

Jarkko Matilainen

# CFT-liittopilarin betonointiohje

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

28.04.2017

Tekijä Otsikko	Jarkko Matilainen CFT-liittopilarin betonointiohje
Sivumäärä Aika	48 sivua + 3 liitettä 4.06.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennetekniikka
Ohjaajat	Projektipäällikkö Ville Tarvainen, Sweco Rakennetekniikka Oy Lehtori Timo Leppänen, Metropolia AMK
<p>Insinööriyön tavoite oli tutkia CFT-liittopilarin valamista ja päivittää Sweco Rakennetekniikka Oy:lle liittorakenteiden toteutuseritelmä liittopilarien osalta. Työn keskeinen päämäärä oli selvittää ja yksilöidä seikkoja, joilla voidaan vaikuttaa CFT-liittopilarin onnistuneeseen betonointiin. Insinööriyön tavoitteena oli myös jäsenellä selkeästi nämä valamiseen vaikuttavat asiat ja koota niistä ohje rakennustyötä valvovan henkilön avuksi.</p> <p>Insinööriyön toteuttaminen aloitettiin tutkimusongelman täsmentämisellä ja kirjallisen lähdemateriaalin keräämisellä. Asiasta oli kotimaassa heikosti saatavilla tietoa, joten lähdemateriaalin hankinnassa on turvauduttu suurelta osin ulkomaisiin tutkimuksiin ja tiedeartikkeleihin sekä kotimaisten asiantuntijoiden haastatteluihin ja havaintoihin rakennustyömaalla. Työssä on käytetty runsaasti kuvitusta erilaisten asioiden ja ongelmien havainnollistamiseksi. Insinööriyö tehtiin valvovan rakennesuunnittelijan näkökulmasta, ja työn painopiste onkin laadunvalvonnassa ja CFT-liittopilarivalun toteutettavuudessa.</p> <p>Insinööriyön tuloksena saatiin koottua CFT-liittopilarin betonointiin vaikuttavia seikkoja ja niihin liittyviä riskejä. Kerätyn tiedon perusteella työn liitteeksi laadittiin työmaalle tarkoitettu tarkistuslista betonointia varten. Tarkistuslistan tavoitteena on minimoida työmaalla esiintyvät valutyöhön liittyvät riskit. CFT-liittopilarin betonointi on kuitenkin monen tekijän summa ja sen onnistumiseen tai epäonnistumiseen voidaan vaikuttaa monessa vaiheessa. Valun onnistumiseen vaikuttavat jo suunnittelussa tehdyt valinnat sekä betonin koostumus, laadunvalvonta ja pumppaustekniikka. Työn lopputuloksena määriteltiin myös näihin tekijöihin liittyvät riskit ja esitettiin ehdotuksia jatkokehitystoimenpiteiksi.</p>	
Avainsanat	valuohje, CFT-liittopilari, rakentaminen, valuprosessi, laadunvarmistus

Author Title Number of Pages Date	Jarkko Matilainen Casting instructions for the CFT column 48 pages + 3 appendices 4 June 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Structural Engineering
Instructors	Ville Tarvainen, Project Manager, Sweco Structures Oy Timo Leppänen, Senior Lecturer, Metropolia UAS
<p>The aim of this Bachelor`s thesis was to study the casting of the CFT column and to update Sweco Structural Engineering Finland execution specification for the composite columns. The central research problem of the thesis was to clarify and identify issues that could affect the successful concreting of CFT columns. The aim of the thesis was also to clearly outline these issues and to compile into a set of guidelines to help person supervising the construction work.</p> <p>The implementation of the Bachelor's thesis was started by clarifying the research problem and by collecting written material. There was little information available in Finnish, so the source material consist largely of foreign studies and science articles, as well as on interviews with domestic experts and on observations made at the construction site. Many of illustrations have been used in the thesis to illustrate various issues and problems. The thesis was done from the point of view of the structural designer and the emphasis was on quality control and the feasibility of the CFT column design.</p> <p>As a result of the thesis project, the issues surrounding the concreting of the CFT column and the related risks were gathered. On the basis of the collected data, a checklist for the casting of concrete was made. The aim of the checklist is to minimize the mistakes associated with casting work on site. Concreting the CFT column is, however, the sum of many factors, and its success or failure can be influenced in many phases. The success of the casting is already influenced by the design choices as well as by the concrete composition, quality control and pumping technology. As a result of this thesis, the risks and further development measures related to these issues were also defined.</p>	
Keywords	casting instructions, CFT column, construction of CFT column, casting process, quality assurance

## Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	1
<b>2</b>	<b>CFT-liittopilarit</b>	2
2.1	Liittopilarit yleisesti	2
2.2	CFT-pilarin etuja	4
2.3	Toimintaperiaate	7
2.3.1	Erot betoni- ja teräspilareihin verrattuna	7
2.3.2	Kuormittaminen	7
2.3.3	Rakentamisesta aiheutuvat rasitukset	11
2.4	Liitokset	11
2.4.1	Yleisesti	11
2.4.2	Mekaaninen leikkausliitos	12
2.5	Rakenne	14
2.5.1	Höyrypoistoratkaisut	14
2.5.2	Palosuojaus	15
2.5.3	Betoniraudoitus	15
2.6	Asennus	16
2.6.1	Pystysuoruuden varmistus	17
2.6.2	Rakenteen oikominen ennen valua	21
2.6.3	Tarkastusmittaus valmiista rakenteesta	21
<b>3</b>	<b>CFT-pilarin betonointi</b>	22
3.1	Betoni	22
3.2	Pumppubetonointi	24
3.3	Betonointi alakautta	24
3.3	Betonin tiivistys	29
3.4	Talvibetonointi	31
3.5	Valuprosessi	32
3.5.1	Valun valmistelu	32
3.5.2	Valutyö	34
3.6	Betonivalun laadunvarmistus	39

<b>4 Yhteenveto</b>	42
4.1 Tulokset ja päätelmät	42
4.2 Jatkokehitystoimenpiteet	44
Lähteet	46

#### Liitteet

Liite 1. Liittopilarien liitokset

Liite 2. Tarkistuslista, liittopilareiden täyttövalut

Liite 3. Liittopilarin koputtelukoe, mallilomake

## Lyhenteet

CFT Concrete Filled Tubes. Liittopilari, jossa pyöreä tai kulmikas teräsputki on täytetty betonilla.

## DATALOGGERI

Pienikokoinen ja edullinen tiedon kerääjä, jolla lämpötilan ja esimerkiksi kosteuden seuranta onnistuu monenlaisista paikoista. Tallentuneet mittatulokset on helppo siirtää tietokoneelle tarkastelua varten.

## J-RENGASTESTI

Testi jota käytetään arvioitaessa itsetiivistyvän betonimassan läpäisykykyä eli betonimassan kykyä virrata ahtaiden, esim. raudoitustankojen välisten aukkojen tai muiden esteiden läpi erottumatta tai kasautumatta.

## LEVIÄMÄKOE

Testi joka määrittää tavanomaisen tuoreen betonin notkeuden mittaamalla sen leviämisen tasaisella levyllä, jota on iskutiivistetty.

## PAINUMA-LEVIÄMÄKOE

Painuma-leviämää ja T500-aikaa käytetään itsetiivistyvän betonin valuvuuden ja virtausnopeuden arvioimiseen, kun virtaukselle ei ole esteitä. Tulos kuvaa itsetiivistyvän betonin täyttökykyä. T500-ajalla mitataan itsetiivistyvän betonin virtausnopeutta ja suhteellista viskositeettia.

LES Täyttämätön teräsputkipilari, jossa teräspoikkileikkausta kuormitetaan aksiaalisesti.

LFC Betonilla täytetty teräsputkipilari, jossa betonipoikkileikkausta kuormitetaan aksiaalisesti.

LFE Betonilla täytetty teräsputkipilari, jossa koko pilarin poikkileikkausta kuormitetaan aksiaalisesti.

LFS

Betonilla täytetty teräsputkipilari, jossa teräspoikkileikkausta kuormitetaan aksiaalisesti.

## 1 Johdanto

Tämä insinööri työ tehdään Sweco Rakennetekniikka Oy:lle. Työ käsittelee liittopilarien valutekniikkaa sekä siihen liittyviä ongelmia. Työmaiden rakennesuunnitteluvalvonnassa on epävarmuutta siitä, kuinka liittopilarien valamista tulisi valvoa ja ohjeistaa. Tutkimuksessa pureudutaan suunnitelmien ja toteutuksen välisiin ristiriitoihin ja sekä niistä mahdollisesti syntyviin ongelmiin.

Insinööri työ päätavoite on päivittää Sweco Rakennetekniikka Oy:n teräs- ja liittorakenteiden toteutuseritelmä liittopilarien osalta ajanmukaiseksi. Tutkimusta tehdään rakennesuunnitteluvalvonnan näkökulmasta ja työn tavoitteena on myös antaa rakennesuunnittelijalle työkaluja laadunvalvontaan. Näihin tavoitteisiin pääsemiseksi työssä selvitetään CFT-liittopilarivalun lopputulokseen vaikuttavia asioita. Selvityksen pohjalta tehdään yhteenveto, jossa käydään läpi valun onnistumiseen vaikuttavia seikkoja. Tavoitteiden kannalta keskeisiä kysymyksiä ovat: Millaisia työtekniikoita valussa tulisi käyttää, jotta päästäisiin parhaaseen lopputulokseen? Millaisia riskejä erilaisten työtapojen ja betonimassan valintojen suhteen on? Miten edellä mainitut riskit saataisiin hallintaan?

Insinööri työ painopiste on liittopilarien oikeaoppisessa betonoinnissa ja laadunvalvonnassa. Työn teoriaosuudessa käsitellään ensin yleisemmin liittopilaria ja sen historiaa. Myöhemmin teoriaosuudessa syvennytään mm. CFT-liittopilarien ominaisuuksiin ja toimintaperiaatteeseen. Teoriaosuuden tärkeimpänä tavoitteena on antaa hyvä käsitys CFT-liittopilarin toimintaan vaikuttavista seikoista, jotta nämä seikat voitaisiin huomioida myös pilarin betonoinnissa.

Työ on rajattu siten, että liittopilarien mitoitus käsitellään ainoastaan siltä osin, kuin se aiheen kannalta on tarpeellista. Myös betonien tarkempi analysointi ja erilaiset laboratoriotestit sekä koestukset ovat rajattu työn ulkopuolelle. Tutkimuksen tieto kerätään kirjallisista lähteistä, asiantuntijahaastatteluilta, käytännön suunnittelutyöstä ja havainnoista rakennustyömaalla.

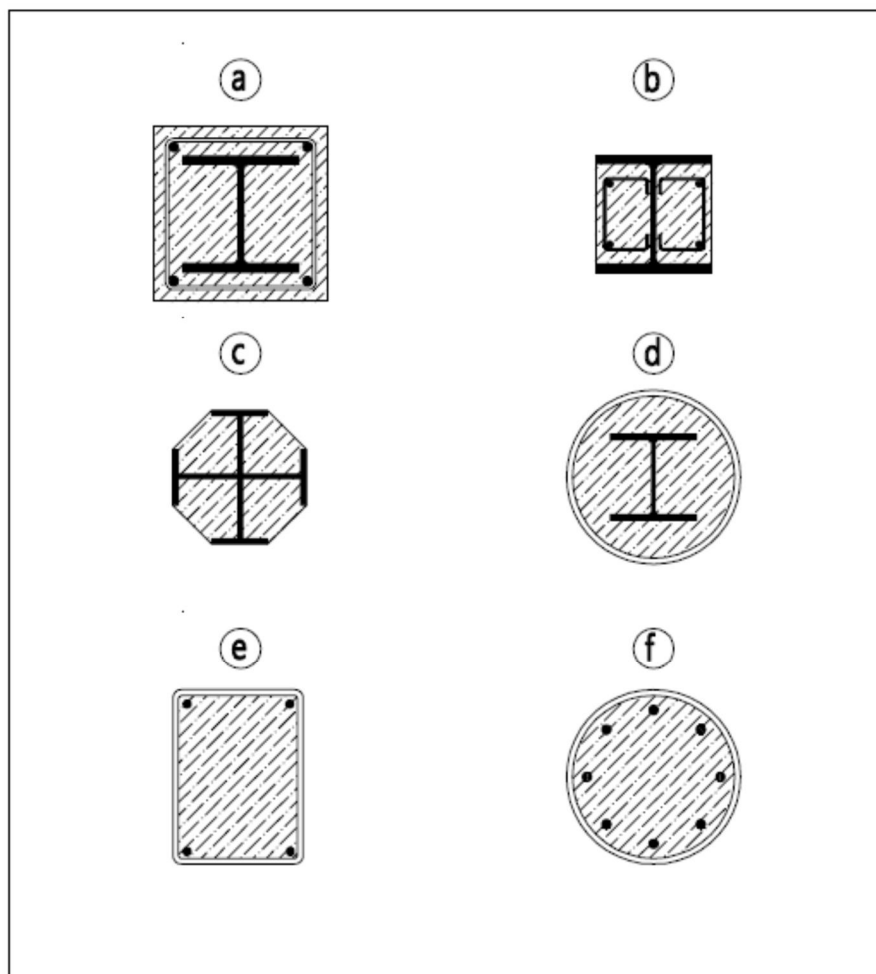


## 2 CFT-liittopilarit

Liittopilarit voidaan jakaa kahteen alaryhmään, CFT-liittopilareihin ja SRC-liittopilareihin. Pilareiden ero on se, että CFT-liittopilarissa (*Concrete Filled Tube*) teräsputki täytetään betonilla, kun SRC-liittopilareissa (*Steel Reinforced Concrete*) teräsprofiilin ympärys tai reunat valetaan kauttaaltaan betonilla umpeen. [1, s. 185; 2, s. 6.]

### 2.1 Liittopilarit yleisesti

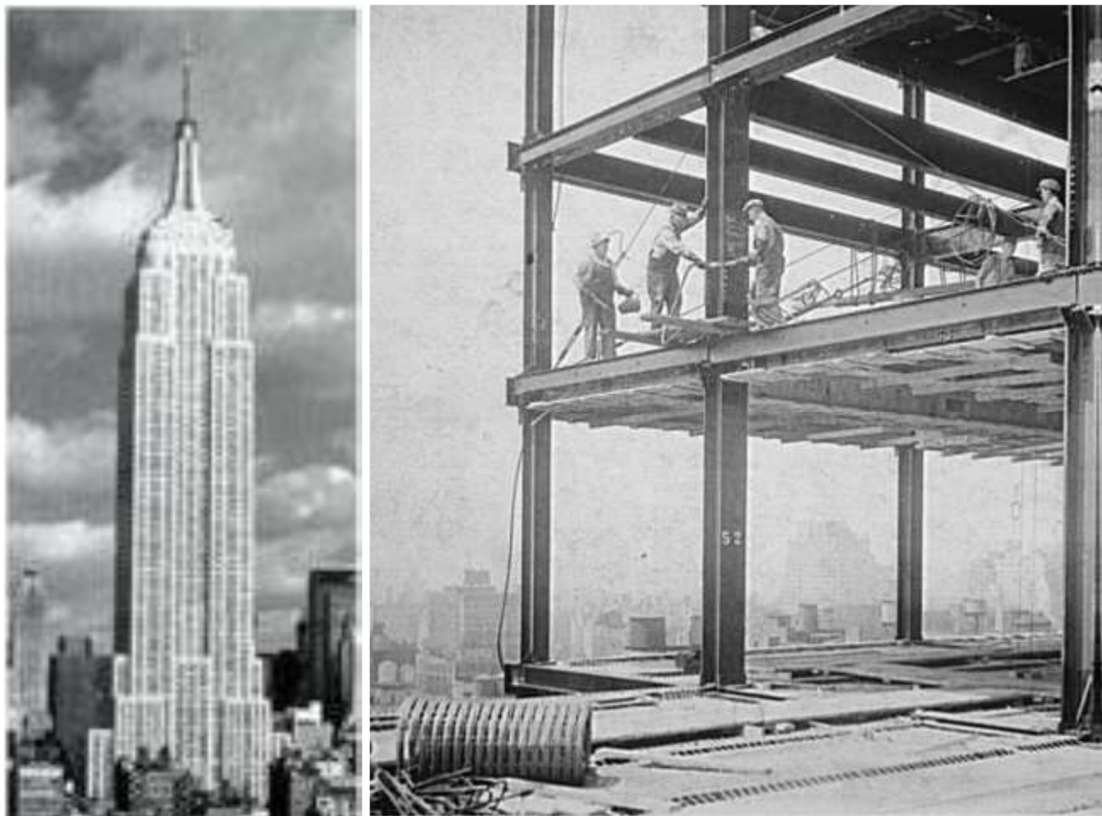
Liittopilari on rakenneteräksestä valmistettu teräspilari, jonka ympärys tai vaippa on profiilin muodosta riippuen valettu betonilla umpeen. Teräs ja betoni toimivat yhdessä pilarin kantavina materiaaleina. Liittopilareissa käytetty betoni voi olla joko raudoitettua tai raudoittamatonta, riippuen pilarille asetetuista vaatimuksista. [1, s. 183.]



