitteen nimellisarvoa  $c_{nom}$  käyttäen, joka saadaan kaavasta:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

missä

$\Delta c_{dev}$  on mittapoikkeama, joka on normaalisti 10 mm

$c_{min}$  on betonipeitteen vähimmäisarvo, joka saadaan kaavasta:

$$c_{min} = \max \left( c_b, c_{min,dur} \right)$$

Tartunnasta aiheutuvan betonipeitteen vähimmäisarvo  $c_b$ , saadaan kaavasta:

$$c_b = \max \left\{ \begin{array}{l} \phi_p - \phi_h \\ \phi_h \end{array} \right\}$$

Jossa  $\phi_p$  on päätangon halkaisija ja  $\phi_h$  on haan halkaisija

Betonipeitteen vähimmäisarvon tulee olla niin suuri, että taataan

- terästen tartuntavoimien siirtyminen
- terästen säilyvyys korroosiota vastaan
- rakenteen riittävä palonkestävyys.

Betonipeitteen vähimmäisarvo ei saa missään tapauksessa olla pienempi kuin 10 mm tai pääteräksen halkaisija.

**Taulukko 1 Betonipeitteen vähimmäisarvo  $c_{min,dur}$  säilyvyyden suhteen eri rasisusluokissa (Suomen betoniyhdistys 2016, 22).**

Rasisusluokka	Betonipeitteen vähimmäisarvo 50 vuoden käyttöiälle [mm]		Betonipeitteen vähimmäisarvo 100 vuoden käyttöiälle [mm]	
	Betoni- teräs	Jänneteräs	Betoni- raudoitus	Jänneteräs
X0	10	10	10	10
XC1	10	20	10	20
XC2	20	30	25	35
XC3, XC4	25	35	30	40
XS1, XD1	30	40	35	45
XS2, XD2	35	45	40	50
XS3, XD3	40	50	45	55

Piirustuksiin merkitään teräksien betonipeitteen nimellisarvo ja sen sallittu mittapoikkeama. Paikalla valetuissa rakenteissa sallittu mittapoikkeama on yleensä 10 mm. Elementtien valmistaja voi elementtityypeittäin käyttää pienempää sallittua mittapoikkeamaa kuin 10 mm, jos se tehtaan sisäisen laadunhallintajärjestelmän mukaan on perusteltua ja tehdas on ulkopuolisen laadunvarmistuksen piirissä. Pienempää mittapoikkeamaa kuin 5 mm ei kuitenkaan saa käyttää. [6 s 21-22.]

SUUNNITTELUKÄYTTÖIKÄ:	100 VUOTTA
SEURAAMISLUOKKA:	CC3
LUOTETTAVUUSLUOKKA:	RC3
KUORMAKERROIN:	KFI = 1,1
TOTEUTUSLUOKKA:	3
TOLERANSSILUOKKA:	2
KANTAVIEN RAKENTEIDEN PALOLUOKKA:	R120
BETONI:	C50/60
KIVIAINEKSEN SUURIN RAEKOKO:	#16
RASITUSLUOKAT:	XC3, XD1
BETONIPEITTEEN NIMELLISARVOT:	45 mm
	RAUDOITUKSEN SUURIN SALLITTU SIJAINTI POIKKEAMA 10 mm
BETONIPINNAT:	by 40 (2003): MUO-A, ELLEI RAKENNUSELOSTUKSESSA TOISIN MAINITA
RAUDOITUS:	T = B500B E = SAS670
NURKKIIN KYNÄPYÖRISTYKSET	

**Kuva 6 esimerkki pilarin suunnitelmasta, jossa on merkitty betonipeitteen nimellisarvot**

Raudoitus tulee suunnitella siten, että se annettujen toleranssien mukaan mahtuu rakenteeseen ja ettei sen nimellinen betonipeite alitu enempää kuin 10 mm. Raudoitusvälikkeet valitaan siten, että raudoitusta asennettaessa betonipeitteen nimellisarvo täyttyy. Välikkeiden määrän ja tyyppin tulee olla sellaiset, että ne kestävät työnaikaiset rasitukset. [6 s 21-22.]



**Kuva 7 Muovinen raudoitusvälikke**

## 5 Betonipeitteen puutteen vaikutukset

Betonipeitteen puute voi tuntua pilarissa mitättömältä virheeltä, mutta tulipalotilanteessa se voi koitua kohtalokkaaksi virheeksi, sillä betonipeitteen puutteellisuus vaikuttaa pilarin toimivuuteen ja kantokykyyn palotilanteissa. Suunniteltua rasitusluokkaa ohuempi betonipeite vaikuttaa myös haitallisesti pilarin rasitusluokkiin ja sen myötä käyttöikänsä. Senttimetrin liian ohut betonipeite voi lyhentää rakenteen käyttöikää kymmeniä vuosia [7 s 20].

Tässä luvussa kerrotaan perusteet rakenteen rasitus- ja paloluokituksista sekä tämän lisäksi perehdytään betonipeitteen puutteen vaikutuksiin yllä mainituissa asioissa.

### 5.1 Rasitusluokat

Betonin rasitusluokilla tarkoitetaan ympäristön aiheuttamia rasituksia betonia ja raudoitusta vastaan. Osaa rasituksia ei voida välttää millään tavalla, vaan on varauduttava ottamaan ne huomioon hyvin jo suunnitteluvaiheessa. Rasitusluokkia valittaessa on otettava huomioon seuraavia ympäristön aiheuttamia rasitustekijöitä:

1. karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio
2. kloridien aiheuttama korroosio
3. merivedessä olevien kloridien aiheuttama korroosio
4. jäätymis- ja sulamisrasitus
5. kemiallinen rasitus

Betonin rasitusluokkia on 18 ja ne jaetaan 6 kokonaisuuteen, jotka ovat X0-luokka, XC-luokat, XD-luokat, XS-luokat, XF-luokat ja XA-luokat.

X0-luokassa (Ei korroosion tai syöpymisrasituksen riskiä) ympäristön rasitukset eivät rajoita rakenteen käyttöikää mitenkään. Kyseisen luokan rakenteissa ei tarvita raudoitusta tai raudoitettu rakenne on kuivissa olosuhteissa eikä pakkasrasitusta ole.

XC-luokissa (karbonatisoitumisen vaikutuksesta aiheutuva korroosio) betonin tehtävänä on suojata rakenteen raudoitusta korroosiolta sekä fyysisesti että kemiallisesti. Rakenteen kemiallinen suoja perustuu betonin korkeaan emäksisyyteen, joka on pH arvoltaan noin 13-14. Betonin korkea emäksisyys muodostaa teräksen pinnalle tiiviin oksidikalvon, joka suojaa terästä korroosiolta. Hiilidioksidilla on negatiivisia vaikutuksia betonin emäksisyyteen, koska hiilidioksidin reagoiessa betonin kanssa sen emäksisyys laskee. Tätä kutsutaan karbonatisoitumiseksi. Betonin pH:n laskettua alle 9 raudoituksen kemiallinen suoja häviää ja se altistaa teräksen korroosiolle.

XD- ja XS-luokat (kloridien aiheuttama korroosio). Lähellä vettä olevat rakenteet, kuten varisinkin satamat ja rannoille rakennetut rakennukset altistuvat klorideille. Kloridit voivat aiheuttaa teräksissä korroosiota, vaikka betoni pH olisi yli 9.