Kuva 1. Erilaisia liittopilaripoikkileikkauksia [1, s. 186].

Kuvassa 1 on esitetty erilaisia Suomessa ja muualla käytettyjä liittopilaripoikkileikkauksia. Suomessa käytetyimmät poikkileikkaukset ovat **e** ja **f**, joissa kaksoissymmetrinen teräsputki on täytetty betonilla ja raudoitettu. Nämä Suomessa suosittu poikkileikkaukset sekä poikkileikkaus **d** ovat niin kutsuttuja CFT-liittopilareita. Kuvassa ylimpänä olevia **a**, **b** ja **c** poikkileikkauksia kutsutaan SRC-liittopilareiksi. [1, s. 185; 2, s. 6.]

Ensimmäiset liittopilarit tehtiin jo 1800-luvun puolivälissä, kun terästä haluttiin palosuoja- jata betonin avulla. Lisäksi betonilla tavoiteltiin rakenteelle parempaa maanjäristyskes- tävyyttä. Liittopilarit yleistyivät kuitenkin vasta 1970-luvun jälkeen, koska betonin ei aja- teltu lisäävän kestävyyttä rakennepoikkileikkauksessa. Kokeellisesti pystyttiin kuitenkin todistamaan, että raudoitettu tai raudoittamaton betoni pystyy kantamaan lujuttansa vastaavan kuorman. Myös suunnitteluohjeet kehittyivät 1970-luvulla, kun teräs ja beto- nijärjestöt tekivät yhteistyötä. Tämä edesauttoi ennestään liittorakenteiden ja sitä kautta liittopilarien yleistymistä. [1, s. 183; 3, s. 110.]



Kuva 2. 1931- Empire state building. Rakennuksen teräsrunko suojattiin betonivaipalla [2, s. 6].

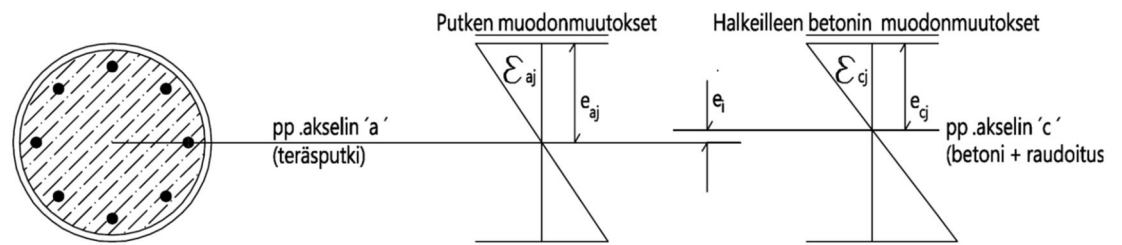
Liittopilareita käytetään esimerkiksi korkeissa asuinrakennuksissa, kauppakeskuksissa, urheiluhalleissa, toimisto- ja teollisuusrakennuksissa, siltarakenteissa ja paaluissa. Liittopilarien suosio perustuu niiden kustannustehokkuuteen ja hyviin tuotantoteknisiin ominaisuuksiin. Valmiiksi raudoitettu teräsputkipilari on edullinen, koska muottityö ja raudoitus jäävät työvaiheina pois. Tämä nopeuttaa työn etenemistä työmaalla ja näin ollen alentaa kustannuksia ja tehostaa rakentamisprosessia tavalliseen paikallavalukohteseen verrattuna. Liittopilarien etu tavalliseen teräspilariin verrattuna on parempi palonkestävyys ja taloudellisuus, kun osa teräksestä voidaan korvata betonilla. [3, s.110; 4, s. 1; 5, s. 1.]

## 2.2 CFT-pilarin etuja

### Teräsputken ja betonin yhteistoiminta:

- 1) Betonipoikkileikkaus rajoittaa tai vähintäänkin viivästyttää teräsputken lommahdusta. Lomahdus tapahtuu myös hallitummin verrattuna puhtaaseen teräspilariin [8, s. 1.]

Kuvassa 3. osoitetaan kuinka halkeillut betoni aiheuttaa eniten taivutetuissa paikoissa sen, että raudoitettun betonipoikkileikkauksen painopiste ei ole enää tarkalleen alkuperäisessä symmetrisesti keskeisessä painopisteessä, mutta raudoituksen ja teräskuoren ansiosta painopiste  $e_r$ :n siirtymä on hyvin pieni [1, s.217.]



Kuva 3. Painopisteakselin siirtymä on hyvin vähäinen, vaikka betoni on päässyt halkeilemaan [1, s. 217].

- 2) Betonin lujuus kasvaa putken sisällä sulkeumavaikutuksen vuoksi, kun teräspoikkileikkaus estää betonin halkeilun ja laajenemisen [8, s. 1].
- 3) Betonin kuivumiskutistuma ja viruminen on paljon vähäisempää kuin tavallisessa teräbetonirakenteessa [8, s. 1].

Asiaa on tutkittu mm. Japanissa (L.H. Ichinose, E. Watanabe ja H. Nakai 2000). Tutkimuksessa pystyttiin osoittamaan, että CFT-pilarin kuivumiskutistuma oli vain 9 % tavanomaisen betonirakenteen kutistumasta, joissa betoni on alttiimpi ympäristön vaikutuksille. Tutkimuksessa todettiin myös, että viruma on pienempi kuin tavanomaisessa teräsbetonirakenteessa. CFT-pilarin virumaluku asetui tutkimuksen perusteella 1,16 ja 1,26 välille. Tavanomaisella teräsbetonipoikkileikkauksella virumaluku on suuruusluokaltaan yleisesti noin 2,0. [7, s. 465.]

CFT-liittopilarin teräskuori antaa tuoreelle betonille hyvän suojan kovettua rauhassa, koska se ei päästä kosteutta läpi. Tästä johtuen betonin kuivumiskutistuma ja viruma ovat pienempiä, kuin tavanomaisessa teräsbetonirakenteessa.

#### **Poikkileikkauksen ominaisuudet:**

- 4) Teräksen suhde betoniin on huomattavasti suurempi kuin pelkässä teräsbetonipoikkileikkauksessa tai betonilla koteloidussa teräspoikkileikkauksessa [8, s. 1].
- 5) Poikkileikkauksella on suuri jäyhyysmomentti ja taivutuskestävyys, koska suurin osa teräksestä on sijoitettu pilarin ulkokuorelle. Tämä ei kuitenkaan pidä paikkaansa palotilanteessa, jossa pilarin oletetaan toimivan teräsbetonipilarina. [8, s. 1.]

#### **Rakentamisen tehokkuus:**

- 6) Rakentaminen on tehokasta, kun verrataan CFT-pilaria perinteiseen paikallavallattavaan teräsbetonipilariin. Muottityöt ja raudoittaminen jäävät pois työmaalla, kun pilarin teräskuori toimii muottina betonille. Tällöin on mahdollista valaa useita kerroksia kerralla. Tämä johtaa siihen, että tarvitaan vähemmän työvoimaa ja

projektin pituus lyhenee. Teräspilarijärjestelmään verrattuna ei rakentamisen tehokkuudessa ole aikataulullisesti eroa, koska teräsvaipan asennus ja betonointi eivät ole toisistaan riippuvaisia työvaiheita. [8, s. 1; 22, s. 1.]

### **Palonkestävyys:**

- 7) Betoni toimii palotilanteessa kantavana rakenteena, eikä teräskuorta tarvitse palosuojata. [8, s. 1.]

### **Kustannustehokkuus:**

- 8) CFT-pilarit ovat kustannustehokkaita teräsbetonijärjestelmään verrattuna edellä mainitun rakentamistehokkuuden ansiosta. Kun rakennusprojekti voidaan toteuttaa nopeammalla aikataululla ja vähemmällä työvoimalla, niin kustannukset pienenevät. Teräsrakennejärjestelmään verrattuna CFT-pilarin materiaalikustannukset ovat huomattavasti pienemmät, sillä terästä käytetään paljon vähemmän ja pilareita ei tarvitse raudoitettua betonipoikkileikkauksen ansiosta palosuojata. Edellä mainitussa tutkimuksessa vertailtiin teräspilarin ja CFT-pilarin kustannustehokkuutta 9-, 18- ja 40-kerroksisissa rakennuksissa. Kerrosluvun kasvaessa CFT-pilarin kustannustehokkuus kasvoi suhteessa teräspilariin. CFT-järjestelmällä rakennetun rungon rakennuskustannukset olivat noin 10 % pienemmät kuin pelkän teräsjärjestelmän. [8, s. 1; 8, s. 84.]

### **Ekologia:**

- 9) Ympäristön kuormitusta pystytään vähentämään, kun muottityöt jäävät pois teräskuoren ansiosta, lisäksi teräskuori ja betoni voidaan helposti kierrättää uudelleen, jos betoni on raudoittamatonta [8, s. 1].

## 2.3 Toimintaperiaate

### 2.3.1 Erot betoni- ja teräspilareihin verrattuna

Kun liittopilarin mitoitus verrataan teräs- ja teräsbetonipilarin mitoittamiseen, voidaan huomata, että sen käyttäytyminen asettuu näiden kahden väliin. Esimerkiksi teräsbetonipilarin mitoitus perustuu normaalivoiman ja taivutusmomentin yhteisvaikutukseen. Taivutusmomenttia syntyy pilaripoikkileikkaukseen myös normaalivoimasta. Näitä vaikutuksia ovat ns. mittaepätarkkuuden aiheuttama ja hoikilla pilareilla toisen kertaluvun taipuman aiheuttama epäkeskisyyshmomentti. Mittaepätarkkuus johtuu siitä, että teräsbetonipilari ei ole koskaan absoluuttisen suora, vaan sille otaksutaan tietty poikkeama luotisuorasta. [1, s. 184.]

Teräspilarien mitoittamisessa puolestaan huomio kiinnitetään epästabiliuteen, sillä teräspilarien hoikkuudet ovat lähtökohtaisesti huomattavasti suurempia kuin teräsbetonipilarien. Lisäksi puhtaasti plastiset murtumat ovat harvinaisempia ja niitä esiintyy vain rajoitetusti. [1, s. 184.]

Vaikka taipuma lisääntyy murtumisen yhteydessä, liittopilarit eivät murru stabiiliuden menetyksestä johtuen, ellei poikkileikkauksen hoikkuus ole suuri. Tavanomaisesti liittopilarien kestävyys saavutetaan samoin kuin teräsbetonipilareissa. Tällöin poikkileikkauksen rasi-tetuin kohta murtuu, ellei teräsosa lommahda paikallisesti ennen plastisen kestävyys-saavuttamista. Lommahdus pyritään estämään teräspoikkileikkauksen mittoja rajoit-tamalla niin, että koko poikkileikkauksen oletetaan toimivan tehollisena, kun se plastisoi-tuu. [1, s. 184.]

### 2.3.2 Kuormittaminen

Vaakarakenteilta tulevat kuormat siirretään palkeilta pilarin teräspoikkileikkaukselle, rip-pumatta siitä onko sen vaippa tai ympäryys valettu betonilla. Kuormien siirtäminen nor-maalivoimana koko poikkileikkaukselle edellyttää, että kuorman tuontialueella teräksen ja betonin välillä täytyy kehittyä niiden välistä leikkausjännitystä tai muutoin kuorma väli-tetään mekaanisen liitoksen kautta. [1, s. 216.]

Betonilla täytetyn putkipilarin kantokyky paikallisesti riippuu siitä, miten kuormat siirretään pilarille. Vaikka asia saattaa tuntua yksinkertaiselta, on kuormien siirtämiseksi pilareille olemassa kolme erilaista menetelmää. Seuraavassa tarkastelussa käydään läpi nämä erilaiset tapaukset. Tarkastelussa käytetyt pilarit ovat lyhyitä tai niiden mittasuhteita on muokattu niin, että pilarien kestävyys saavutettaisiin murtumisen perusteella. [1, s. 216.]

(a) Pelkän betonin kuormittaminen

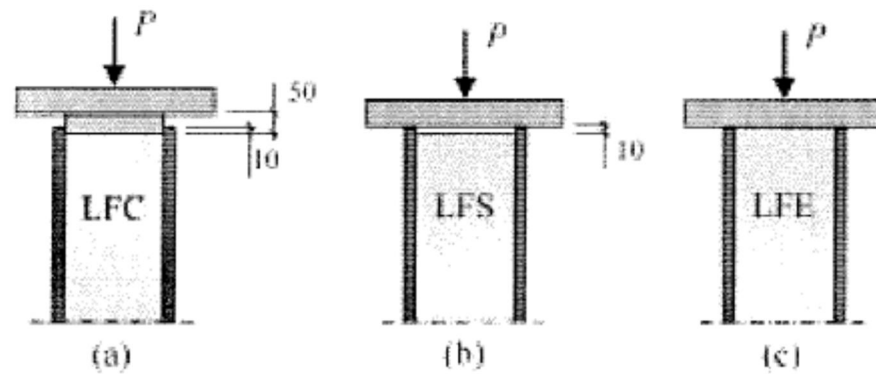
Kun kuormitetaan pelkkää betonia, puhutaan niin sanotusta Lohrin periaatteesta (Oehlers ja Bradford 1995). Tässä tapauksessa betonin puristuslujuus  $f_{ck}$  kasvaa, kun teräs-poikkileikkaus estää betonin laajenemisen, ja sitä kautta suljetussa putkessa olevan betonin lujuus  $f_{ck,c}$  on suurempi ja tulee tehokkaammin käytetyksi. Tällöin myös pilarin kuormittuminen on kaikkein edullisinta, sillä laajenemisen vuoksi teräksen ja betonin tartunta varmistetaan paremmin. Tämän lisäksi myös teräsputki kuormittuu jo hieman kauempana kuorman tuontikohdassa. Tätä periaatetta hyödynnetään esimerkiksi paaluissa. [1, s. 216.]

(b) Pelkän teräsputken kuormittaminen = kuormien siirtäminen on varmistamatta

Mikäli kuorman siirtymistä betoniin ei varmisteta, saattaa pilarin kantokyky olla lähes sama kuin pelkällä teräs-poikkileikkauksella. Suppeumavaikutuksesta johtuen teräs-vaippa irtoaa betonista välittömästi, kun tartuntaa ei ole. Tällöin pilari murtuu, kun teräs-poikkileikkauksen kestävyys ylittyy, vaikka betoni osaltaan voi viivyttää lommahdusta. [1, s. 216.]

(c) Teräksen ja betonin kuormittaminen yhtäaikaaisesti

Tätä kuormitustapaa edellytetään SFS-EN 1994-1-1:ssä poikkileikkauksien kestävyystarkasteluissa, ja se on usein myös luonnostaan vaikuttava eniten kuormitetuissa poikkileikkauksissa. Tässä tapauksessa usein parannetaan koko pilaripoikkileikkauksen kestävyyttä tekemällä mekaaninen liitos. Mikäli kuorma tuodaan palkeilta pilareille, se tehdään aina mekaanista leikkausliitosta käyttämällä. [1, s. 216.]



Kuva 4. Kolme tapaa kuormittaa liittopilarin poikkileikkausta. (a) pelkän betonin kuormittaminen, (b) pelkän teräsputken kuormittaminen, (c) teräksen ja betonin kuormittaminen yhtaikaisesti [6, s. 3].

Ruotsalaiset tutkijat (Mathias Johansson & Kent Gylltoft 2001) tekivät vuosituhaten vaihteessa tutkimuksia betonilla täytetyn putkipilarin toiminnasta. Tutkijat koestivat pilareita neljällä eri tavalla. Kolme ensimmäistä tapaa on esitelty kuvassa 4, missä tapauksessa (a) LFC kuormitetaan pelkkää betonia, tapauksessa (b) LFS kuormitetaan pelkkää teräskuorta ja tapauksessa (c) LFE kuormitetaan molempia yhtä aikaa. Lisäksi tutkijat koestivat neljännen niin sanotun referenssi tapauksen LES, missä kuormitettiin vertailun vuoksi tyhjää teräspilaria. [6, s. 398.]

Tutkittavia pilareita oli yhteensä yksitoista kappaletta. Jokaista kuormitustapaa varten oli varattu kolme pilaria ja lisäksi kaksi referenssi pilaria. Tutkimuksessa pystyttiin osoittamaan, että kuormitustavalla on suuri merkitys pilarin kantokykyyn. [6, s. 398.]



Taulukko 1. Pilarien kantokyky on riippuvainen kuorman tuontitavasta [6, s. 398].

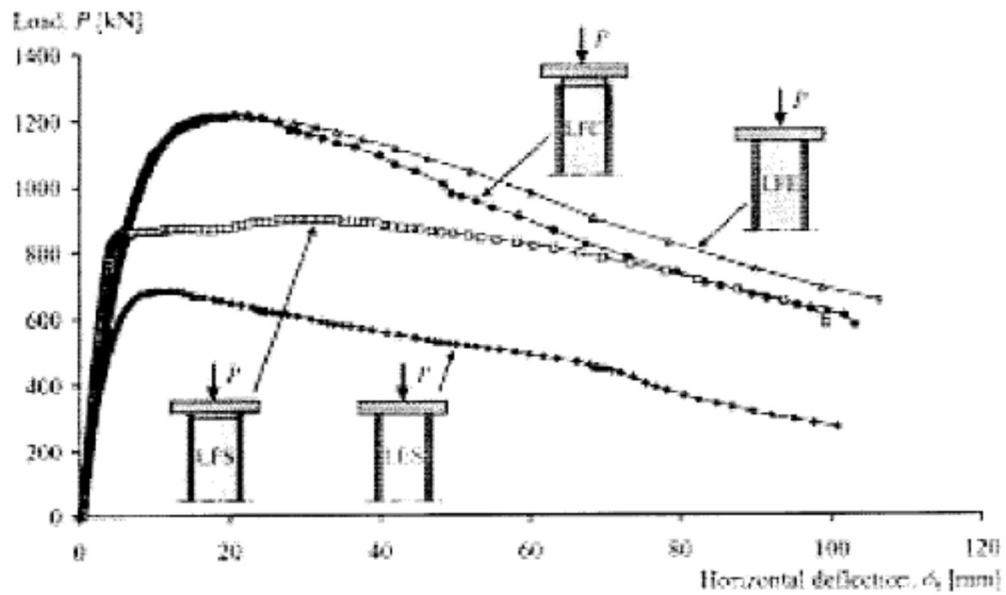


Fig. 4 Comparisons of load-deflection relationships for columns

Table 4 The measured maximum load-bearing resistance of the tested columns

Column type	Filled with concrete	Load application	Maximum load $P_{max}$ (kN)	$P_{max}/P_{ref}^{1)}$
LES 1	no	steel	700	-
LES 2	no	steel	680	-
LFE 1	yes	entire	1210	1.75
LFE 2	yes	entire	1270	1.84
LFE 3	yes	entire	1220	1.77
LFC 1	yes	concrete	1220	1.77
LFC 2	yes	concrete	1200	1.74
LFC 3	yes	concrete	1250	1.81
LFS 1	yes	steel	860	1.25
LFS 2	yes	steel	820	1.19
LFS 3	yes	steel	850	1.23

<sup>1)</sup> $P_{ref} = 690$  kN, the mean value of the load resistance of the unfilled reference columns LES.

Taulukosta 1, käy hyvin ilmi, että pelkän teräskuoren kuormittaminen (b) on selkeästi epäedullisin tapa kuormittaa pilaria. Vertailu tyhjään referenssipilariin osoittaa, että pilarin kantokyky ei kasva kuin noin 20 %, vaikka putki on täytetty betonilla. [6, s. 398.]

Tapauksissa (a) tai (c) pilarien kantokyky oli lähes sama. Nämä kaksi tapaa osoittautuivat myös edullisimmaksi keinoksi välittää kuormat pilareille. Vertailu tyhjiin referenssipilariin osoittaa, että tapauksissa (a) ja (c) pilarien kantokyky kasvaa noin 80 %. Tutkimuksesta saatu tieto on erittäin tärkeä koska se osoittaa, että CFT-liittopilarin yläpään betonointiin pitää kiinnittää erityistä huomiota. [6, s. 398.]

Vaikka kuorman tuominen pelkälle betonipoikkileikkaukselle on tutkimuksen mukaan yhtä hyvä tapa välittää kuormat kuin kuorman tuominen koko poikkileikkaukselle ei se käytännössä useinkaan ole mahdollista. Lisäksi standardi SFS-EN 1994-1-1 edellyttää poikkileikkauksen kestävyys tarkastelussa, että kuormat tuodaan koko poikkileikkaukselle. Kuorman siirtäminen koko poikkileikkaukselle varmistetaan usein mekaanisin liitoksien. [1, s. 217; 9.]

### 2.3.3 Rakentamisesta aiheutuvat rasitukset

CFT-liittopilarit suunnitellaan niin, että pilarin teräskuori kestää välipohjien oman painon ja hyötykuormat ennen pilarien betonointia. Kuormituksen tässä vaiheessa tyhjällä teräskuorella tulee olla riittävä lujuus ja jäykkyys kestää nämä rasitukset. Tästä johtuen teräskuori mitoitetaan nurjahdusta ja lommahdusta vastaan aivan samoin kuin tavanomainen teräsputkipilari. Kun pilari pumpataan täyteen betonilla, sen tulee pystykuormien lisäksi kestää betonoinnista syntyvä hydrostaattinen valupaine. [17, s. 99.]

## 2.4 Liitokset

### 2.4.1 Yleisesti

Yleisimmässä tapauksessa kun käytetään monikerrospilareita ja yksiaukkoisia palkkeja, CFT-pilarien ja välipohjapalkkien liitokset mitoitetaan sivuttaissiirtymättömissä rakenteissa nivelellisiksi. Liitokset mitoitetaan vain leikkausvoimalle, koska liitosten kiinnitysmomentit jätetään tarkasteluissa huomioimatta. Vaikka liitokset suunnitellaan nivelellisiksi, ovat ne todellisuudessa usein osittain jäykkiä. [10, s. 37.]

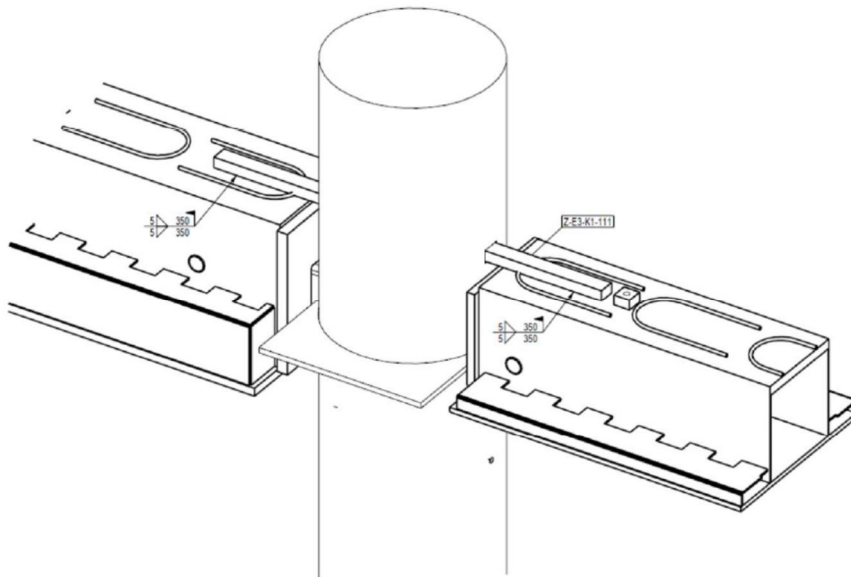
Liitokset tulee suunnitella siten, että liitoskohdan kantavuus säilyy vaaditun palonkestojen ajan. Palkilta tulevat leikkausvoimat on kyettävä siirtämään liitoksen kautta pilarin beto-

nipoikkileikkaukselle palotilanteessa. Kuormien siirtyminen tulipalolle alttiilta palkilta pilarin teräskuorelle varmistetaan usein vaarnarakenteella. Mikäli kuormien siirtymistä ei voida varmistaa, tulee liitos palosuojata tavanomaisin keinoin, esimerkiksi palosuojamaalilla. [10, s. 37.]

#### 2.4.2 Mekaaninen leikkausliitos

Rakennesuunnittelija määrittelee normaalitilanteessa, onko teräsvaipan ja betonin tartunta riittävä, jotta kuormat voivat siirtyä liitoksen kautta koko poikkileikkaukselle. Suunnittelija mitoittaa myös liitoksen palotilanteen varalta, aina kun rakenteella on palonkestovaatimus. Usein molemmissa tapauksissa pelkkä teräksen ja betonin tartunta ei ole riittävä, kun kuormat halutaan tuoda koko liittopilarin poikkileikkaukselle. Tällöin kuormien siirtyminen liitokselta teräskuorelle ja teräskuorelta betonille varmistetaan vaarnarakenteen avulla. Tällainen liitos on niin sanottu mekaaninen leikkausliitos. [1, s. 223.]

Kuvassa 5 palkeilta tuleva kuorma siirretään hitsattujen konsolien avulla CFT-liittopilarille. Palotilanteen varalta kuormien siirtyminen on varmistettu pilarin lävistävällä läpivientilevyllä.

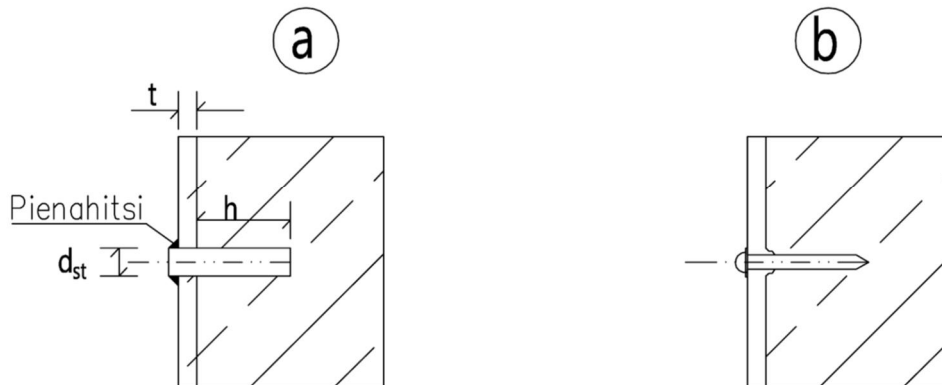


Kuva 5. Tyypillinen WQ-palkin liitos liittopilariin. Palotilanteessa kuormien siirtyminen on varmistettu pilarin lävistävällä läpivientilevyllä [30].

Mekaanisella leikkausliitoksella varmistetaan kuormien siirtyminen teräspoikkileikkaukselta betonille ja sitä kautta koko pilaripoikkileikkaukselle. Palkeilta tulevat kuormat siirretään aina mekaanisia leikkausliittimiä käyttämällä. Leikkausliitos tehdään usein kuvan 6. mukaisella vaarnarakenteella. [1, s. 217.]

(a) Kannaton tappi

(b) Hilti-naula



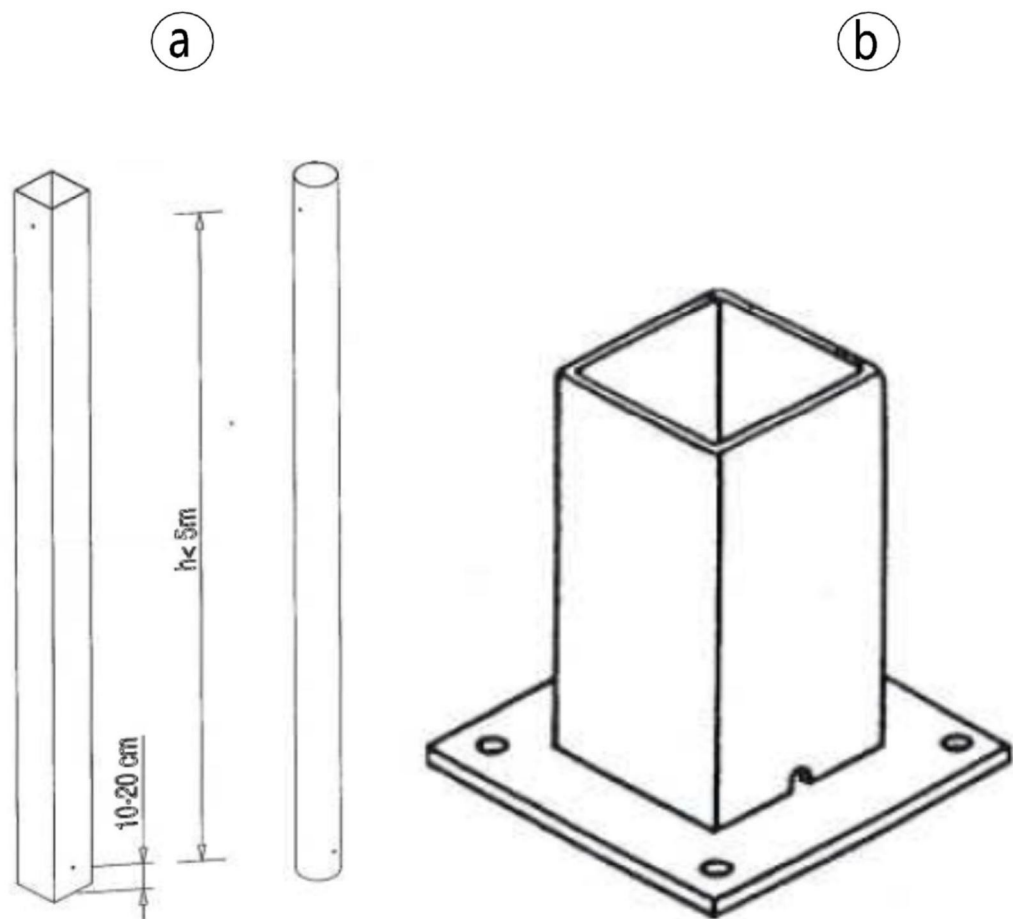
Kuva 6. Putkipilarin kannaton tappiliitin (a) ja putken seinämän läpi ammuttava Hilti-naula (b) leikkausliittimenä [1, s. 224].

Putkiliittopilareissa on mahdollista käyttää Hilti-nauloja sekä kannattomia tappeja leikkausliittiminä. Kannattomien tappien käyttö leikkausliittimenä kehitettiin Suomessa 1990-luvun alussa. Saksalaiset ja itävaltalaiset tutkivat hieman myöhemmin naulaliitoksen käyttöä. Hilti-naula otettiin käyttöön ensimmäisen kerran 2000-luvun vaihteessa. [1, s. 223.]

## 2.5 Rakenne

### 2.5.1 Höyrynpisto ratkaisut

CFT-pilari on varustettava palotilanteen varalta höyrynpistorei'illä, joista betonista vapautuva kuuma vesihöyry ohjataan ulos. Reikien tarkoitus on suojella pilarin teräskuorta paineen haitallisilta vaikutuksilta. Höyrynpistoreikiä tulee olla vähintään kaksi jokaista kerrosta kohden ja niiden halkaisija on 20 mm. Reikäryhmien etäisyys saa olla toisistaan enintään 5 m. Päätylevyillä varusteltujen pilarien reiät sijoitetaan kuitenkin aina lähelle (10 - 20 cm:n etäisyydelle) putken päitä, kuva 7a. Höyrynpistoreiät tulee sijoittaa pilarin vastakkaisille puolille niin, että siihen myöhemmin liittyvät rakenteet, esimerkiksi lattian pintalattiavalu, ei estä vesihöyryn poistumista. Kun pilarin betonointi tehdään työmaalla, varustellaan se lisäksi vedenpoistoreiällä, kuva 7b. [10, s. 47.]



Kuva 7. CFT-pilarin höyrynpistoreiät (a) ja vedenpoistoreikä (b) pilarin alaosassa [10, s. 47].

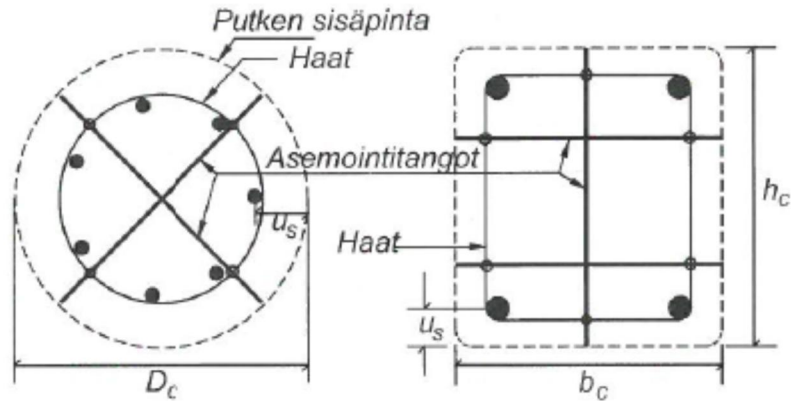
### 2.5.2 Palosuojaus

CFT-liittopilaria ei yleensä tarvitse palosuojata erikseen, sillä raudoitettu betonipoikkileikkaus toimii tulipalotilanteessa palosuojauksena. Harvoin joissain erikoistapauksissa pilari voidaan palosuojata esimerkiksi palonsuojamaalilla tai pinnoitteella, mikäli kestävyttä ei pystytä varmistamaan rakenteellisin keinoin. Tulipalotilanteessa kantavien pilarien betonirauditus on lähes välttämätön, sillä kun teräskuori menettää kantavuutensa, on rakenteen paino ainoastaan betonipoikkileikkauksen varassa. Palosuojauksen suunnittelu liittorakenteissa vaatii hyvää perehtyneisyyttä paloteknisiin mitoitusmenetelmiin. [10, s. 36.]