XF-luokat (jäätymis- ja sulamisrasitus). Pakkanen aiheuttaa betonissa rapautumista, eli murenemistä. Tämän aiheuttaa pääasiassa kapillaarihuokosissa jäätyvä ja laajentuva vesi. Betoniin kohdistuva pakkasrasitus voimistuu entisestään, kun mukana on suoloja. Suolojen vaikutuksesta kosteus imeytyy betoniin entistä alhaisemmissa lämpötiloissa kasvattaen jäätymispainetta.

XA-luokat (kemiallinen rasitus). Suomessa betonin kemialliset vauriot johtuvat yleensä siitä, että betoniin kulkeutuu aineita jotka joko happamina liuottavat sementin hydrataatiotuotteita ja heikentävät niiden ominaisuuksia tai sitten paisuttavat sementtikiveä ja sitä kautta vaurioittavat rakennetta. Jotta kemiallinen korroosio voi syntyä, pitää betonissa olla haitallisten aineiden lisäksi vettä jossain muodossa. Tyypillisiä betonille vahingollisia aineita ovat mm. sulfaatit, hapot ja aggressiiviset hiilidioksidit.

Ympäristöolosuhteet, betonin koostumus ja varsinkin betonipeitteen paksuus vaikuttavat paljon rakenteiden kuten pilarin karbonatisoitumisnopeuteen. Jos esimerkiksi betonipeitteen paksuus on todellisuudessa matalampi kuin suunnitelmissa niin hiilidioksidi pääsee odotettua nopeammin vaikuttamaan betonin karbonatisoitumiseen ja tätä myöten terästen korroosioon. Terästen korroosio heikentää pilarin lujuutta ja käyttöikä huomattavasti, koska se aiheuttaa terästen poikkipinnan pienenemistä. Korroosiotuotteet aiheuttavat myös betonipeitteen lohkeamista joka on nopeampaa ja haitallisempaa jos betonipeite on jo entuudestaan vajaa. [9.]

## 5.2 Paloluokitus

Betonipeite suojaa kantavissa rakenteissa teräksiä liian suurelta lämpötilan nousulta toimimalla lämpöeristeenä raudoitteen ja tulipalossa kuumenneen ilman välissä. Teräksen saavuttaessa noin 500-600 °C:n lämpötilan sen lujuus alkaa laskea nopeasti. Liiallinen lujuuden lasku voi lopulta johtaa rakenteen kantokyvyn menettämiseen. [7 s 20].

Tulipalotilanteen korkealla lämpötilalla on haitallisia vaikutuksia betonirakenteeseen. Se aiheuttaa raudoituksen ja betonin kimmokertoimen ja lujuuden alenemista ja betonin lohkeilua. Kun betoni kuumenee, siitä pyrkii poistumaan kosteutta ja sen kiviaines laajenee, mutta samanaikaisesti sementtikivi kutistuu. Tämä aiheuttaa betoniin mikrohalkeamia ja lohkeilua. Tulipalon aikana betonin lujuus voi jopa kasvaa, mutta tulipalon jälkeen, kun betoni viilentyy takaisin käyttölämpötilaan, sen lujuus laskee huomattavasti.

Rakenteilla tulee tehdä palomitoitukset, sillä niillä varmistetaan, että rakenne kestää sille asetetut palonkestävyysvaatimukset. Vaatimukset esitetään palonkestoluokkana, jossa rakenneosan tehtävä palossa esitetään kirjatunnuksilla R, E ja I, jossa

R – mekaaninen kestävyys

E – tiiviys

I – eristävyys

Kirjatunnuksilla on myös yhdistelmät. REI tarkoittaa osastoivaa kantavaa rakenneosaa, kuten kantavia seiniä ja laattoja. EI tarkoittaa osastoivaa, ei-kantavaa rakenneosaa, kuten ei-kantavia seiniä. Kirjaintunnuksien lisäksi palomitoituksessa esitetään kestoajaka. Kestoajalla tarkoitetaan rakenteen kykyä hoitaa vaadittu tehtävä standardipalotilanteissa. Kestoajat asetetaan yleisesti puolen tunnin välein 30, 60, 90, 120, 180 ja 240 minuuteille.

Pilareille asetetaan vain luokan R mukaisia kantavuusvaatimuksia, koska niiden tarkoituksena on johtaa rasitukset kantaville rakenteille. [4 s 64-65.]

Taulukko 2 Pilarien standardipalonkestävyyksiä (Suomen betoniyhdistys 2013, 71)

Standardipalonkestävyys	Vähimmäismitat (mm)			
	Pilarin leveys $b_{n,l}$ / päätarkojen keskiöetäisyys $a$			
	Pilarin altistus useammalta kuin yhdeltä sivulta			Altistus yhdeltä sivulta
	$\mu_n = 0,2$	$\mu_n = 0,5$	$\mu_n = 0,7$	$\mu_n = 0,7$
1	2	3	4	5
R 30	200/25	200/25	200/32 300/27	155/25
R 60	200/25	200/36 300/31	250/46 350/40	155/25
R 90	200/31 300/25	300/45 400/38	350/53 450/40**	155/25
R 120	250/40 350/35	350/45** 450/40**	350/57** 450/51**	175/35
R 180	350/45**	350/63**	450/70**	230/55
R 240	350/61**	450/75**	–	295/70

\*\*  
Vähintään 8 tankoa  
Jännitetyillä pilareilla keskiöetäisyyttä suurennetaan kohdan 5.2(5)<sup>25</sup> mukaisesti.

### 5.3 Mahdollisia syitä betonipeitteen puutteen syntymiseen

Tässä kappaleessa haastateltiin YIT Tripla -hankkeen omia toimihenkilöitä sekä aliurakoitsijoiden projektipäälliköitä ja työnjohtajia jotka ovat olleet tekemisissä paikalla valetujen pilarien kanssa Triplan hankkeessa, sekä muissa kohteissa. Haastattelujen perusteella selvisi, että betonipeitteen puutteen syntymiseen on monia mahdollisia syitä joita ovat esimerkiksi,

1. Suunnitelmat vs. toteutus
2. Pilarien koko ja pääterästen määrä
3. II kerroksiset pilariraidoitukset
4. Valmiiden häkkien käyttäminen kappaletavaran sijaan
5. Kiireellinen aikataulu
6. Työvirheet ja valut

### 1. Suunnitelmat vs. toteutus

Triplan työmaalla toteutuksien osalta ongelmaksi osoittautuivat pilarien tiukat toleranssit. Jännitettyjen rakenteiden takia pilareissa noudatettiin tiukempaa toleranssiluokkaa, jolloin raudoituksen mittapoikkeama sai olla maksimissaan  $\pm 10$  mm. Raudoitukset asennettiin valmiina häkkeinä holvissa olevien jatkoksien varaan ja niiden ympärille asennettiin teräksiset pilarimuotit. Suunnitelmista poiketen toimittajalta saapuvien häkkien pääraudoituksena käytettävät harjateräkset saattoivat olla jopa 7-9 mm suurempia, joka aiheutti ongelmia varsinkin raudoituksen liitoskohdissa, koska toleranssit olivat tiukkoja.