Palonsuojamaalit reagoivat, kun lämpötila tulipalossa nousee riittävän korkealle. Maali paisuu muodostaen teräsvaipan päälle lämmön nousua hidastavan eristekerroksen ja absorboi paloenergiaa. Maalaus suoritetaan maalausjärjestelmänä, johon kuuluvat esikäsittely teräsrakenteelle, pohjamaalaus, palosuojamaalaus sekä pintamaalaus. Maalausjärjestelmän rakennepaksuus on yleensä 0,2 - 3,0 mm. [10, s. 36.]

### 2.5.3 Betonirauditus

Betonipoikkileikkauksen pääraudoitus sidotaan haoilla aivan kuten tavanomaisessa teräsbetonipilarissakin. Raudoite-elementti varustetaan vähintään 2 m:n välein ohjureilla, jotka varmistavat sen oikean sijainnin putkeen nähden. Elementti tehdään sellaiseksi, että se ei estä teräsputken betonointia, ja se kiinnitetään putken sisäpintaan niin, ettei se pilarin asennusvaiheessa pääse liikkumaan tai irtoamaan. Pääterästen jatkokset pyritään aina sijoittamaan välitasojen kohdalle. Kuvassa 8 on esitetty kuinka asemointitangoilla varmistetaan raudoite-elementin oikea sijainti putkeen nähden. [10, s. 48.]



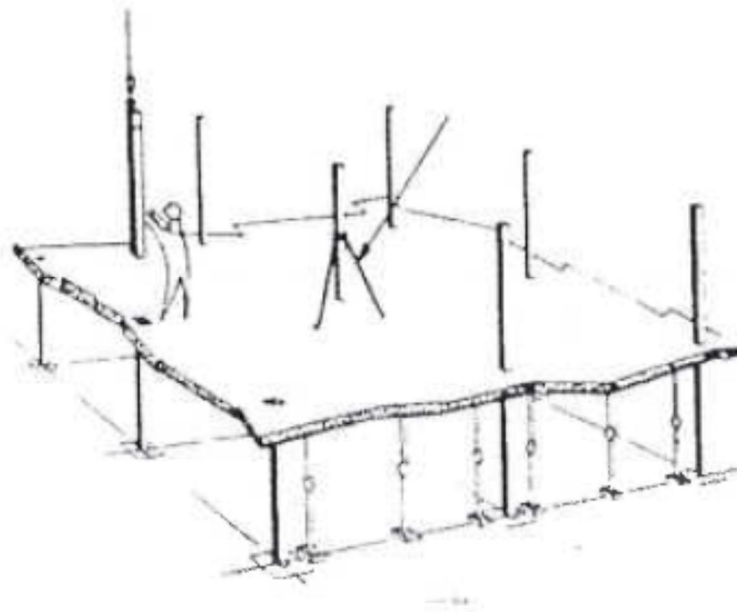
Kuva 8. Raudoituksella on suuri merkitys erityisesti paloaikaisen kestävyuden kannalta. Sen vuoksi rauditus on sidottava paikoilleen siten, että suunnittelun mukaiset mitat toteutuvat [1, s. 186].

Betonipeitteen optimaalinen kerrospaksuus on riippuvainen mm. paloluokasta, putkiprofiilista, nurjahduspituudesta ja käytetystä raudoitteen suuruusluokasta. Materiaalien lujuus ja kimmokerroin muuttuvat eri tahdissa lämpötilan suhteen. Tästä johtuen raudoitteen todellinen sijainti verrattuna suunniteltuun voi vaikuttaa negatiivisesti pilarin kantavuuteen. [10, s. 49.]

Raudoite-elementeissä käytetään yleensä BA500B-luokan kuumavalssattua harjaterästä. Pääterästen halkaisija on tyypillisesti 12 - 32 mm. Suorakaide- ja neliöputkilla hakaraudoituksena käytetään tyypillisesti 6 - 8 mm umpihakoja. Pyöreissä putkissa voidaan käyttää umpi- tai kierrehakoja. [10, s. 49.]

## 2.6 Asennus

CFT-liittopilarin asennuksessa noudatetaan standardin SFS-EN 1090-2 asennusohjeita. Pilarin teräsvaippa asennetaan työmaalla lähes samalla tavoin kuin perinteinen teräspilari. Teräsvaippa asennetaan nostamalla se nosturin avulla paikoilleen. Pilari on tarpeen tukea asennuksen aikana kahdesta suunnasta väliaikaisilla vinotuilla, kuva 9. [10, s. 56; 11.]



Kuva 9. Putkipilarin väliaikaiset vinotuet asennusvaiheessa [10, s. 57].

CFT-liittopilarin paikalleen mittaus-, valmistus- ja asennustoleransseina käytetään teräs-rakenteiden osalta standardissa SFS-EN 1090-2 määritellyjä toleransseja. Tehtaalla tai työmaalla tehtävän betonivalun osalta noudatetaan standardien SFS-EN 13670 ja SFS 5975 betonirakentamisen laatuohjeita. [10, s. 58; 12; 13.]

### 2.6.1 Pystysuoruuden varmistus

CFT-liittopilarin pystysuoruus on syytä varmistaa kolmessa vaiheessa:

1. teräsputken asennusvaiheessa tehtävä pystysuoruuden mittaus.
2. ennen putken valamista tehtävä rakenteen- tai rakenneosan oikominen.
3. tarkastusmittaus valmiille rakenteelle.

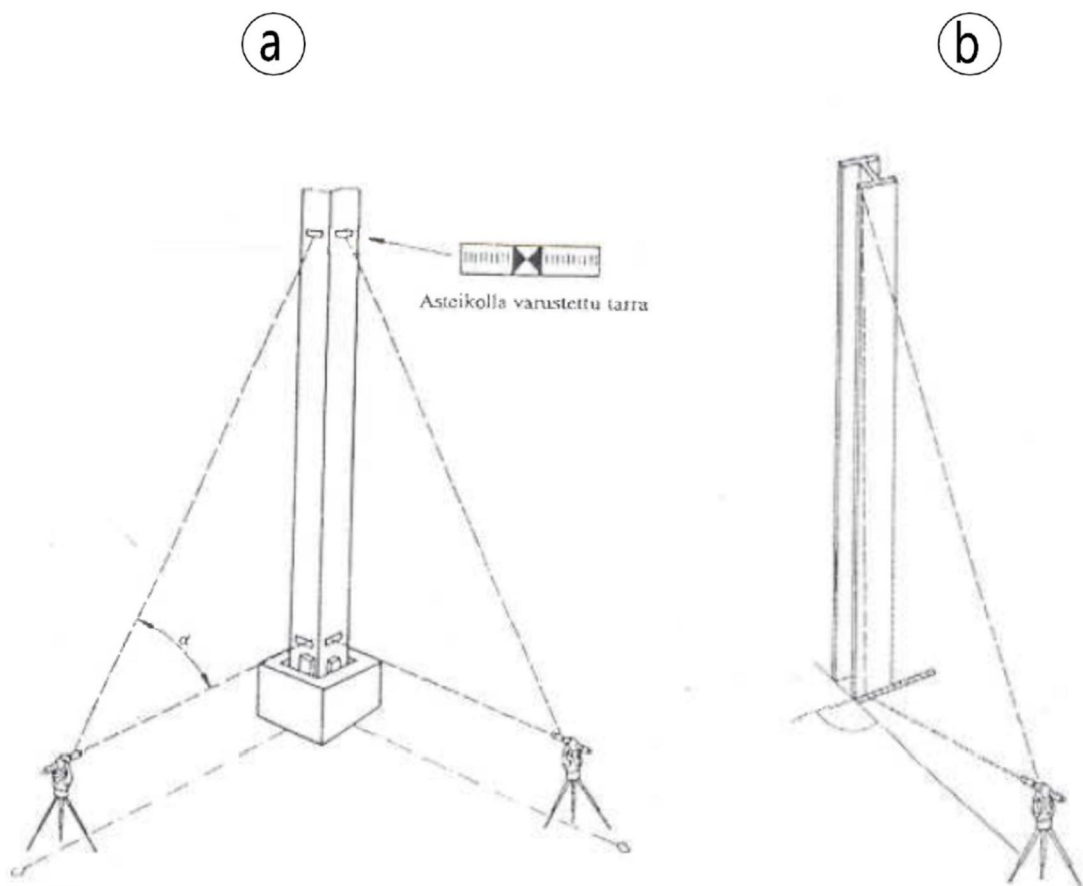
Pilarit on syytä tukea aina kahdessa suunnassa pystysuoruuden varmistamiseksi. [10, s. 58.]



Pystysuoruuden mittaamiseen asennusvaiheessa on olemassa useita laitteita ja menetelmiä. Standardissa SFS-ISO 7976-1 on esitelty tarkemmin erilaisia vaihtoehtoja, mutta seuraavassa esitellään neljä hyvää tapaa pystysuoruuden määrittämiseen:

- optisella luotimislaitteella
- teodoliitilla
- riippuluodilla tai
- kaltevuusmittarilla.

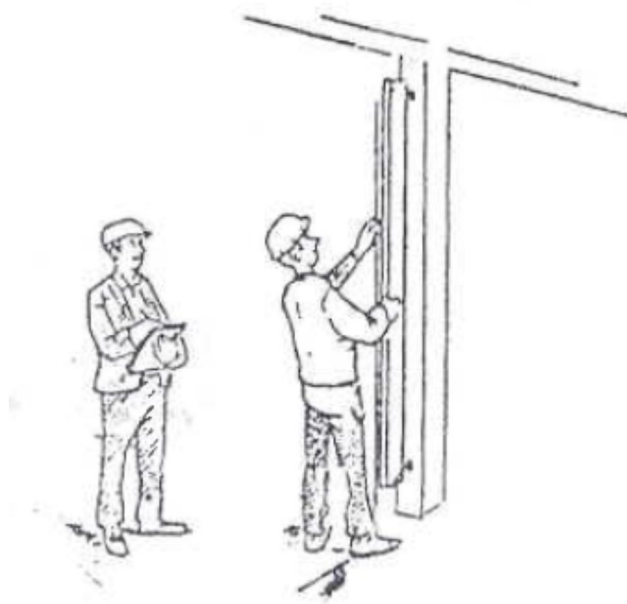
Yli yhden kerroksen korkuisten pilareiden pystysuoruus voidaan asennusvaiheessa tarkastaa joko kahdella, kuva 10a, tai yhdellä teodoliitilla, kuva 10b. [10, s. 58; 14.]



Kuva 10. Pystysuoruuden mittaus kahdella (a) tai yhdellä teodoliitilla (b) [10, s. 59].

Kerroksen korkuiselle pilarille pystysuoruuden mittaus asennusvaiheessa voidaan tehdä esimerkiksi kaltevuusmittarin avulla, kuva 11 [10, s. 58].

Kaltevuusmittarin pystysuoruuspoikkeaman määrittämiseen on oltava sellainen, että se voidaan tarvittaessa kääntää tasaimen systemaattisen virheen poistamiseksi. Tasaimen tulee myös olla säädettävissä. [10, s. 60.]



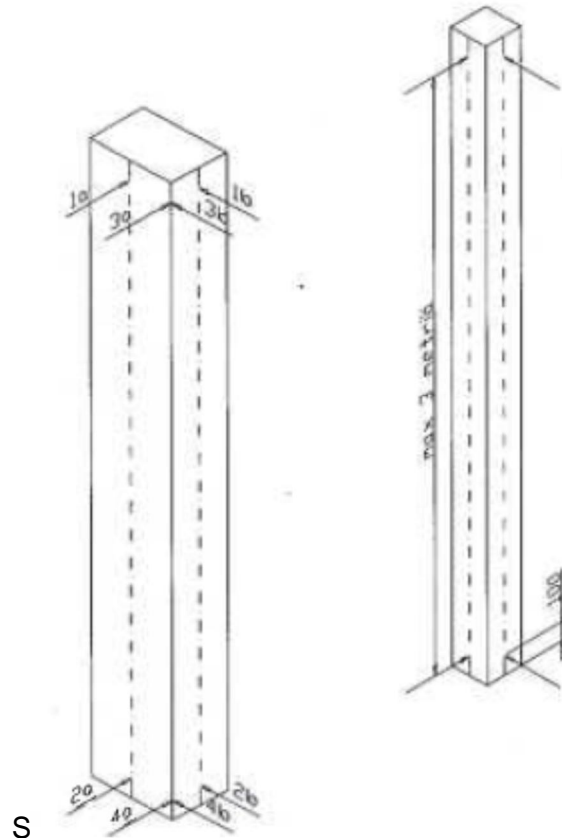
Kuva 11. Pystysuoruuden mittaus kaltevuusmittarilla [10, s. 60].

Seuraavat seikat on otettava huomioon kaltevuusmittarin käytössä:

- Tasain on aina tarkistettava ja tarpeen mukaan säädettävä ennen käyttöä.
- Kaltevuusmittari tulee pystyä varustamaan mittakappaleilla.
- Kaltevuusmittari käännetään ensimmäisen mittauksen jälkeen ja mittaus toistetaan, lukemista otetaan keskiarvo, joka on todellinen poikkeama.
- Vesivaaka ei ole sopiva työkalu tarkkuusmittauksiin.

- On suositeltavaa käyttää tasainta, jonka herkkyys on puolet vaaditusta. Koska herkkyys saattaa poiketa valmistajan ilmoittamasta, käytetään esimerkiksi tasainta, jonka herkkyys on 30" (0,3 mm/2m), vaikka vaadittu herkkyys olisi 60".

Pystysuoruuksmittaukseen valittujen pisteiden on oltava joka kerroksessa samalla vaakatasolla. Pilarin mittapisteiden sijaintia on havainnollistettu kuvassa 12. [10, s. 60.]



Kuva 12. Pystysuoruden mittapisteet pilarissa [10, s. 61].

Kuvassa 12. korkean pilarin (>1 kerros) pystysuoruutta tarkastaessa on suositeltavaa käyttää mittapisteitä 1a, 1b ja 2a, 2b, jotka sijaitsevat pilarin keskilinjalla. Mikäli tämä ei ole mahdollista, sijoitetaan mittapisteet pilarin kulmiin (3a, 3b ja 4a, 4b). Pilarin pystysuoruus tulee tarkastaa kahdesta kohtisuoraan vastakkaisesta suunnasta. [10, s. 61.]

### 2.6.2 Rakenteen oikominen ennen valua

Liittopilareiden toleranssivaatimusten täytyminen, esimerkiksi pystysuoruus tulee tarkistaa aina ennen valamista ja oikoa tarpeen mukaan edellisen kohdan menetelmiä käyttäen. Tämä työvaihe on merkitykseltään erittäin suuri ajatellen liittyvien rakenteiden, esimerkiksi ulkoseinäjärjestelmien ja palkkien onnistuneeseen asennukseen. [10, s. 61.]

### 2.6.3 Tarkastusmittaus valmiista rakenteesta

Rakenteelle tehtävä tarkastusmittaus on samalla hyväksyttämistarkastus. Tarkastusmittauksella voidaan todeta toleranssivaatimusten toteutuminen. Standardeissa SFS-ISO 7976-1 ja SFS-ISO 7976-2 käsitellään yksityiskohtaisemmin tarkastusmittauksen mittausmenetelmiä ja -laitteita. Laitteet ja käytetyt menetelmät ovat periaatteeltaan samoja kuin kohdassa 2.7. Tarkastusmittauksessa käytettävien mittalaitteiden on oltava vähintään samaa tarkkuusluokkaa kuin tarkastelumittauksessa. Tarkastusmittaus tulee kuitenkin tehdä eri mittauslaitteella kuin tarkastelumittaus. [10, s. 61; 14; 15.]

Työmaalla tehtävät CFT-liittopilarien pystysuoruuden tarkastusmittaukset on aina dokumentoitava omaan asiakirjaan ja tallennettava siten, että ne ovat aina tarvittaessa saatavilla. Tarkastusmittauksen dokumentoinnin tulee sisältää seuraavia tietoja:

- mittauskohde
- päivämäärä ja kellonaika
- paikka
- havaitsijan nimi
- mitatut arvot, mahdollinen laskenta ja sen analysointi
- käytetty kalusto, valmistenumero, kalibrointitodistukset
- tehdyt laitteen tarkistukset
- mittapisteiden sijainti (uudet pisteet)
- käytetyt lähtöpisteet

- lämpötila ja muut säätekijät ja
- muut mittaukseen vaikuttavat tekijät, kuten esimerkiksi elementin ikä. [10, s. 61.]