### 2. Pilarien koko ja pääterästen määrä

Pilarien korkeuden takia niissä käytettävä pääteräsmäärää oli todella suuri ja jatkospituuksien oli oltava suuria. Näiden johdosta liitoskohdissa oli paljon terästä melko korkealla alueella ja yllä mainittujen ongelmien takia liitoskohtien ahtaus vaikutti suurelle alueelle.

### 3. II kerroksiset pilariraidotukset

Pysäköintilaitoksen runkotöissä käytettiin todella korkeita II kerroksisia raudoitushäkkejä. Raudoitushäkit olivat parhaillaan noin 10 m korkeita ja niiden etuna oli, että yhdellä häkillä pystyttiin valamaan 2 kerroksen verran pilaria ja holvia ilman jatkosteräksiä. Ongelmaksi koitui pilarihäkkien saaminen oikeille sijainneille.



Kuva 8 Taustalla massiivisia II kerroksisia rauditushäkkeitä. Häkkien korkeudet olivat parhaimmillaan noin 10m



Kuva 9 Pilarihäkit jatkoksien varassa

#### 4. Valmiiden häkkien käyttäminen kappaletavaran sijaan

Triplassa raudoitushäkit tilattiin työmaalle Latviasta ja häkit valmistettiin paikallisessa tehtaassa. Työmaan aikataulun ja kustannuksien kannalta tämä ratkaisu oli tehokkaampaa, koska suurien pilarien raudoitusvaihe tapahtui tehtaalla ja tämä tuli suhteessa halvemmaksi verrattuna paikan päällä raudoittamiseen. Paikan päällä raudoittamisen etuna on kuitenkin raudoituksen muunneltavuus, joka helpottaa raudoituksen pysymistä vaadituissa toleransseissa. Pääterästen kokoon ja sijainteihin on helpompaa vaikuttaa, kun pilarit tehdään kappaletavarasta. Valmiiden häkkien käyttämisessä ongelmaksi koitui kuitenkin tehtaalta saapuneet raudoitushäkit, joiden pääteräkset olivat halkaisijaltaan suurempia kuin suunnitelmissa oli määritelty.

#### 5. Kiireellinen aikataulu

Virheellisiä happeja ei voitu lähettää takaisin valmistajalle, koska työmaan aikataulu olisi kärsinyt niiden seurauksesta liikaa.

#### 6. Työvirheet ja valu

Holvien jännittämien aiheutti sivusiirtymää ja vääntymistä jatkoksissa, koska niitä ei oltu hitsattu yhteen. Muodonmuutoksia ei pystytty korjaamaan työmaalla käsin, koska vääntyneen 32 mm harjateräksen oikaisu työmaalla on mahdotonta. Vääntyneet jatkokset toivat ongelmia seuraavan kerroksen raudoituksien kanssa.

Muovisia pilarivälitteitä on voinut rikkoutua muottien oikealle sijainnille pakottamisen yhteydessä ennen valua, sekä valun aikana. [10.]

## 6 Korjaaminen ja siitä muodostuvat lisäkustannukset

### 6.1 Havaitseminen

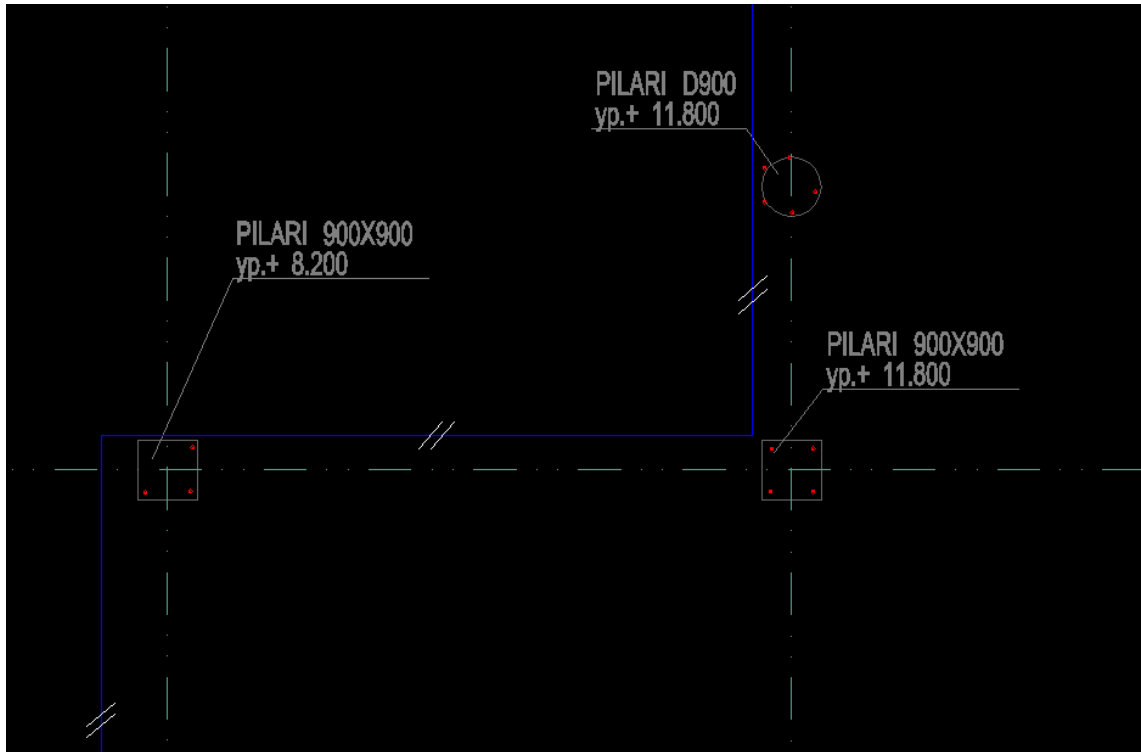
Pilarien rakentamisissa havaittiin ongelmia jo ensimmäisien II kerroksisten pilarien valujen jälkeen. Pilarien tarkemittauksissa todettiin, että raudoitukset lähtivät väärästä linjasta. Sijaintimuutosten takia pelkona oli, että pilarien raudoitus oli päässyt vääntymään valun aikana mikä taas vaikuttaa betonipeitteisiin. Myös pilarien hitsauksien ja välikkeiden asennuksien kanssa oli aluksi ongelmia työvirheiden takia.



**Kuva 10** Pilarien raudoitukset väärässä sijainnissa

II kerroksisia pilareja yritettiin korjata vääntämällä ne liinalla oikealle sijainnille, sekä kasvattamalla hieman pilarin ulkomittaa, jotta pilarille saatiin vaadittu betonipeitteen paksuus. Pilareita ei voitu kuitenkaan kasvattaa liikaa, koska se olisi pysäköintilaitoksessa vaikuttanut parkkiruutujen ja kulkuväylien mitoittamiseen. Tiukan aikataulun takia töitä ei voitu keskeyttää kunnan suunnitelmien laatimiseksi.

Lopulta II kerroksisista raudoitushäkeistä luovuttiin ja pilarien työstämisiä jatkettiin yhden kerroksen korkuisilla raudoitushäkeillä.



Kuva 11 Pilarien raudoitukset väärässä sijainnissa tarkekuvissa

Aluksia muutamalle pilarille suoritettiin betonipeitteiden koemittaukset ja tuloksista huomattiin, että betonipeitteet eivät olleet suunnitelmien mukaiset. Aiheesta pidettiin suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden kanssa monta palaveria ja lopulta päätettiin, että jokaisen pilarin betonipeitteet tullaan mittaamaan ja puutteelliset betonipeitteet korjataan. [11.]



Kuva 12 Pilarin betonipeitteen koemittaus. Kuvassa betonipeitettä on ainoastaan 10mm, vaikka suunnittelijan määrittämä betonipeitteen minimivaatimus oli vähintään 35m

## 6.2 Betonipeitteen mittaus

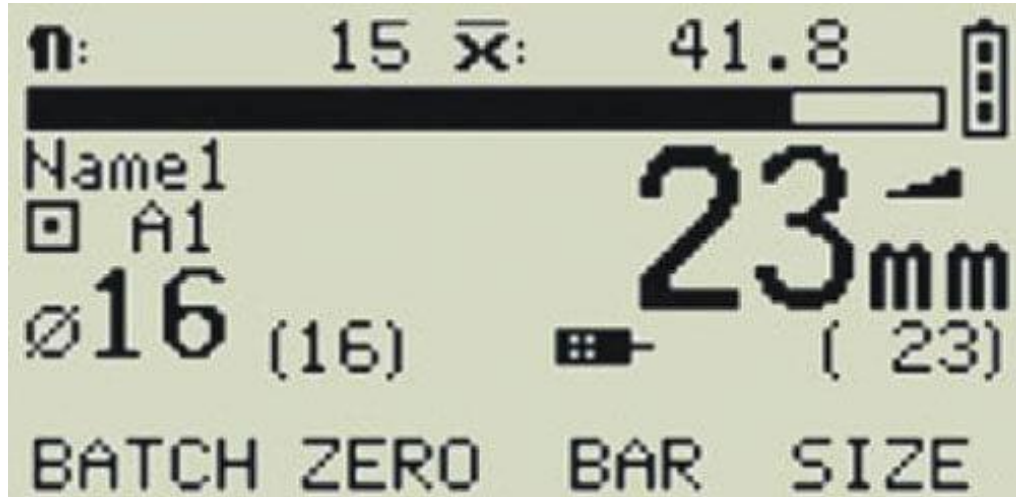
Pilareiden betonipeitteen määrät olisi syytä tutkia valujen jälkeen, jotta saataisiin varmuus siitä, että pilarien betonipeitteen määrät ovat suunnitelmien mukaiset. Peitteen mittaamista varten on kehitetty erilaisia betonipeitepaksuusmittareita.



**Kuva 13 Peitepaksuusmittari Elcometer 331**

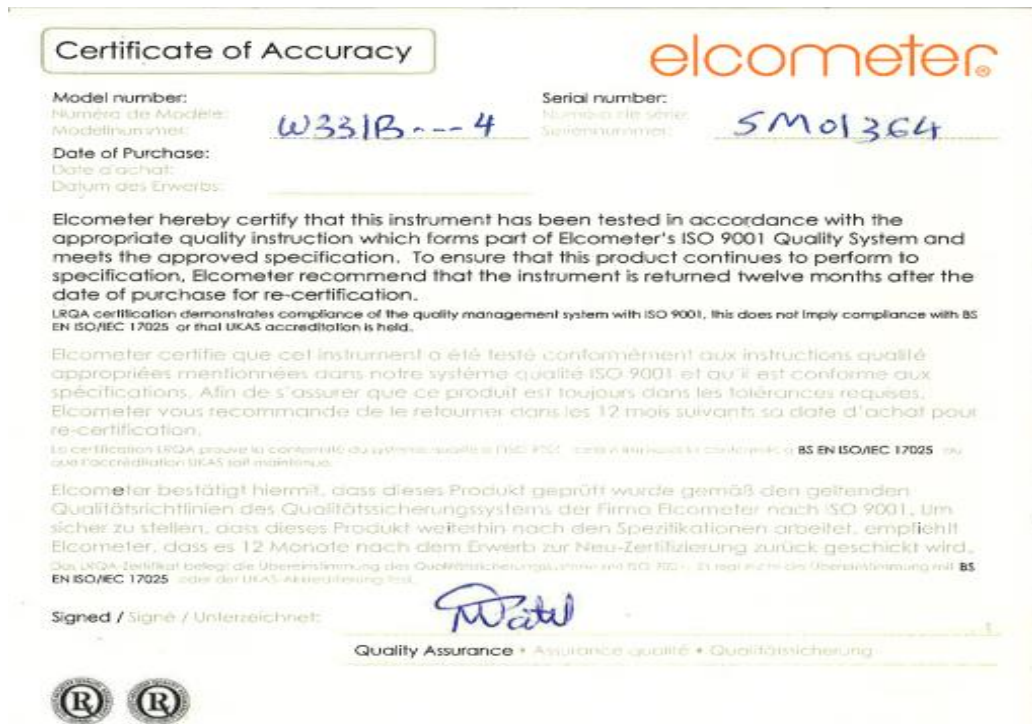
YIT Triplan kohteissa käytettiin kuvan mukaista Elcometer 331 -peitepaksuusmittaria. Mittari havaitsee betonin sisällä olevan teräksen ja ilmaisee sen etäisyyden laitteen mitatapäästä. Laitteen graafinen näyttö ilmaisee peitekerroksen paksuuden ja äänisignaalin vahvuudella voi seurata raudituksen etäisyyttä. Laitteeseen voi säätää raudituksen halkaisijan koon, jolloin sillä voi erotella halutun osan raudituksesta. Laite on kevyt ja sitä on helppo kantaa mukana olkahihnan avustuksella.

Mittarilla voi mitata 12 millimetristä parhaillaan 200 millimetriin asti. Mittatarkkuus on noin  $\pm 3$  mm välillä.



Kuva 14 Laitteen graafinen näyttö

Betonipeitemittari pitää tarkastuttaa ennen käyttöönottoa, jotta saadaan riittävä varmuus mittaustuloksien oikeellisuudesta. Tarkastetusta peitemittarista annetaan erillinen sertifiikaatti.



Kuva 15 Sertifiikaatti

Triplan kohteissa pilarit mitattiin kaikilta sivuilta pilareiden ylä- ja alareunoista ja tulokset merkittiin tabletilla Excel-taulukkoon, josta ne siirrettiin koneelle tarkasteltaviksi. Pilareista piti putsata kaikki roiskeet pois mitattavilta alueilta luotettavan tuloksen saamiseksi. Taulukon pohjalta suunnittelijat tekivät päätökset pilareista, jotka piti korjata.

Vahanan Oy:ltä tilattiin asiantuntija antamaan varmennuskoulutus pilarien mittauksista. Asiantuntija seurasi kahden päivän ajan pilarien mittauksia ja opasti tarvittaessa mittajia. Haasteena oli varmistaa, että mittaustulos tuli varmasti pääteräksestä, eikä esimerkiksi hakasesta, rosterisesta välikkeestä tai sidelangasta. [11].