### 3 CFT-pilarin betonointi

#### 3.1 Betoni

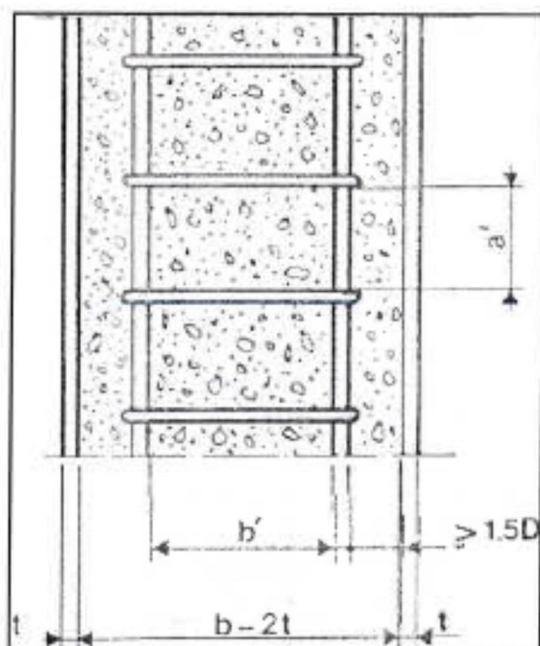
CFT-liittopilarin betonointiin käytetään joko itsestään tiivistyvää betonia tai tavanomaista betonimassaa. Tavanomainen betoni tulee valmistaa riittävän notkeaksi, koska pilari on usein tiheästi raudoitettu. Pilarin pienet poikkileikkausdimensiot on otettava huomioon massan suhteutuksessa, sillä betoni pyrkii erottumaan osuessaan raudoitukseen tai muottiin. Massan suhteutuksessa erottuminen huomioidaan lisäämällä sementin ja hiekan osuutta sekä pienentämällä runkoaineen maksimiraekokoa. [10, s. 50.]

Teräsrakenneyhdistyksen vuonna 2004 julkaisemassa Betonitäytteisten teräслиittopilarien suunnitteluohjeessa runkoaineen maksimiraekooksi on määritelty 16 mm. Suunnitteluohjeen mukaan maksimiraekoon tulee olla kuitenkin pienempi kuin seuraavat arvot, kuva 13:

- kuudesosa putken sisäpuolisesta sivusta tai halkaisijasta
- raudoiteverkon pienin "säde" määritettynä kaavalla:

$$r = a'b'/2(a' + b')$$

- puolet etäisyydestä  $b'$ , joka erottaa kaksi pystyterästä toisistaan ja
- kaksi kolmasosaa etäisyydestä, joka erottaa pystyteräkset teräspannasta. [10, s. 50.]



Kuva 13. Suurimman raekoon valinta [10, s. 50].

Runkoaineen raekoon valinnassa tulee kuitenkin huomioida, että standardin SFS-EN 206:2014 mukaisista tuotteista on pois luettu maksimirakooltaan ( $D_{max}$ ) alle 8 mm betonit ja laastit, sekä kaikki kuivabetonit ja laastit.

Kuvassa 13 on esitetty raekoon valintaan vaikuttavia suureita. Runkoaineen raekokoa voidaan säätää pienemmäksi pilarin tiheän raudoituksen vuoksi tai esimerkiksi siihen liittyvien konsolien takia. [16, s. 2.]

Betonoinnin kannalta on erityisen suositeltavaa käyttää itsetiivistyvää betonia, mikäli pilari on tiheästi raudoitettu. [10, s. 54.]

Rakennesuunnittelija määrittelee betonin lujuuden. Betonointityönjohtaja voi kuitenkin valita runkoaineen raekoon ja päättää käytetäänkö tavanomaista vai itsestään tiivistyvää betonia, ellei rakennesuunnitelmissa ole tarkemmin määrätty. Betonointityönjohtaja voi myös tarvittaessa korottaa betonin lujuutta, esimerkiksi jos talvibetonointi tätä edellyttää.

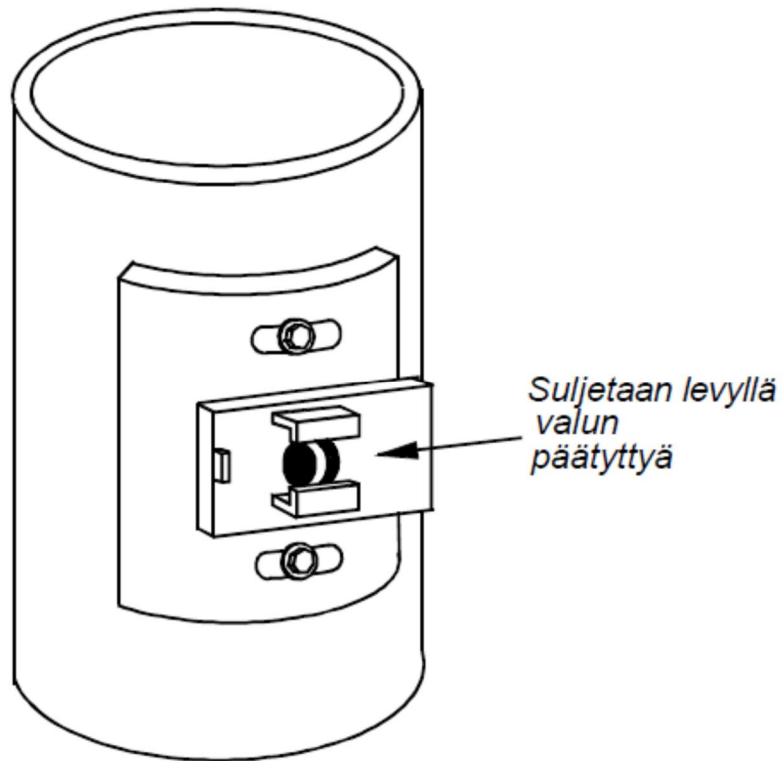
Betonin valmistuksessa ei saa käyttää lisäaineita, jotka voivat aiheuttaa korroosiota teräkseen. Jos pilarin yläpää on kosteudelle altis ulkorakenne, johon kohdistuu pakkasraus, pakkasenkestävyys varmistetaan esimerkiksi betonia huokostamalla. Nesteyttävien ja notkistavien lisäaineiden käyttö on välttämätöntä. Betonin notkeus varmistetaan

erilaisilla mittauksilla. Tavanomaiselle betonille tehdään leviämäkoe standardin SFS-EN 12350–5 mukaan. IT-betonille tehdään joko painuma-leviämäkoe standardin SFS-EN 12350–8 mukaan tai J-rengastesti standardin SFS-EN 12350 – 12 mukaan. Itsetiivistyvän betonin koostumus on herkempi muutoksille kuin tavanomainen betoni, tästä johtuen sen laadunvarmistus vaatii suurempaa tarkkuutta. Standardissa SFS-EN 13670 on vaatimus, että itsetiivistyvälle betonille tulee tehdä työmaalla vastaanottotarkastus, joka sisältää tuoreen betonin ominaisuuksien testauksen. Käytännössä tämä tarkoittaa, että betonille tehdään vähintään lämpötilan, notkeuden, (ilmamäärän jos vaatimus on) ja mahdollisesti vedenerottuman testaaminen. [10, s. 54; 22; 23; 24; 26.]

Karkeana yleissääntönä voidaan suositella, että betonimassassa soran osuus on 55 % ja hiekan osuus 45 tilavuus-% runkoaineesta. Hiekan hienousmoduulin tulee olla välillä 2,5 – 3,0. [10, s. 51; 26.]

### 3.2 Pumppubetonointi

Betonipumpun käyttö on vakiinnuttanut paikkansa erilaisissa rakennustyömaalla tehtävissä betonivaluissa. Tämä koskee myös CFT-liittopilarien valamista. Betonin pumppaus voidaan tehdä joko yläkautta pilarimuottiin tai pilarin alareunasta valuyhteen kautta. Kuvassa 14 esitetään, miten pumppausputken pää kiinnitetään valuyhteen kautta pilarin alapäähän. Pilarin valaminen alakautta on suositeltavaa, sillä muotin täytyminen on varmempaa kuin yläkautta tapahtuvassa valussa. Betonilla on myös vaarana erottua yläpuolelta valettaessa, kun massa iskeytyy raudoitukseen ja teräsputkeen. [10, s. 51.]



Kuva 14. Valuyhteen periaate. Valuyhde kiinnitetään ruuveilla teräsputkenpintaan [1, s. 230].

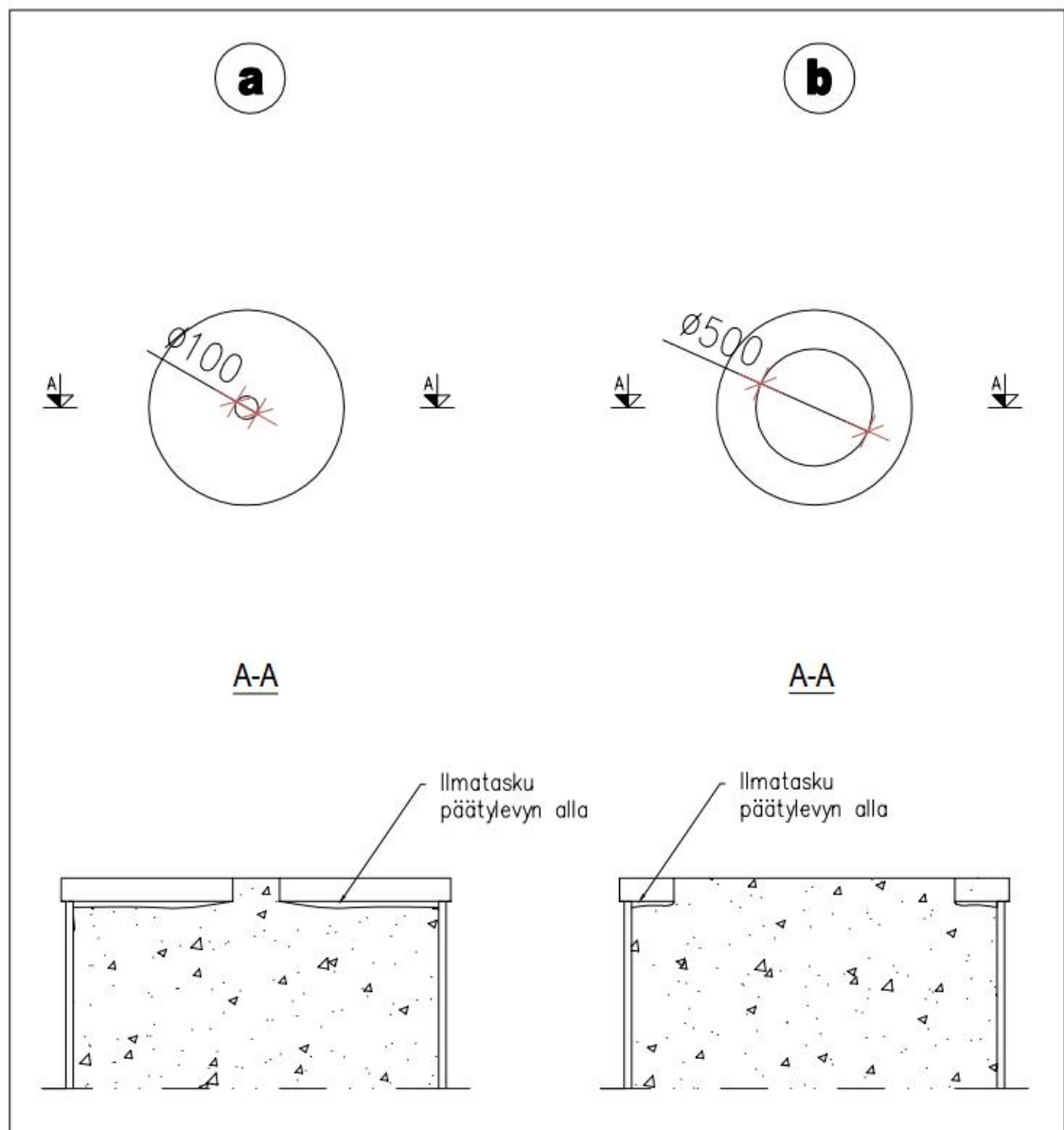
Betonin pumppauksen jälkeen suljetaan ensin betonipumpulta tulevan valuputken yhde. Kun pumppausputki on suljettu, seuraavaksi suljetaan pilarin valuyhteeseen kuuluva levy. Tämän jälkeen valuyhde poistetaan ja betoni tasataan putken ulkopinnan kanssa samaan tasoon, kun massa on kyllin kovaa. [1, s. 230.]

### 3.3 Betonointi alakautta

Alakautta tehtävä betonointi suoritetaan betonipumpulla. Betoni pumpataan suurella paineella pilarimuottiin, jotta se saadaan nousemaan ylös asti. Jos pilari on varusteltu päätylevyllä, tulee asia ottaa huomioon suunnittelussa niin, että pilarin huipulla on reikä (minimi halkaisija  $\Phi 100$  mm), josta paine pääsee poistumaan. Kokemus on kuitenkin osoittanut, että reiän kannattaa olla niin suuri kuin mahdollista. Kuvassa 15 on havainnollis-



tettu, kuinka päätylevyn koko saattaa vaikuttaa CFT-liittopilarin betonoinnin onnistumiseen työmaalla. Kuvan molemmissa tapauksissa 813x16 mm:n kokoiselle pilaripoikki-leikkaukselle on valittu vaatimukset täyttävä päätylevy. Kuvan tapauksessa a) päätylevyissä olevan reiän halkaisijaksi on valittu minimi vaatimuksen täyttävä 100 mm:n reikä. Kuvan tapauksessa b) päätylevyissä olevan reiän halkaisijaksi on valittu 500 mm. Tapauksessa a) on suurempi riski, että päätylevyn alle jää betonin kutistumisesta johtuva ilmatasku kuin tapauksessa b). Suunnittelussa tulee kuitenkin huomioida, että yläpuolisen pilarin koko ja päätylevyyn kiinnitettävät nosto-osat tai nostolenkit rajoittavat jossain määrin reiän kokoa [10, s. 52; 25.]



Kuva 15. CFT-liittopilarin päätylevyn koko voi vaikuttaa betonoinnin onnistumiseen [31].

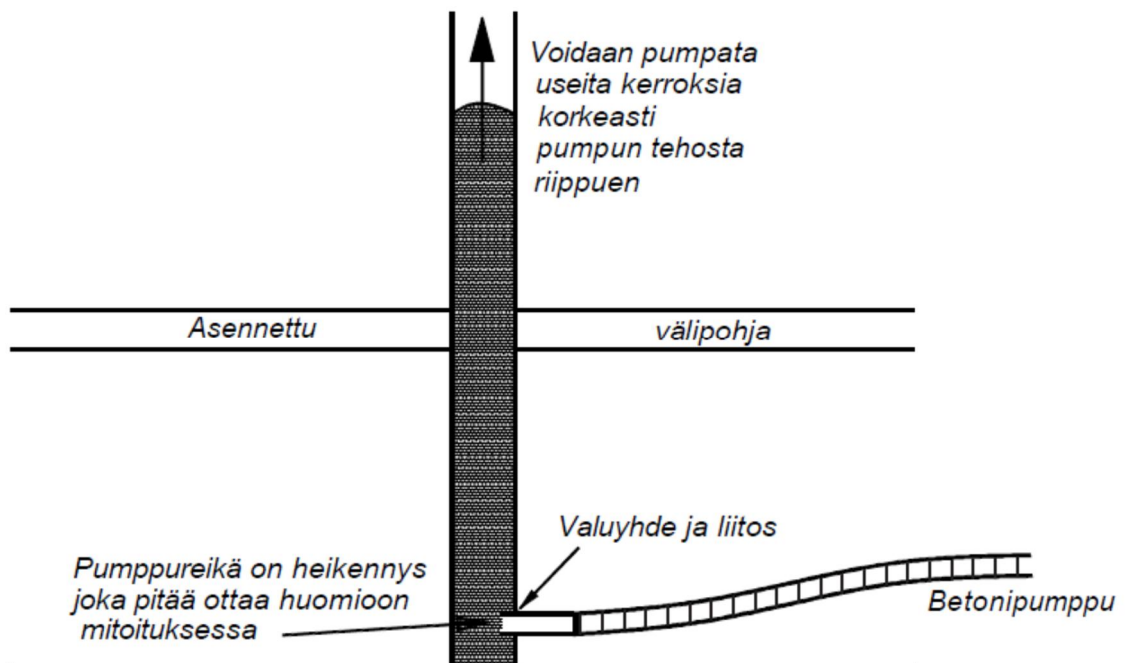
CFT-liittopilarin suunnittelussa tulee myös huomioida, että alhaalta tapahtuva betonointi tehdään niin nopeasti, että betoni ei ehdi valun aikana sitoutua. Pilarin alapäähän syntyvä muottipaineen kasvu tulee ottaa huomioon hydrostaattisen paineen suuruksena valupaineena. Tavanomainen betoni pumpataan hieman hitaammin pilarimuottiin kuin itsestivistyvä betoni, koska sitä tärytetään samanaikaisesti. Tästä johtuen itsestivistyvä betoni sallii tavanomaista suuremman valunopeuden. Muottipaine voidaan kuitenkin olettaa yhtä suureksi, riippumatta käytetäänkö itsestivistyvää tai tavanomaista betonia. [10, s. 52; 16, s. 2.]