	YP	YL	YE	YI	AP	AL	AE	AI		
E/28	56	53	45	39	59	50	42	40	vk12	vk12
E/27	38	45	35	31	40	42	37	42	vk35	vk42
E/26	45	49	34	32	39	44	46	54	vk35	vk42
E/25	34	39	40	39	54	42	41	39	vk35	vk42
E/23	36	41	47	38	52	39	37	50	vk35	vk42
E/22	45	36	43	41	39	39	55	47	vk35	vk42
E/21	48	39	28	46	47	42	42	51	vk35	vk42
E/20	32	54	44	28	47	42	39	46	vk35	vk42
E/19	37	54	41	30	39	42	43	46	vk29	vk42
E/18	25	36	49	51	43	36	43	47	vk29	vk42
E/17	41	39	45	49	48	52	37	40	vk29	vk42
E/16	42	43	53	47	40	45	49	45	vk29	vk12
E/14	51	42	45	41	37	43	42	37	vk29	vk42
E/13	36	43	47	43	37	37	41	46	vk35	vk42
E/12	42	48	44	45	49	46	40	43	vk35	vk42
E/11	46	41	43	40	36	39	48	41	vk35	vk42
E/10	43	44	46	41	45	37	45	41	vk35	vk42
E/9	40	43	47	41	36	41	44	39	vk35	vk42
E/8	37	43	46	45	41	42	39	42	vk35	vk42
E/5	50	43	42	46	38	49	50	36	vk42	vk49
E/4	40	38	38	46	42	43	39	34	vk42	vk49
E/3	48	45	41	43	42	41	43	50	vk49	vk51
E/2	47	47	42	39	50	40	50	45	vk49	vk51
E-D/7	38	43	42	48	40	45	41	39	vk35	vk42
E-G/14	51	51	41	48	46	40	40	56	vk35	vk42
E-G/13	47	36	41	47	47	43	41	50	vk35	vk42
E-G/12	43	47	39	51	44	37	40	55	vk35	vk49
E-G/4	42	51	46	49	38	38	48	47	vk49	vk49
E-G/3	47	58	58	49	41	46	42	43	vk49	vk51
E-G/2	49	57	41	42	47	58	40	39	vk51	vk51
E-F/7	49	41	42	43	40	43	36	39	vk35	vk42

Kuva 16 Mittaustuloksia Excelissä. Yli 35 mm tulokset vihreällä, 30-35 mm tulokset keltaisella ja alle 30 mm tulokset punaisella

Mittausten alkutaipaleessa haasteena oli päästä urakoitsijan kanssa yhteisymmärryksen korjausta vaativista pilareista. Tätä varten urakoitsijat kävivät toisinaan myös itse mukana pilarien mittauksissa omien mittalaitteiden kanssa ja tuloksia vertailtiin. Muutama pilari jouduttiin piikkaamaan ylä- ja alapäistä auki todisteiksi alhaisista betonipeitteistä. Aluksi pilarien mittaus oli hidasta, koska jatkuva alapäiden mittaaminen aiheutti

rasitusta selkään sekä polviin. Yläpäiden mittauksiin tarvittiin työskentelypukkia pilarien korkeuksien takia ja sen siirtely pilarista toiseen vei aikaa. Tätä varten mittalaitetta varten tehtiin vanerista mittakeppi, johon peitemittarin mittapää asetettiin. Puun ansiosta mittalaitteelle ei tullut häiriöitä ylimääräisestä teräksestä. Mittakepin ansiosta pilarien mittaaminen nopeutui huomattavasti, koska yläpäiden mittaamiseen ei tarvittu pukkia ja alapäiden mittaamista varten ei tarvinnut enää kyyristyä joka taas säästi mittaajan selkää ja polvia. Mittakepin käyttö vaati aluksia hieman harjoittelua, jotta saatiin varmuus yläpään mittojen oikeellisuudesta.

### 6.3 Pilarien korjaus

Pilarien vahvistuksille on monia menetelmiä, joita ovat esimerkiksi manttelointi ja rappaaminen. Mantteloinnilla tarkoitetaan pilarin ympärille valettavaa betonipaksunnosta, jonka tehtävänä on joko kasvattaa pilarien kapasiteettia tai palauttaa vahingoittuneelle pilarille sen kantokyky. Mantteloinnilla pystytään kuormituskapasiteetin lisäksi kasvattamaan pilarin jäykkyyttä, palonkestoaikaa sekä kestävyyttä ympäristön rasituksia vastaan.

Pilarien rappaamisella tarkoitetaan rakenteen pinnoittamista. Rappaamisen tarkoituksena on lisätä pilarin betonipeitettä ja sen myötä palauttaa pilarille sille vaaditut paloluokitukset ja käyttöikämitoitukset.

Tässä työssä keskitytään Triplan työmaan Pysäköintilaitoksen ja Kauppakeskuksen pilarien korjauksiin. Pilareissa oli mittauksien jälkeen todettu betonipeitteissä poikkeamia suunniteltuun, joten rappaamisen tarkoituksena oli kasvattaa pilarien kapasiteetti takaisin suunniteltuun tasoon rappaamalla pilareihin suojakerros parantamaan betonipeitettä. [13].

#### 6.3.1 Korjaustarpeen määrittäminen

Korjaustarpeen määrittämiseksi oli ensin selvitettävä pilarin betonipeitteen minimivaatimukset. Betonipeite määritellään perustuen paloluokkaan tai betonin rasitusluokkaan. Betonin lujuudella on vaikutusta betonipeitteen vaikutuksiin.

Esimerkiksi Triplan Kauppakeskuksessa ja Pysäköintilaitoksessa betonien paloluokitukseksi oli määritelty R120, mutta rasisluokiksi kauppakeskukselle oli määritetty XC1 ja pysäköintilaitokselle XD1. Tämän johdosta kauppakeskuksen pilarit mitoitettiin perustuen paloluokkaan ja pysäköintilaitoksen pilarit perustuen betonin rasisluokkaan. Pilarit olivat lujuudeltaan C50/60 sekä muutamat olivat lujuudeltaan jopa C70/85.

Palomitoituksessa eurokoodin mukaan pienin sallittu pääraudoitteiden keskiöetäisyys pinnasta on 50 mm. Koska pilareissa käytettiin 32 mm pääterästä ja hakateräksen koko vaihteli 10-12 mm välillä, niin taulukkomitoituksen mukaan kauppakeskuksen pilarien vaadituksi suojabetonin määräksi riitti 24 mm. Kauppakeskuksen pilareille tehtiin myös laskelmia onnettomuustilanteen kuormilla, joissa pilarien terästen lujuutta pienennettiin 20%, mikä aiheutuu terästen lämpötilan kasvusta pilareiden nurkista, kun suojabetonina hakaan käytetään 20 mm. Kyseisten laskelmien mukaan kauppakeskuksen pilarien riittäväksi suojabetonin määräksi riitti 20 mm.

Pysäköintilaitoksessa rasisluokka XD1 vaati BY50 taulukon mukaan pilareille 45 mm suojabetonin +-10 poikkeamalla. Koska pilarien lujuus oli C50/60, niin BY50 ohjeiden mukaan vaadittu käyttöikä saavutettiin huomattavasti pienemmällä suojabetonilla. Pysäköintilaitoksen suojabetonin määräksi riitti 25 mm. [13.]