Euroopassa (2005) on tehty itsestivistyvästä betonista laaja tutkimus, jossa todetaan, että liian nopea vertikaalinen pumppausnopeus saattaa nostaa betonin ilmamäärää, koska ilma ei tällöin ehdi poistumaan betonimassasta. Eurooppalaisessa tutkimuksessa ei kuitenkaan määritelty tarkemmin, mikä olisi oikea pumppausnopeus. Toisaalta Japanissa (Ying Wang 2006) tehdyn tutkimuksen mukaan alhaisempi pumppausnopeus johti helpommin tukoksiin kuin nopeampi pumppausnopeus. Japanilaisessa tutkimuksessa betonin pumppauksessa käytettiin aiempien tutkimusten perusteella suositeltua 1 m/min nousunopeutta. Myös itsestivistyvää betonia käsittelevässä RT-kortissa on määritelty suuntaa antavasti sopivaksi pumppausnopeudeksi 5 – 10 m<sup>3</sup>/h. Suomen Betoniyhdistyksen asiantuntijan haastattelun mukaan. *”massan nousunopeudelle ei ole olemassa mitään tarkkaa sääntöä. Ainoan rajoitteen massan nousunopeudelle asettaa betonipumpun teho”*. [15, s. 1.]. Hänen mukaan, myös tavanomainen betoni voidaan pumpata käytännössä lähes yhtä nopeasti pilarimuottiin kuin itsestivistyvä betoni. Asiantuntija muistuttaa kuitenkin, että betonimassa tulee täryttää asianmukaisesti, kun käytetään tavanomaista betonia. [10, s. 52; 16, s. 2; 8, s. 83; 20, s. 32; 21, s. 9.]

Neliön ja suorakaiteen muotoiset pilaripoikkileikkaukset ovat herkempiä paineen aiheuttamille muodonmuutoksille kuin pyöreä pilaripoikkileikkaus. Suunnittelija huomioi asian pilarin suunnittelussa, kun hän määrittelee teräsputken ainevahvuuden. Pumppauksen aikana syntyvä tukos saattaa myös nostaa paikallisesti paineen liian korkeaksi aiheuttaen putkelle muodon muutoksia, tai valuyhde voi rikkoutua ja pilari pääsee tyhjenevänsä. Asia voidaan huomioida suunnitelmissa siten, että valuyhteen välittömässä läheisyydessä ei ole raudoitusta, joka voisi estää betonin vapaan virtauksen pilarimuottiin. Mikäli pumppauksen aikana kuitenkin syntyy tukos, tulee siihen reagoida nopeasti pysäyttämällä pumppaus siihen asti, kunnes tukos on aukaistu. Käytännössä tukos syntyy

lähies aina valuyhteen edessä olevasta liian tiheästä raudoituksesta. Asia kannattaa huomioida jo ennen valun aloittamista tarkistamalla valuaukkojen edessä oleva rauditus. [16, s. 1; 28, s. 12.]

Kuvassa 16 on esitetty pilarin alareunasta tapahtuvan betoninpumpkauksen periaate. Valu voidaan nostaa useiden kerroksien korkeiseksi riippuen pilarin poikkileikkauksesta ja betonipumpun tehosta. Asiaa on tutkittu mm. Australiassa (B. Uy & S. Das 1997). Teräsputken poikkileikkaus valitaan sen mukaan, kuinka monta kerrosta korkeita pilari-kokoonpanoja käytetään. [1, s. 229; 17, s. 108.]



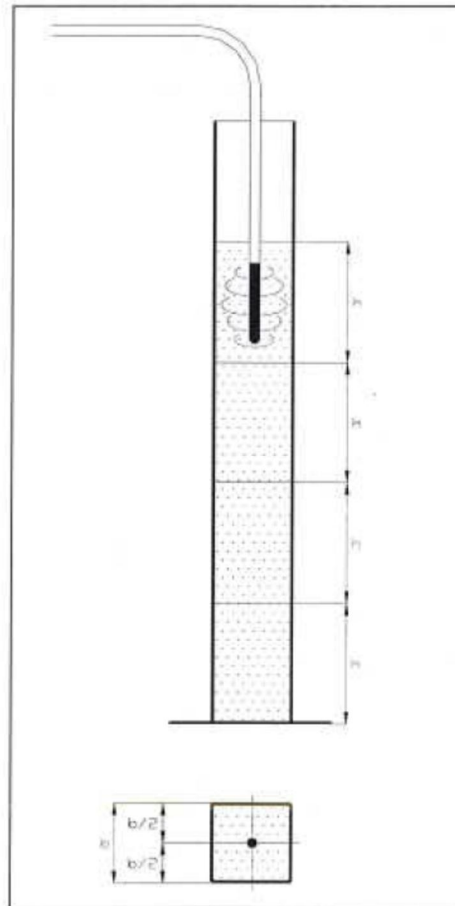
Kuva 16. Putkipilarin täyttämisen periaate. Pumppaamisen jälkeen valuyhde suljetaan ja betonin kovettuttua tarpeeksi valuyhde poistetaan [1, s. 228].

Aiemmin betoni pumpattiin CFT-liittopilariin yläkautta. Menetelmän huono puoli oli, että betonin tiivistymistä oli vaikea hallita, koska raudituksen haat aiheuttivat kiviaineksen erottumista betonissa. Tämän lisäksi pilarin valaminen jouduttiin rajoittamaan yhteen kerrokseen ja putket valmistettiin laippaliitoksien kerroksen korkeuksina. Kun betonointi tehdään pilarin alareunasta pumppaamalla, ei näitä rajoituksia ole ja pilarin täyttymistä voidaan hallita helpommin. [1, s. 228.]

### 3.4 Betonin tiivistys

CFT-liittopilarin valussa betonin tiivistykseen käytetään perinteistä muotti- tai sauvatärytin menetelmää. Jos pilari valetaan itsetiivistyvällä betonilla, massaa ei tule tiivistää. [10, s. 55.]

Betoni pitää aina tiivistää kerroksittain sauvatäryttimellä, kuva 17. Sauvatärytin pidetään tiivistyksen aikana pystysuorassa ja se lasketaan varovasti pilariin, niin ettei se osu muottiin, raudoitukseen, lämmityslankoihin, varauksiin tms. kiinteisiin asennuksiin. Tärysauva lasketaan omalla painollaan betonin läpi pilarin pohjalle, minkä jälkeen sauvaa nostetaan hieman niin, että se irtoaa pilarin pohjasta. Tärytintä ei liikuteta edestakaisin, vaan se pidetään aina noin 10 - 20 s tiivistettävässä kerroksessa, minkä jälkeen sitä nostetaan 30 cm ( $h_{max}$ ) seuraavaan tärytettävään kerrokseen. Tiivistystä jatketaan näin pilarin pohjalta huipulle asti. Erottunut betonimassa pumpataan pilarista yli. Pumpkauksen jälkeen pilarin yläpään (n. 1,5 m syvyyteen) tiivistykseen tulee kiinnittää erityistä huomioita. Jos pilari on yhtä kerrosta korkeampi tai tiheästi raudoitettu, sen täryttäminen sauvatäryttimellä voi olla mahdotonta. Tällöin betoni tulee tiivistää muottitäryttimellä ja pilarin yläpää tärytetään ainoastaan sauvatäryttimellä. Muottitäryttimellä ei kuitenkaan saa häiritä sitoutumassa olevaa betonia. Toinen vaihtoehto on vaihtaa tavanomainen betonimassa itsetiivistyvään betoniin. [10, s. 55.]



Kuva 17. CFT-liittopilarin tiivistys sauvatäryttimellä:  $h_{max} = 30$  cm on tärytyskorkeus. [10, s. 55]

Kun valusta on kulunut noin puoli tuntia, tarkistetaan onko betonin pinta laskeutunut pilarin sisällä. Jos betonin korkeusasema on laskeutunut pilarin sisällä, pilariin tulee lisätä betonimassaa. Tämän jälkeen pilarin yläpäässä tehdään jälkitiivistäminen, jossa tärytin-sauva lasketaan noin 1,5 m:n syvyydelle betoniin. Jälkitärytys tehdään samoin kuin betonoinnin aikainen tiivistäminen täryttämällä betonia kerroksittain noin 10 - 20 s. Mikäli pilari on varustettu päätylevyllä, on yläpään tiivistäminen ja täyttäminen erittäin tärkeää, ettei betonointi jää vajaaksi, ks. taulukko 1. Jos pilari ei täyty päätylevyn alta, tulee pilarin huippu valaa sopivalla juotosmassalla ennen seuraavan pilarin jatkoksen asennusta. [10, s. 55; 6, s. 398.]

### 3.5 Talvibetonointi

Talvibetonoinnin edellyttämät toimenpiteet suoritetaan, kun ilman lämpötila on alle +5°C valun alkaessa tai kahden seuraavan vuorokauden aikana. Teräsputken sisälle joutunut jää tai lumi on poistettava esimerkiksi höyryllä tai muulla vastaavalla keinolla. CFT-liittopilarit suojataan kauttaaltaan lämpöeristeellä ja pilareihin sijoitetaan lämmitysvastukset. Ankarissa olosuhteissa betonointiin voidaan käyttää pakkas- tai kuumabetonia. [10, s. 54.]

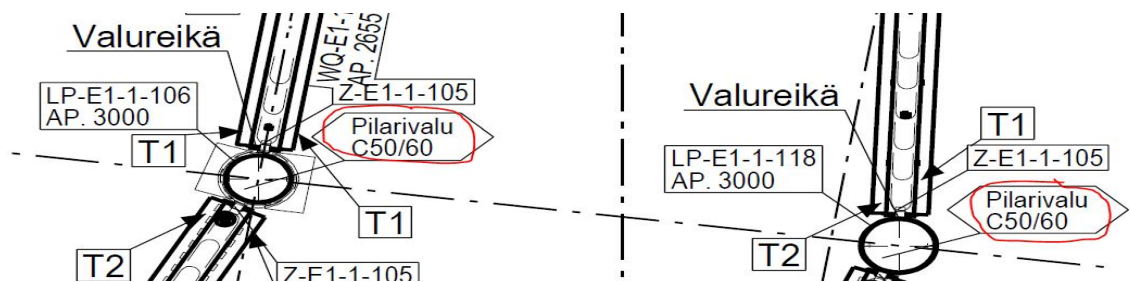
Talvella pilarin betonoinnissa on suositeltavaa käyttää nopeasti kovettuvaa sementtilaattua. Rakenteen yläosa tulee lämpösuojata kylmäsiltaariskin vuoksi välittömästi valun päätyttyä. Betonin lämpötilaa seurataan pilarissa rakennesuunnittelijan ohjeiden mukaan, kunnes tarvittava lujuustaso on saavutettu. [10, s. 54.]

Pakkasolosuhteiden ollessa kovat, saattaa lämmityslangoilla lämmitetyn betonin lämpötila olla vain hieman yli +5 °C. Olosuhteiden ollessa näin vaativat on betonin lujuuden kehitys erittäin hidasta, ja se aiheuttaa betonin pintakerroksen jäätymisriskin. Tällöin lujuudenkehitystä voidaan vauhdittaa betonin lujuusluokkaa korottamalla. Kuitenkin jos valetun betonin lämpötila laskee +5 °C:seen tai sen alle, ei lujuutta kehity, vaikka lujuusluokkataso olisi kuinka korkea. Lujuudenkehitys hidastuu merkittävästi jo betonin lämpötilan laskiessa alle +10 °C:n. Lujuusluokan kasvattaminen nostaa betonissa hydrataation aikana muodostuvan maksimilämmön arvoa, millä voi olla merkitystä, jos pilareitten poikkileikkausmitta on hyvin suuri. Erityisesti liian suuri lämpötilagradientti betonin sisäosan ja kylmän ulkopinnan välillä voi aiheuttaa betonin halkeiluvaurioita, mitkä eivät teräskuoren alta näy, mutta vaurioittavat betonia ja heikentävät betonin ja teräksen välistä tartuntaa. Talvikaudella, kun vuorokauden keskilämpötila on alle +5 °C, laaditaan erillinen talvibetonointisuunnitelma, jossa määritellään ohjeet mm. lujuuden seurannasta, suoritettavista mittauksista ja mahdollisesta lujuusluokan korottamisesta. Betonin lankalämmitys tulee suunnitella esim. RATU-ohjeen 07-3031 mukaisesti. [10, s. 54; 18, s.1; 26.]

### 3.6 Valuprosessi

#### 3.6.1 Valun valmistelu

Ennen varsinaisen valutyön aloittamista on otettava huomioon seikkoja, joista tulee huolehtia hyvän valutyön lopputuloksen saavuttamiseksi. Työ alkaa siten, että betonointityönjohtaja selvittää lujusvaatimuksen valun menevien CFT-pilarien betonimassalle, kuva 18. Lisäksi betonointityönjohtajan tulee selvittää vallitsevat sääolosuhteet ennen valua ja sen jälkeen, mikäli betonointi tehdään ulkona tai vastaavissa olosuhteissa. Selvityksen perusteella hän tekee päätöksen, ryhdytäänkö talvibetonoinnin vaatimiin toimenpiteisiin, luku 3.4. Talvibetonointiin ryhdytään aina, jos ilman lämpötila on valun alkaessa alle  $+5^{\circ}\text{C}$  tai 2 vuorokautta valun jälkeen. Tämä on kuitenkin vain minimivaatimus, käytännössä talvibetonointi toimenpiteisiin suositeltavaa ryhtyä jo aiemmin. [10, s. 54; 26.]



Kuva 18. Rakennesuunnitelmien mukainen betonimassan lujusvaatimus CFT-liittopilareille [32].

Betonointityönjohtaja voi halutessaan käyttää pilarien betonointiin tavanomaista tai itse tiivistyvää betonia. CFT-pilarin valamiseen olisi suositeltavaa käyttää itse tiivistyvää betonia, mutta tavanomaisen betonin käyttämiselle ei ole mitään estettä, mikäli pilari pysyy tiivistämään asianmukaisesti. Betonin valintaan vaikuttavat myös taloudelliset seikat ja betonin saatavuus. Itsetiivistävä betoni on hieman kalliimpaa kuin tavanomainen betoni, ja sitä ei välttämättä ole saatavilla kaikilta betoniasemilta. [16, s. 1; 19, s. 1.]

Lopputuloksen kannalta massan valintaan suurin vaikuttava tekijä on raudoituksen tiheys ja se, onko pilarissa esimerkiksi ahtaita konsoleita. Lisäksi massan valintaan voi vaikuttaa myös pilarin korkeus, sillä tavanomaisen betonin tiivistäminen on vaikeampaa, jos pilarirakenne on yhtä kerrosta korkeampi. Itsetiivistyvää betonia on erityisesti suosi-

teltavaa käyttää, jos pilarissa on ahtaita paikkoja. Runkoaineen raekokoa säädetään tällöin myös pienemmäksi. Vaikka itsetiivistyvä betoni on pumppauksen ja tiivistymisen kannalta helpoin ratkaisu, sen laadunvalvontaan joudutaan kiinnittämään erityistä huomiota. Itsetiivistyvän betonin koostumus on herkempi muutoksille kuin tavanomaisen betonin. Esimerkiksi 5 - 10 l vettä betonikuutiota kohden voi muuttaa itsetiivistyvän betonin käyttäytymistä ja ominaisuuksia huomattavasti. Tehtaalta työmaalle tullessaan itsetiivistyvä betoni on yleensä tasalaatuista, siitä huolimatta ensimmäisille betonikuormille tulee tehdä standardin SFS-EN 13670 mukaan vastaanottotarkastus. Itsetiivistyvän betonin tullessa työmaalle tulee siitä mitata T500-aika ja betonimassan lämpötila. Jos betonissa jostain syystä on vaatimus ilmamäärälle (= pakkasenkestävyysvaatimus), tulee se mitata työmaalla jokaisesta betonikuormasta. Jos kuljetusmatka on pitkä (joko ajallisesti tai km-määrältään), myös lämpötila ja notkeus tulee mitata työmaalla jokaisesta kuormasta. Jos valetaan useita pilareita samaan aikaan, tulee (muiden) laadunvarmistusmittausten taa juus määrittää viimeistään betonointisuunnitelmassa (betonityönjohtajan tehtävä), ellei työselosteessa ole annettu erityisohjeita (suunnittelijan tehtävä). [16, s. 1; 20, s. 1; 26; 29, s. 46.]