### 6.3.2 Korjaus

Triplan pilarit olivat juuri valmistettuja ja lujuudeltaan erittäin kovia, joten lähtökohtana oli pelkästään betonipeitteen kasvattaminen pieninä määrinä. Suunnittelussa otettiin huomioon yllä olevat seikat, pilarin pinnoille vaikuttava rasis. Kustannusten minimoimisen sekä aikataulun takia toteutuksen piti olla mahdollisimman helppoa ja nopeaa. [13].

Triplan pilarit päätettiin korjata rappaamalla, koska sillä saatiin hoidettua pilarien rasisluokkien vaatima suojabetoni sekä sillä saavutettiin pilarien vaatima palosuojaus ja käyttöikä. Kustannuksiltaan ja työmäärältään rappaus oli myös edullisin vaihtoehto ja pilarien ulkonäkö saatiin säilytettyä yhtenevänä muihin pilareihin. Ennen varsinaista korjaustyötä, työmaalla suoritettiin kaksi mallikorjausta. Mallikorjaukset tehtiin pyöreälle ja suorakulmaiselle pilarille. Mallikorjaukset oli hyväksyttävä suunnittelijalta ja arkkitehdiltä ennen korjaustöiden aloitusta.

Pilarin korjaustyön vaiheisiin kuuluivat,

1. Pilarin koneellinen hionta

Hiomisen tarkoituksena oli poistaa pilarista sementtiliimapinnat sekä irtonaiset roskat pois rappauksen tarttuvuuden takaamiseksi.

2. Pilarin käsittely tartuntapohjusteella (Start Primer)

Pilari käsiteltiin huolellisesti primerillä ennen rappausverkon asentamista. Start Primer on tartuntapohjuste, jonka tarkoituksena on parantaa tasoitteen ja tasoitettavan pinnan tartuntaa. Primer on vesiohenteista ja sitä levitetään ohueksi tasaiseksi kerrokseksi esimerkiksi huopalastalla tai harjalla.

3. Rappausverkon asentaminen

Pilarin ympärille asennettiin rappausverkot ennen rappaamista. Suunnittelijan vaatimuksien takia verkon oli oltava kuumasinkittyä, koska se suojaa pilaria hyvin korroosiolta. Rappausverkko kiinnitettiin pilariin mekaanisesti pilarin korjaussuunnitelman mukaan.

4. Pilarin rappaus

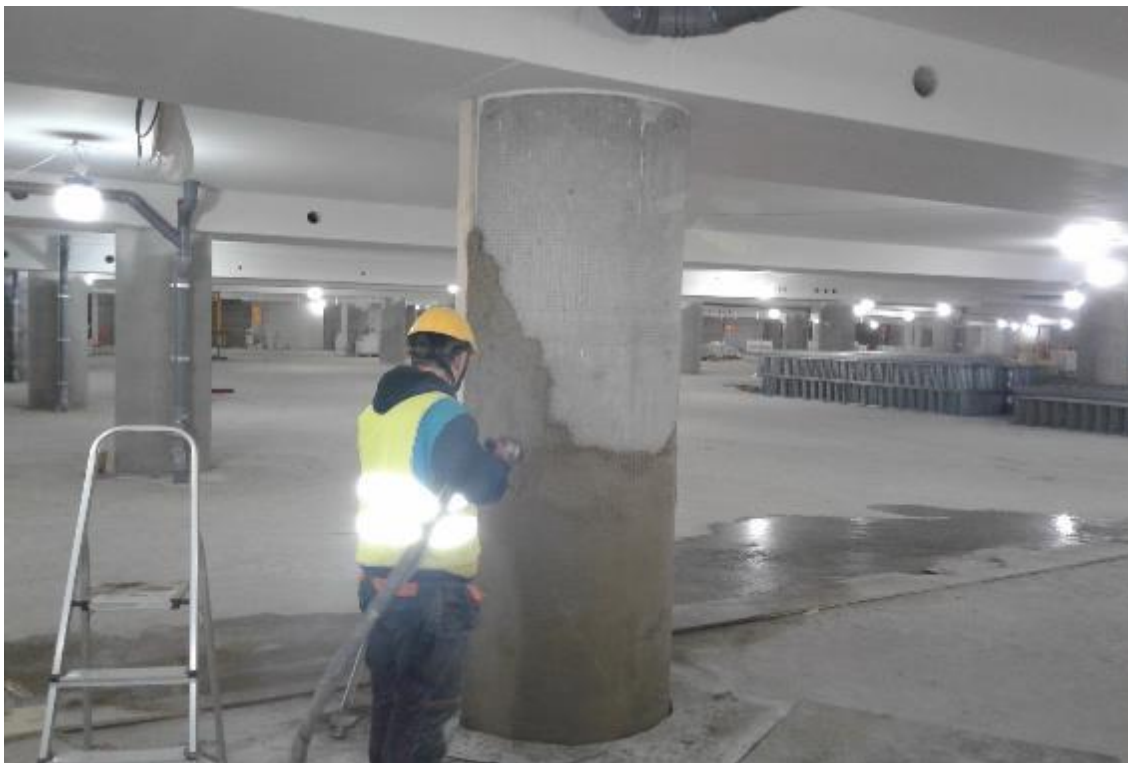
Ennen rappausta pilarin pinta, primeri sekä rappausverkon kiinnitykset tarkastettiin huolellisesti. Pilarin pohjan oli oltava mattakostea ennen rappauksen aloittamista hyvän tartunnan takaamiseksi. Pilarit rapattiin ruiskuttamalla rappauslaasti suoraan pilarin pinnalle valmistajan ohjeiden mukaisesti. Rappauslaastina käytettiin Sika MonoTop-412N betoninkorjauslaastia, koska se täytti pilareille laaditut laatuvaatimukset. Rappauskerroksen paksuus vaihteli 15-30 mm välillä riippuen pilarin betonipeitteen puutteellisesta määrästä. Rappauslaasti tasoitettiin huolellisesti kauttaaltaan lastalla hyvän pinnan takaamiseksi. Tasoittamisen jälkeen rappauslaasti käsiteltiin jälkihoitoaineella pinnan halkeilun estämiseksi.

## 5. Pilarin laadun tarkistaminen

Jokainen pilari tarkistettiin rappauksen jälkeen ja ne dokumentoitiin Congrid-järjestelmään.



Kuva 17 Pilari valmiina rappausta varten



**Kuva 18 Pilarin rappaus (huomioi, että pilaria ei ole käsitelty primerillä)**

### 6.3.3 Ongelmia korjaamisen kanssa

Ensimmäisien pilarien rappaukset alkoivat halkeilla sekä niissä havaittiin kopoja noin 2-3 viikon kuluttua rappauksista. Rappauksien kopojen syynä pidettiin aluksi primerin puuttumista, koska ensimmäisissä pilareissa sitä ei käytetty. Pilarit käsiteltiin primerillä valmistajan ohjeiden mukaisesti ensimmäisien ongelmien jälkeen, mutta pilareissa havaittiin edelleen pieniä kopoja sekä halkeilua. Varmaa syytä kopojen syntymiselle ei saatu selvitettyä tämän opinnäytetyön teon aikana, mutta epäilyksenä on, että rappaus ei mahdollisesti päässyt tarttumaan/kovettumaan kunnolla pilariin jatkuvasti kohdistuneiden rakennusaikaisten värinöiden sekä rasituksen takia. Myös jännitettyjen holvien tuoma oma rasitus pilarien pinnoille saattoi vaikuttaa rappauksen tarttuvuuteen.

Vialliset pilarit tutkittiin ja rakennesuunnittelijat hyväksyivät pilarit, koska ne täyttivät palokuormituksen sekä käyttöiän vaatimat määräykset. Halkeilun johdosta pilarien pinnoilla oli edelleen esteettisiä haittoja, minkä johdosta arkkitehdit eivät hyväksyneet pilareita. Esteettisiä haittoja lähdettiin korjaamaan elastisilla tasoitteilla ja maaleilla. Tasoitteina ja maaleina käytettiin Sto Finexter Oy:n tuotteita.

Korjaustöistä suoritettiin mallikappaleet sekä suorakulmaisista että pyöreistä pilareista. Mallikatselmuksissa todettiin, että pilarien haljenneille pinnoille riitti minimivaatimuksena 1-2 mm StoCrete elastista tasoitetta, sekä muutoin StoCryl elastista maalia valmistajan ohjeiden mukaisti. Korjatut pilarit tarkastettiin huolellisesti itselleluovutuksien yhteydessä ja dokumentoitiin Congrid-järjestelmään. [11.]

#### 6.4 Lisäkustannukset

Pysäköintilaitoksen pilarien korjaustyöt tulivat maksamaan urakoitsijalle kokonaisuudessaan noin 70 000 €, josta rappaukset noin 50 000 € ja elastiset käsittelyt 20 000 €. Keskiarvallisesti yhden pilarin hionta ja rappaus työ maksoi noin 190 €. [14].

Kauppakeskuksesta ei tämän opinnäytetyön aikana ehditty saamaan kustannuksia korjatuista pilareista, mutta kustannukset tulevat olemaan pienemmät pysäköintilaitokseen verrattuna, koska kauppakeskuksessa oli huomattavasti vähemmän korjattavia pilareita. Tämä johtui siitä, että pysäköintilaitoksessa ilmenneisiin ongelmiin havahduttiin rakennusvaiheessa ja työmenetelmiä muutettiin kauppakeskuksen rakentamisen aikana. Työmenetelmien muuttaminen tuotti tulosta ja korjattavien pilarien määrä väheni huomattavasti.

Paksuus	Korkeus	Leveys	M2	Hionta €/m2	Rappaus €	Pilari
0,2	2,8	1,2	3,36	20,16	194,34	22m
0,2	2,8	0,9	2,52	15,12	145,76	22kl
0,2	2,8	1,2	3,36	20,16	194,34	21m
0,2	2,8	1,2	3,36	20,16	194,34	20m
0,2	2,8	1,2	3,36	20,16	194,34	17m
0,2	2,8	0,9	2,52	15,12	145,76	16e
0,2	2,8	1,2	3,36	20,16	194,34	16g
0,2	2,8	0,9	2,52	20,16	145,76	16k
0,2	2,8	1,2	3,36	20,16	194,34	15m
0,2	2,8	0,9	2,52	20,16	145,76	14m
0,2	2,8	0,9	2,52	20,16	145,76	14lm
0,2	2,8	1,2	3,36	20,16	194,34	15k
0,2	2,8	1,2	3,36	20,16	194,34	13e
0,2	2,8	0,9	2,52	20,16	145,76	17c
0,2	2,8	1,2	3,36	20,16	194,34	17bc
0,2	2,8	0,9	2,52	20,16	145,76	18bc
0,2	2,8	1,2	3,36	20,16	194,34	21a
0,2	2,8	1,2	3,36	20,16	194,34	26bc
0,2	2,8	1,2	3,36	20,16	194,34	28a
<b>YHT:</b>				<b>372,96</b>	<b>3352,41</b>	

**Lisätyöt:**

Pilareiden alareunan piikkaus P5 kerros 3h

Lisä kiinnikkeiden laittaminen P2 kerros (6 pilaria) (ei sisällä materiaaleja) 14h korkeat ja leveät pil.

**Laskutus yhteensä: 4269,37€**

Hionat: 372,96€

Rappaukset: 3352,41€

**Kuva 19 Aliurakoitsijan pilarien rappaustöiden pöytäkirja**

Vaikka pilarien korjaustöistä urakoitsijalle syntyi lisäkustannuksia, on otettava huomioon, että pysäköintilaitoksen ja kauppakeskuksen runkotyöt valmistuivat ajallaan ja Tripla-hanke pääsi etenemään normaalin aikataulun mukaisesti. Noin miljardin euron suurhankkeessa runkovaiheen viivästykset voivat tuoda miljoonien eurojen lisäkustannuksia hankkeen lopullisen aikataulun viivästymisen johdosta.

## 7 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kertoa yleisesti paikallavaletuista pilareista, sekä mitä haittavaikutuksia betonipeitteen puute aiheuttaa pilarille, miten puutteellinen betonipeite korjataan ja mitä lisäkustannuksia se tuo työmaalle

Paikallavalupilarien työstäminen on haasteellista niiden tiukkojen toleranssien takia. Pilarien betonipeitteen puutteen syntyminen voi johtua monista syistä. Senttimetrin liian ohut betonipeite voi vähentää pilarin käyttöikää kymmenillä vuosilla ja tulipalotilanteissa se vaikuttaa pilarin toimivuuteen ja kantokykyyn.

Mittauksilla saadaan selvitettyä valujen jälkeen betonipeitteissä ilmenneitä puutteita.

Pilarien korjaustyöt ovat haasteellisia ja ne tuovat turhia lisäkustannuksia hankkeille. Vaikka Triplan työmaalla pilarien korjaustöistä muodostuneet lisäkustannukset olivat pieniä verrattuna siihen, että runkovaiheen aikataulu olisi viivästynyt pilarien takia, voi se helposti näkyä pienempien työmaiden budjetissa.

Triplan työmaalla betonipeitteiden puutteisiin havahduttiin jo rakennusvaiheessa, jonka johdosta työmenetelmiä muutettiin. Muutokset tuottivat tulosta ja kauppakeskuksessa oli korjattavia pilareita huomattavasti vähemmän.

## 8 Pohdinta

Haastatteluissa kävi ilmi, että urakoitsijoiden aikaisemmilla kohteilla ei oltu suoritettu betonipeitteiden mittauksia valujen jälkeen. Triplan projekti on ollut poikkeuksellinen mittauksien suhteen, koska betonipeitteiden lisäksi myös betonirakenteiden lujuudet mitattiin jälkikäteen kimmovasaralla. Mittauksilla todettiin, että betonin lujuus vastasi suunnitelmassa määritellyjä vaatimuksia.

Betonirakenteiden betonipeitteitä ja lujuuksia olisi syytä mitata myös muilla rakennustyömailla, koska niillä voidaan todeta, että rakenne täyttää sille laaditut vaatimukset.