Jos betonointiin valitaan tavanomainen betoni, on huomioitava, että kerrosta korkeammat pilarit joudutaan tiivistämään muottitäryttimellä, koska sauvatäryttimellä ei päästä ylintä pilarikerrosta alemmaksi [16, s. 1].

Ennen työmaalla tapahtuvaa CFT-pilarin betonivalua tulee tarkastaa seuraavat asiat:

- Raudoitteet teräsputken sisällä ovat oikeilla paikoillaan.
- Pilarin tartuntateräkset on paikoillaan.
- Putken väliaikaiset vinotuet (vähintään kaksi) ovat hyvin kiinnitetty.
- Teräsputken sisällä ei ole roskia, vettä, lunta eikä jäätä ja
- Jäätymisen estämisen toimenpiteet on tehty. [10, s. 51.]

Jää tai lumi sulatetaan höyryttämällä tai esimerkiksi lämmittämällä pilaria ilmapuhaltimella. Jos pilarin vesireikä on tukossa, saattaa pilarin sisällä olla isoja määriä vettä joka ei pääse pois. Tukossa oleva vesireikä on avattava, mutta tukittava ennen valupump-



pauksen aloittamista. Sulanut vesi poistetaan pilarin pohjalta vesi-imurilla, ellei vesi-reikää ole tai vesi on jostain muusta syystä jäänyt seisomaan pilarin pohjalle. Pilarin pohjaa voidaan tarkkailla valureiän kautta esimerkiksi viemärikameralla. [10, s. 54.]

### 3.6.2 Valutyö

Alakautta tehtävä betonointi on nykyisin työmailla käytetty valutekniikka. Tämän vuoksi tässä kappaleessa esitetty valutyö toteutetaan tätä valutekniikka hyödyntäen.

CFT-liittopilarin betonointi työmaalla on vähintään toteutusluokkaan 2 kuuluva työvaihe. Tällöin työlle tulee olla nimettynä riittävän pätevyyden omaava betonityönjohtaja, joka on paikalla koko valuajan. Lisäksi betonointi dokumentoidaan betonointisuunnitelmaan. Liitteessä 2 on betonointia valvovalle työnjohtajalle tarkoitettu tarkistuslista, jossa selostetaan pilarien valuissa tarkistettavat asiat. [10, s. 51.]

Pilarin betonointi aloitetaan siten, että betonin pumppausputkisto vedetään pumppuau-  
tolta pilarille. Pumppausputkiston vetäminen on syytä tehdä jo ennen betoniauton saa-  
pumista, ettei tuoreella betonilla lastattu betoniauto joudu seisomaan suotta työmaalla.  
Putkiston valinnassa ja asennuksessa tulee ottaa huomioon seuraavat asiat:

- Pumppausputkiston koko on syytä valita aina niin suureksi kuin mahdollista.
- Putken supistajia ei ole suositeltavaa käyttää; Enintään sallitaan yksi supistaja, joka sijoitetaan niin lähelle putkiston alkupäätä kuin mahdollista.
- Pumppauslinja pidetään mahdollisimman suorana.
- Pumppausputkisto pidetään joka tilanteessa mahdollisimman vaakasuorana tai loivasti nousevana; notkea betonimassa pyrkii valumaan putkessa, aiheuttaen ilmataskuja putkistoon. [10, s. 54.]

Ennen kuin betonin pumppaus pilariin voidaan aloittaa, täytyy huomioida että pump-  
pausputkistosta ensin tuleva betonimassa on huonolaatuista. Tästä syystä ensim-  
mäiset noin 100 - 150 l betonista tulee pumpata betonijätteeseen tai johonkin ”mer-  
kityksettömään” täyttövaluun. Betonin pumppaus voidaan aloittaa, kun pumppaus-  
linja on vedetty pilarille ja putken vastakappale on kytketty pilarin valuyhteeseen.  
[20, s. 34.]

Kuvassa 19 työmaalla on käynnissä CFT-pilarin betonointi alakautta. Valuhetkellä ilman lämpötila oli  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja tästä syystä valussa noudatettiin talvibetonointitoimenpiteitä. Pilareissa ollut jää sulatettiin kuuman vesihöyryn avulla ja pilarit suojattiin lämpöeristeillä, jotka näkyvät kuvassa pilarin ympärillä. Valussa käytettiin nopeasti kovettuvaa betonimassaa ja betonin vaadittua lujuusluokkaa korotettiin. Lisäksi betonia lämmitettiin lämmityslankojen avulla ja lämpötilan seuranta tehtiin dataloggerin avulla.



Kuva 19. CFT-pilarin betonointi kauppakeskus RED1 :n työmaalla Helsingissä 16.02.2017 [33].

Työ voidaan aloittaa, kun tarvittavat esivalmistelutoimenpiteet on tehty, kuva 19. Edessä vasemmalla oleva pumppuauto pumppaa betonia pilariin samalla, kun betonikuljetusauto lastaa betonia pumppuautoon. Ylhäällä vasemmalla oleva rakennusmies tarkkailee pilarin täyttymistä valun edetessä. Alhaalla oleva pumppuauton kuljettaja on radiopuhelimella yhteydessä pilarin yläreunaa tarkkailevaan rakennusmieheen. Kun pilari on lähes täynnä, yläpuolella oleva työmies antaa merkin pumppuauton kuljettajalle hidastaa pumppausta. Pilari täytetään hieman yli tai niin kauan, että hyvälaatuista betonia tulee ylös asti. Pilarin täytyttyä betonipumpulta tulevan valuputken valuyhde suljetaan. Kun pumppausputki on suljettu, voi pilarin alareunalla oleva rakennusmies lyödä vasaralla pilarin valuyhteen umpeen, kuva 20a. Tämän jälkeen pumppausputki voidaan siirtää ja kytkeä seuraavaan CFT-pilariin, kuva 20b.



Kuva 20. CFT-pilarin valuyhde suljetaan betonoinnin jälkeen, 20a. Betonin pumppausputki siirretään pikaisesti seuraavalle pilarille, kun valuyhde on saatu suljetuksi, 20b [34].

Jos betonointiin on valittu itsetiivistyvä betoni, sille sopivana valamisnopeutena pidetään noin 5 - 10 m<sup>3</sup>/h. Mikäli käytetään tavanomaista betonia, sen pumppausnopeus on hieman alhaisempi. Tämä johtuu siitä, että se tulee tiivistää samalla, kun betonointia tehdään. Liian suuri valunopeus voi johtaa siihen, että kaikki ilma ei pääse poistumaan betonista. Liian alhainen valunopeus voi puolestaan johtaa tukosten syntymiseen. Valun onnistumisen kannalta on myös tärkeää, että betonin toimitus työmaalle tapahtuu häiriöttä. Kun pumppausnopeus pidetään tasaisena, on betonin toimitus aikataulullisesti helpompaa. Näin ollen ei synny tilanteita, että uutta kuormaa jouduttaisiin odottamaan tai

seisottamaan työmaalla pitkiä aikoja. Hetkellinen valupaine saattaa myös nousta, kun pumppaus keskeytetään ja aloitetaan taas uudestaan. [21, s. 9; 8, s. 83; 20, s. 32.]

Kun pilarin betonoinnista on kulunut noin puoli tuntia, tarkistetaan betonimassan korkeusasema. Jos pilarin yläreunassa havaitaan massan painumista, lisätään pilariin yläkautta betonia. Tämän jälkeen pilarin yläpää tiivistetään sauvatäryttimellä ja ylimääräinen betonimassa siistitään pilarin päältä pois, kuva 21. Vaikka CFT-pilari valettaisiin itsetiivistyvällä betonilla, voidaan sille tehdä kevyt jälkitärytys jos pilari on varustettu päätylevyllä. Asia tulee kuitenkin varmistaa betonin toimittajalta, sillä itsetiivistyvien betonien koostumuksissa on vaihtelua. [16, s. 2; 26; 19, s. 35.]

Tiivistyksen jälkeen pilarin yläpää suojataan lämpöeristeellä, ettei betoni pääse jäätymään tai kuivumaan pinnasta. Talviolosuhteiden vallitessa betonimassan jäätyminen voidaan estää lämmityslangoilla ja dataloggerin avulla seurataan massan lämpötilaa kovettumisen aikana, kuva 21. Betonimassan lämmitystä lämpölangoilla jatketaan niin kauan, että rakennesuunnitelmien mukainen lujuus on saavutettu. [10, s. 54.]





Kuva 21. Betonimassa jälkitärytetään sauvatäryttimellä CFT-pilarin yläpäästä ja ylimääräinen betoni siistitään pilarin päältä pois [35].

### 3.7 Betonivalun laadunvarmistus

Valun onnistuminen voidaan tarkastaa kahdella eri menetelmällä, jotka selostetaan tässä kappaleessa. Menetelmä 1 on Suomessa yleisesti käytetty menetelmä. Menetelmä 2. on vähän käytetty sen saatavuuden ja hinnan takia. Menetelmä 2 on kuitenkin dokumenteiltaan ja tarkkuudeltaan parempi kuin menetelmä 1. Menetelmää 1 voidaan käyttää ulkona talviolosuhteissa, tämä vaikuttaa osaltaan menetelmän käyttöön Suomessa [10, 62].

Liitteessä 2 esitetään tarkastuksen lomakemalli. Tarkastuksen alkaessa betonin iän tulee olla vähintään kaksi vuorokautta ja lujuuden riittävä. Rakennesuunnitelmissa määritellään, milloin riittävä lujuus on saavutettu. Jos pilarin valu on toteutettu yläkautta, sen alareuna on erottumisen takia herkempi valuvirheelle (harva betoni) kuin alakautta betonoidessa, ja se tulee tällöin tarkastaa. [10, s. 62.]

#### *Menetelmä 1 ”koputtelukoe”*

Tässä menetelmässä CFT-pilarin täytön onnistuminen varmistetaan niin, että betonoituun teräskuoreen lyödään vasaralla tasaisin välein (max. 500 mm) neljältä suunnalta. Vasaralla iskiessä pilarista kuuluu sointiääni, jonka perusteella tiedetään, onko pilari täytynyt kokonaan. Jos teräskuori on irti betonista, kuuluu pilariin lyödessä ”kirkas” sointiääni. Huonosti täyttyneet kohdat korjataan poraamalla teräskuoreen reikä ja injektoidamalla ne injektointimassalla (ontelo tai harva betoni) täyteen. Injektoinnin onnistuminen varmistetaan esimerkiksi menetelmän 2 mukaisella DOC-700-laitteella tai ultraäänellä. [10, s. 62.]

Mikäli tarkastuksessa havaitaan, että betoni on irronnut teräsputkesta massan kutistumisen vuoksi ja siitä syntynyt väli on niin pieni, ettei sitä olisi järkevää korjata injektoidamalla, on rakennesuunnittelijan varmistettava sen vaikutus pilarin toimintaan ja kantokykyyn. Samoin, jos pilarista löydetään paikallinen virhe, joka ei sijaitse liitosalueella, voi rakennesuunnittelija arvioida sen vaikutuksen pilarin kantokykyyn. [10, s. 62.]

Tarkastusta tekevän henkilön tulee myös huomioida, että paikallinen lämmön nousu CFT-pilarin kyljessä (hitsaus, hionta), voi johtaa tarkastuksessa virheelliseen sointiääneen, joka ei kuitenkaan johdu valuvirheestä. [10, s. 63.]

Tarkastustyöstä tehdään pöytäkirja, johon tarkastaja kuittaa pilarikohtaisesti kerroksittain saadut tulokset, ks. liite 3. [10, s. 63.]

## Menetelmä 2

CFT-pilari tutkitaan DOC-700-laitteella (tai vastaavalla laitteella), jonka toiminta perustuu Impact-Echo-menetelmään, kuva 22. Tarkastus tehdään max. 500 mm:n välein neljältä suunnalta laitevalmistajan antamien ohjeiden mukaisesti. Tarkastuksessa havaitut virheet korjataan poraamalla teräskuoreen reikä ja injektoimalla harva betoni tai ontelo täyteen injektointimassaa. Injektoinnin onnistuminen varmistetaan Impact-Echo-menetelmää hyödyntävällä laitteistolla tai ultraäänellä. Tarkastustyöstä tehdään pöytäkirja, johon tarkastaja varmentaa pilarikohtaisesti kerroksittain saadut tulokset. [10, s. 63.]



Kuva 22. Impact-Echo-menetelmällä toimiva DOC-700-mittauslaitteisto [36].



## 4 Yhteenveto

### 4.1 Tulokset ja päätelmät

Työn päätavoite, Sweco Rakennetekniikka Oy:n teräs- ja liittorakenteiden työselostus liittopilarien osalta jätettiin yhteisellä päätöksellä valmisteluasteelle, koska Betonirakenteiden toteutusnormiin on tulossa syksyllä 2017 muutoksia. CFT-liittopilarin betonointiin, valvontaan ja ohjeistukseen saatiin kuitenkin suurelta osin lisää tietoutta. Työn lopputuloksena saatiin koottua betonointiin vaikuttavia asioita ja kysymyksiä joita olisi syytä tutkia lisää. Työssä kerätyn tiedon perusteella tehtiin päivittäistä valutyötä helpottamaan työn liitteenä 2 oleva betonoinnin tarkistuslista, jonka tavoitteena on antaa lisää työkaluja valvovalle rakennesuunnittelijalle ja työnjohdolle.

Lähtötilanteessa suurin kysymys oli, mitkä asiat vaikuttavat CFT-liittopilarin betonointiin, sekä millaisia riskejä työtekniikkojen ja betonimassavalinnan suhteen on. CFT-liittopilarin onnistunut betonointi on monen tekijän summa. Seuraavassa on pilkottu tämän tutkimuksen perusteella saatuja tietoja, joiden avulla voidaan vaikuttaa valun lopputulokseen:

#### Pilarin dimensiot

- 1) **Raudoituksen sijoittelu:** Rakennesuunnittelija voi ennalta ehkäistä pumppauksesta johtuvaa tukoksen syntymistä raudoituksen sijoittelussa niin, ettei valuyhteen välittömään läheisyyteen sijoiteta raudoitusta.
- 2) **Pilarin päätylevyn koko:** Suunnittelija voi myös pienentää valuvirheen riskiä pilarin yläpäässä suurentamalla pilarin päätylevyssä olevan reiän halkaisijaa.

#### Betonimassa

- 3) **Runkoaineen raekoko:** Runkoaineen suuri raekoko voi vaikuttaa ah-  
taissa paikoissa tukosten syntymiseen. Suunnittelija voi halutessaan vai-  
kuttaa betonimassan runkoaineen raekokoon merkitsemällä sen suunnit-  
telmiin. Tämä voisi ennalta ehkäistä tukosten syntymistä betonin pump-  
pauksen aikana ja toisaalta sitä, ettei turhaan valita pientä runkoaineen  
raekokoa, mikä johtaa hieman suurempaan kutistumaan.
- 4) **Tavanomainen vai itsetiivistyvä betoni:** CFT-liittopilarien valamisessa  
voidaan käyttää tavanomaista betonimassaa tai itsestään tiivistyvää be-  
tonia. Kun betonointiin valitaan tavanomainen betonimassa, sen tiivistä-

miseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Tavanomaisen betonin käyttäminen kerrosta korkeammissa pilareissa hankaloittaa betonin tiivistämistä, sillä sauvatäryttimellä ei päästä ylintä kerrosta alemmaksi. Tällöin alempien kerroksien tiivistyksessä joudutaan käyttämään muottitärytintä. Tiivistyksessä tulee myös huomioida, että kun valaminen tehdään nykyisin pilarin alapäästä, ei tiivistystä voida toteuttaa samoin kuin yläkautta valamalla tehtäisiin. Tästä johtuen työn laadun, ja sujuvuuden kannalta on järkevämpää käyttää yhtä kerrosta korkeammissa CFT-liittopilarivaluissa itsetiivistyvää betonia.