Haastatteluissa selvisi myös, että Triplassa tapahtuneiden pilarien betonipeitteiden puutteiden johdosta tulevaan Suomen Betoniyhdistyksen betoninormistoon tehdään muutoksia pilarien toleransseihin liittyen. Pilarien toleransseja tullaan nostamaan, mikä vaikuttaa pilarien suunnitteluun ja sen myötä niiden rakentamiseen. Toleranssien kasvattamisen tavoitteena on jatkossa helpottaa pilarien rakentamista ja näin välttää mahdollisia betonipeitteiden puutteita. [12].

## Lähteet

1. YIT kotisivut: Tietoa YIT:stä (<https://www.yitgroup.com/fi/tietoa-yitsta>) Luettu 13.8.2018
2. Triplan verkkosivut: Näin rakentuu Tripla (<https://tripla.yit.fi/nain-tripla-rakentuu>) Luettu 13.8.2018
3. Suomen Betoniyhdistys ry Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. Seitsemäs painos. Helsinki: Suomen betonitieto Oy
4. Suomen betoniyhdistys ry Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja by 211 osa 1. Helsinki: Suomen betonitieto Oy
5. Suomen betoniyhdistys ry Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja by 211 osa 2. Helsinki: Suomen betonitieto Oy
6. Suomen betoniyhdistys ry Betoninormit 2016 by 65. Helsinki: BY-Koulutus Oy
7. Rakennusteollisuus RTT Oy. Valmisbetonijaos Saatavissa (<http://www.rudus.fi/Download/23937/Betonityomaaohje.pdf>) Luettu 6.8.2018
8. Valmisbetoni nettisivu: Lujuuden kehitys (<http://www.valmisbetoni.fi/toteutus/betoniteknologia/lujuuden-kehitys>) Luettu 6.8.2018
9. Finnsementti nettisivu: Betonin rasisluokat lyhyesti (<http://www.finnsementti.fi/tietoa-betonista/tietoa-betonista-suunnittelijalle/betonin-rasisluokat-lyhyesti>) Luettu 12.5.2018
10. Sähköpostihaastattelut: YIT Rakennus toimihenkilöt, Top Building toimihenkilöt, AKR betoni toimihenkilöt, Ramboll Oy rakennesuunnittelijat. Haastattelut suoritettu 15.11.2017-12.1.2018 aikana sähköpostin välityksellä.
11. Haastattelu. Työnjohtajat. YIT Oy. Talvi-Syksy 2018
12. Haastattelu. Yksikön päällikkö. Pohjola Rakennus. Syksy 2018

13. Haastattelu. Rakennesuunnittelijat. Ramboll Oy. Talvi 2018

14. Haastattelu. Työnjohtaja. Top Building Oy. Kevät 2018

## **Haastattelu kysymykset YIT Triplan toimihenkilöille, Ramboll Oy:n rakennesuunnittelijoille sekä aliurakoitsijoiden projektipäälliköille ja työnjohtajille.**

Haastattelut on suoritettu marraskuun 2017 – tammikuun 2018 aikana sähköpostin välityksellä.

### **YIT Triplan sähköpostihaastattelu.**

#### **Taustaa:**

Pilarien betonipeitteissä on havaittu puutteita ja ne tulee tästä syystä korjata.

1. Mistä pilarien betonipeitteen puute teidän mielestänne johtuu?
  - Aikataulu?
  - Toleranssit? Pääterästen määrä ja koko suunnitelmiin verrattuna?
  - Korkeat pilarit?
  - Muu?
2. Miten tämän voisi jatkossa välttää
3. Eroaako YIT:n tapa rakennuttaa pilarit muiden yritysten suurista kohteista? Miten?
4. Eroaako Triplan tapa rakennuttaa pilarit muista YIT:n suurista kohteista? Miten?
5. Onko pilarien betonoinnin aikana tullut ongelmia, jotka ovat johtaneet betonipeitteen puutteeseen?
  - Välikkeiden kesto valun aikana? muovinen ja rosteri?
  - Muu?
6. Omia mielipiteitä betonipeitteen puutteen syntymiseen pilareissa.

## Triplan pilarien korjausohje

2

### SUOJABETONIMITTAUKSET

Pysäköintilaitoksen ja kauppakeskuksen kaikista pilareista on laadunvarmistamiseksi mitattu suojabetonit, joissa on havaittu poikkeamia suunniteltuun. Suojabetonipeite on mitattu kaikilta sivuilta pilareiden ylä- ja alaraunasta ja ne on dokumentoitu excel taulukoon.

### BETONIPEITTEEN MÄÄRITTÄMINEN

Suojabetonipeite on määritetty perustuen R120 paloluokkaan tai betonin raistusluokkaan. Suojabetonipeite on ollut kaikissa pilareissa 45mm sisältäen suurimman sallitun sijainti poikkeaman 10mm.

Pysäköintilaitoksen rasisuokka XD1 vaatii BY50 taulukon mukaan kyselyn 45mm suojabetonin (+-10mm). Laskemalla BY50 ohjeen mukaan vaadittu käyttöikä 100v pilareissa saavutetaan huomattavasti pienemmällä suojabetonilla pilareiden korkean betonin lujuuksien ansiosta. Kaikki pilarit ovat lujuudeltaan vähintään C50/60. Tarvittava käyttöikä pysäköintilaitoksessa saavutetaan pilareiden osalta 25mm suojabetonilla.

Palomitoituksessa Eurokoodien mukaan pienin sallittu pääraudoitteen keskiöetäisyys pinnasta on 50mm. Kaikissa pilareissa on käytetty 32mm harjaterästä ja hakakoko 10-12mm, jolloin vaadittu suojabetoni taulukkomitoituksen mukaan on 24mm. Pilareista on tehty laskelmia onnettomuustilanteen kuormilla pienentämällä terästen lujuutta 20%, mikä aiheutuu terästen lämpötilan kasvusta pilareiden nurkista kun suojabetonina hakaan käytetään 20mm. Kyseiset laskelmat eivät olleet mitoitettavia, joten voidaan todeta että suojabetoni voi olla 20mm palomitoituksen puolesta.

### PILAREIDEN KORJAUS TOIMENPITEET

Pilarit pinnoitetaan betonirakenteiden korjaukseen tarkoitettulla laastilla Sika MonoTop®-412 N. Rappauksessa pitää olla kuumasinkitty rappausverkko (esim. Fescon Oy:n langan vahvuus 1mm silmäkoko 19\*19mm) mikä on mekaanisesti pilariin kiinnitetty, kiinnitys pisteet esitetty liitteessä 1. Jos käytetään muuta laastia, pitää tuote hyväksyttää rakennesuunnittelijalla.

Pilarin kyljet joissa suojabetoni <12 rappauksen paksuus 30mm.

Pilarin kyljet joissa suojabetoni 12-20 rappauksen paksuus 20mm.

Pilarin kyljet joissa suojabetoni 20-25 pitää pinnoittaa pysäköintilaitoksessa joko rappaamalla 15mm tai pinnoittamalla esim.epoksi- tai polyuretaanipinnoitteella.

Pilareiden rappauspinta pitää toteuttaa niin että lopullinen pinta on yhtänevä koko pilareissa.

Pilarien kylkien suojabetonipaksuudet on esitetty liitteenä olevissa piirustuksissa jo mitattujen pilareiden osalta.

Punainen väri <12

Magenta väri 12-20

Keltainen väri 20-25

Pilvellä merkattu pilarit joiden suojabetoni ei vielä tiedossa.

Liite 1.