- 5) **Vastaanottotarkastus:** Betonimassan laadun varmistaminen työmaalla ennen valun aloittamista on erityisen tärkeää, koska teräskuori peittää mahdolliset virheet massan laadussa. Nykyinen betonirakenteiden toteutusnormi SFS-EN 13670 vaatii, että tavanomaiselle betonille tehdään vähintään silmämääräinen tarkastus ja itsetiivistyvälle betonille notkeuden ja lämpötilan mittausta.
- 6) **Pumppausnopeus:** Betonimassan pumppausnopeudella näyttäisi olevan vaikutusta alakautta tehtävän painevalun lopputulokseen. Liian nopea pumppausnopeus voi johtaa siihen, että tuoreessa betonissa oleva ilma ei ehdi poistumaan riittävän nopeasti. Tällöin on vaarana, että betoniin jää ilmataskuja. Liian hidas pumppausnopeus voi johtaa tukosten syntymiseen. Työssä esitettiin kuutiomäärään (5 - 10 m<sup>3</sup>/h) ja nousunopeuteen (1 m/min) perustuvat vaihtoehdot betonin pumppausnopeuteen. Kuutiomäärään perustuvan pumppausnopeuden haitta on, että pilarin poikkileikkaus vaikuttaa massan nousunopeuteen. Pienessä pilaripoikkileikkauksessa betonimassa nousee nopeasti, kun isommassa poikkileikkauksessa massan nousu tapahtuu hitaammin. Nousunopeuteen perustuvan pumppausnopeuden etu on se, että massan nousunopeus pysyy samana pilarin poikkileikkauksen koosta huomatta. Tällöin nousunopeuteen perustuvaa pumppausta voidaan pitää myös hyvänä vaihtoehtona. Nousunopeuteen perustuvaa pumppausnopeutta voidaan kuitenkin pitää pumppausnopeuden maksimiarvona, koska tätä (1 m/min) nopeampi pumppausnopeus voisi johtaa ilmataskujen syntymiseen betomassan sisällä. Hitaamman pumppausnopeuden vaarana on tukoksen syntyminen, mutta tukos voidaan havaita helposti, kun ilmamäärän kasvua taas ei. Tästä syystä voitaneen päätellä, että betonin ilmamäärän kasvu on määrävämpi ja pumppausnopeus tulisi pitää alle 1 m/min. Betonikuormien tahdistamisessa tulee kuitenkin huomioida, että nousunopeuteen perustuvassa pumppauksessa betonin menekki (m<sup>3</sup>/h) vaihtelee pilarin poikkileikkauksesta riippuen.

## Betonointi

- 7) **Valun valmistelu:** Ennen valamista on erittäin tärkeää, että tarvittavat esivalmistelutoimenpiteet on tehty asianmukaisesti. Pilarin pystysuoruus ja raudotteiden sijainti on tarkastettu sekä vesi, jää ja roskat on poistettu pilarin sisältä. Betonointityönjohtajan tulee myös huomioida talvibetonointitoimenpiteet, huomioiden sään vaihtelut valun aikana ja sen jälkeen.

- 8) Valutyö:** Betonoinnin alkaessa on tärkeää, että betonin laatu varmistetaan sen saapuessa työmaalle betonirakenteiden toteutusnormin SFS-EN 13670 ohjeiden mukaisesti. Huonolaatuista betonia ei saa koskaan pumpata CFT-liittopilariin. Kuorman ensimmäiset noin 100 - 150 l betonista pumpataan aina betonijätteeseen. Betonin laatu varmistetaan lisäksi pumppauksen loppuvaiheessa pilarin huipulla. Tarvittaessa pilaria ylitetään niin kauan, että hyvälaatuista betonia nousee ylös asti. Tavanomaista betonia käytettäessä tulee betonimassa tiivistää. Puoli tuntia valun jälkeen betoni (tavanomainen) jälkitiivistetään pilarin yläpäässä ja massaa lisätään tarvittaessa. Massan lisäys tehdään, käytettiinpä sitten tavanomaista tai itsetiivistyvää betonia. Itsetiivistyvälle betonille voidaan myös tehdä kevyt muutaman sekunnin jälkitiivistys, jos betonin koostumus sen sallii. Asia tulee kuitenkin varmistaa betonin toimittajalta.
- 9) Jälkihoito:** Betonin ja ilman lämpötilaa seurataan seuraavina päivinä valun jälkeen. Ilman lämpötilan ollessa valun aikana tai sen jälkeen alle +10 °C on betonimassan lämpötilan seuraaminen tärkeää, koska tällöin betonin lujuskehitys voi hidastua voimakkaasti betonimassasta riippuen. Betonin lämpötilaerot eivät saa kasvaa liian suuriksi pilarin sisällä. Erityisesti liian suuri lämpötilagradientti betonin sisäosan ja kylmän ulkopinnan välillä voi aiheuttaa betonin halkeiluvaurioita, mitkä eivät teräskuoren alta näy, mutta vaurioittavat betonia ja heikentävät betonin ja teräksen välistä tartuntaa. Tämä on tärkeää huomioida valun valmistelussa, kun ryhdytään talvibetonointitoimenpiteisiin. Pilarit tulee suojata hyvin lämpöeristeellä ja betonimassaa voidaan lämmittää lämmityslingoilla.

#### 4.2 Jatkokehitystoimenpiteet

CFT-liittopilarien betonointiin liittyy monta asiaa, jotka vaikuttavat valun lopputulokseen. Kun työtä koottiin kirjallisten lähteiden ja asiantuntijahaastatteluiden avulla yhteen, jäi absoluuttinen varmuus muutamien asioiden osalta saavuttamatta. Betonin optimaalinen pumppausnopeus ja tavanomaisen betonin tiivistäminen olivat asioita, jotka kaipaisivat lisätutkimuksia. Seuraavassa kysymyksiä, joita olisi syytä tutkia lisää:

## Betonin pumppausnopeus

Betonin vertikaalisesta pumppausnopeudesta oli saatavilla eri lähteistä riippuen erilaista tietoa. Yhdessä lähteessä ilmoitettiin sopivaksi pumppausnopeudeksi noin 1 m/min. Samaisessa lähteessä todettiin, että hitaampi pumppausnopeus johtaa todennäköisemmin tukoksen syntymiseen kuin nopeampi pumppausnopeus.

Toisessa lähteessä sopivan pumppausnopeuden ilmoitettiin olevan noin 5 - 10 m<sup>3</sup>/h. Kolmannessa lähteessä varoiteltiin liian nopean pumppausnopeuden johtavan ilmataskujen syntymiseen betonimassan sisällä. Lähteessä ei kuitenkaan määritelty sopivaa pumppausnopeutta. Näin ollen betonin pumppausnopeuden vaikutusta betonoinnin lopputulokseen olisi syytä tutkia erilaisilla betonimassakoostumuksilla.

## Betonin tiivistäminen

CFT-liittopilarin betonointi tehdään nykyisin pääsääntöisesti alakautta betonipumpulla painevaluna. Betonin tiivistysohjeet ovat kuitenkin ajalta, jolloin valaminen tehtiin yläkautta. Nykyisellään tiivistämisen ongelma on, että vanhan ohjeen mukaan betonia tiivistetään sitä mukaa, kun betoni nousee teräsputken sisällä.

Olisiko pilarit syytä täyttää ensin kokonaan ja tiivistää vasta sen jälkeen? Entä miten kerrosta korkeammat pilarit tulisi tiivistää, jos käytetään tavanomaista betonia, vai pitäisikö pilarit valaa aina itsetiivistyvällä betonilla? Kuinka suuri merkitys näillä asioilla lopulta on valmiin CFT-liittopilarin kantavuuteen?

## Lähteet

- 1 Leskelä, Matti V. 2012. Liittorakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 4 – oppikirja BY 58. Multiprint Oy. Vantaa, Finland.
- 2 Benefits of: Structural Steel / Concrete. 2013. Verkkodokumentti. W. Jason Weiss < [https://engineering.purdue.edu/~jliu/courses/CE591/PDF/CE591comp\\_col\\_F13.pdf](https://engineering.purdue.edu/~jliu/courses/CE591/PDF/CE591comp_col_F13.pdf) > Päivitetty 30.9.2013. Luettu 17.1.2017.
- 3 Peltomaa, Mikko. 2008. Betoni-Teräs -Liittorakenteiden suunnittelu Eurokoodien mukaan. Diplomityö: Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere, Finland.
- 4 Korpela, Pekka. 1984. Betoni-Teräs -Liittorakenteiden suunnittelu Eurokoodien mukaan . Diplomityö: Tampereen teknillinen korkeakoulu. Tampere, Finland.
- 5 Liittopilari. 2012. Verkkodokumentti. Ruukki Oy. < <http://www1.ruukki.fi/Raken-taminen/Terasrunkorakenteet/Liittopilari>>. Päivitetty 13.11.2012. Luettu 14.10.2016.
- 6 Johansson, Mathias & Gylltoft, Kent 2001. Steel and Composite Structures, Vol. 1, No (2001), s. 393 – 410. Structural behavior of slender circular steel-concrete composite columns under various means of load application. Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- 7 Ichinose, L.H. & Watanabe, E. & Nakai H. 2000. Journal of Constructional Steel Research 57 (2001) 453–466. An experimental study on creep of concrete filled steel pipes. City University, Osaka, Japan.
- 8 Wang, Ying 2006. Development of New CFT Column-CFT Beam Frame Structure using Self-compacting Concrete. Kochi University of Technology, Kochi, Japan.
- 9 SFS-EN 1994-1-1. Eurokoodi 4: Betoni-teräs –liittorakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt.
- 10 Teräsrakenneyhdistys 2004. Betonitäyteen teräsluottopilarin suunnitteluohje 2. Julkaisumonistamo Eteläranta Oy, Helsinki, Finland.
- 11 SFS-EN 1090-1 + A1. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 1: Vaatimukset rakenteellisten kokoonpanojen vaatimusten mukaisuuden arviointiin.
- 12 SFS-EN 1090-2 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus – Osa 2: Teräsrakenteita koskevat tekniset vaatimukset
- 13 SFS-ISO 7976-1. Tolerances for building. Methods of measurement of buildings and building products. Part 1: Methods and instruments.

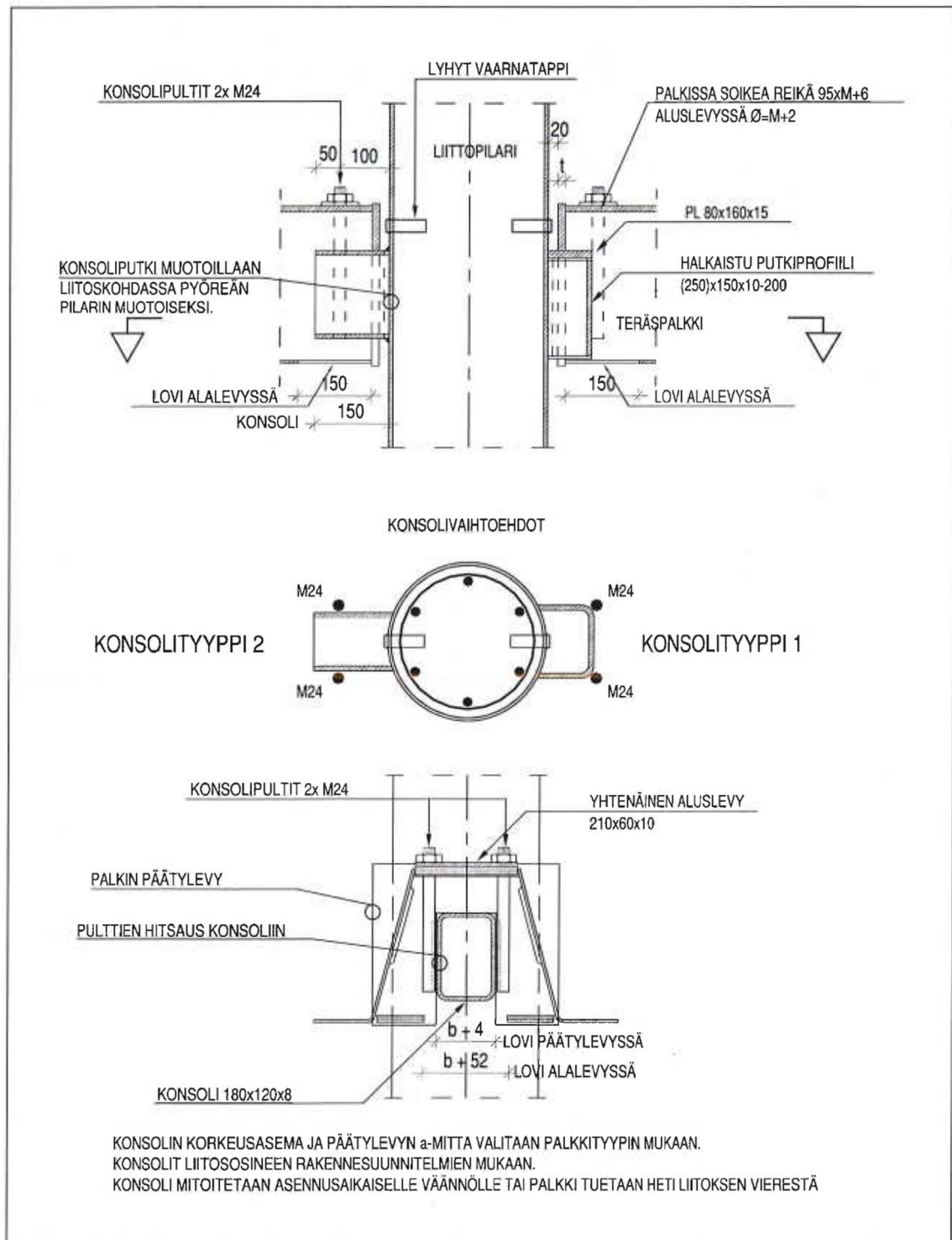
- 14 SFS-ISO 7976-2. Tolerances for building. Methods of measurement of buildings and building products. Part 2: Position of measuring points.
- 15 Johansson, Kim. DI, erityisaisiantuntija, Suomen Betoniyhdistys Ry. Puhelinhaastattelu 10.01.2017.
- 16 B. Uy & S. Das 1997. Wet Concrete Loading of Thin-walled Steel Box Columns During the Construction of a Tall Building. Department of Civil and Mining Engineering, University of Wollongong, NSW 2522, Australia.
- 17 Ratu-kortisto, 1995. Lankalämmityksen suunnitteluohje, Kone-Ratu 07-3031. Rakennustieto Oy.
- 18 Leskelä, Matti V. TkT, Oulun yliopisto. Sähköpostihaastattelu 28.11.2016.
- 19 European Project Group, 2005. The European Guidelines for Self Compacting Concrete. Specification, Production and Use. Eurooppa.
- 20 RT-kortisto, 2005. Itsetiivistyvä betoni, Rakennustieto Oy.
- 21 Kallioniemi, Jussi. DI, rakennesuunnittelija, Sweco Rakennetekniikka Oy. Sähköpostihaastattelu 08.02.2017.
- 22 SFS-EN 12350-5. Tuoreen betonin testaus. OSA 5: Leviämä.
- 23 SFS-EN 12350-8. Tuoreen betonin testaus. Osa 8: Itsetiivistyvä betoni. Painuma-leviämä.
- 24 SFS-EN 12350-12. Tuoreen betonin testaus. Osa 12: Itsetiivistyvä betoni. J-rengastesti.
- 25 Pärssinen, Matti. RI, rakennesuunnittelija, Sweco Rakennetekniikka Oy. Keskustelu 20.02.2017.
- 26 Paukku, Elina. DI, betoniteknologia-asiantuntija, Sweco Rakennetekniikka Oy. Keskustelu 24.03.2017.
- 27 SFS-EN 206-1 Betoni. Osa 1: Määrittely, ominaisuudet, valmistus ja vaatimustenmukaisuus.
- 28 The Concrete Society, 2005. Pumping concrete, Good Concrete Guide 2. Guildford, Englanti.
- 29 SFS-EN 13670. Betonirakenteiden toteutus.

- 30 Kuva 5: Tyypillinen WQ-palkin liitos liittopilariin. Palotilanteessa kuormien siirtyminen on varmistettu pilarin lävistävällä läpivientilevyllä, kuva: Jarkko Matilainen.
- 31 Kuva 15: CFT-liittopilarin päätylevyn koko voi vaikuttaa betonoinnin onnistumiseen, kuva: Jarkko Matilainen.
- 32 Kuva 18: Rakennesuunnitelmien mukainen betonimassan lujuusvaatimus CFT-liittopilareille, kuva: Jarkko Matilainen.
- 33 Kuva 19: CFT-pilarin betonointi kauppakeskus REDI :n työmaalla Helsingissä 16.02.2017, kuva: Jarkko Matilainen.
- 34 Kuva 20: CFT-pilarin valuyhde suljetaan betonoinnin jälkeen, 20a. Betonin pumppausputki siirretään pikaisesti seuraavalle pilarille, kun valuyhde on saatu suljetuksi, 20b, kuva: Jarkko Matilainen.
- 35 Kuva 21: Betonimassa jälkitärytetään sauvatäryttimellä CFT-pilarin yläpäästä ja ylimääräinen betoni siistitään pilarin päältä pois, kuva: Jarkko Matilainen.
- 36 Kuva 22: Impact-Echo-menetelmällä toimiva DOC-700-mittauslaitteisto, <http://germann.org/products-by-application/flaw-detection/docter>, (viitattu 30.3.2017)

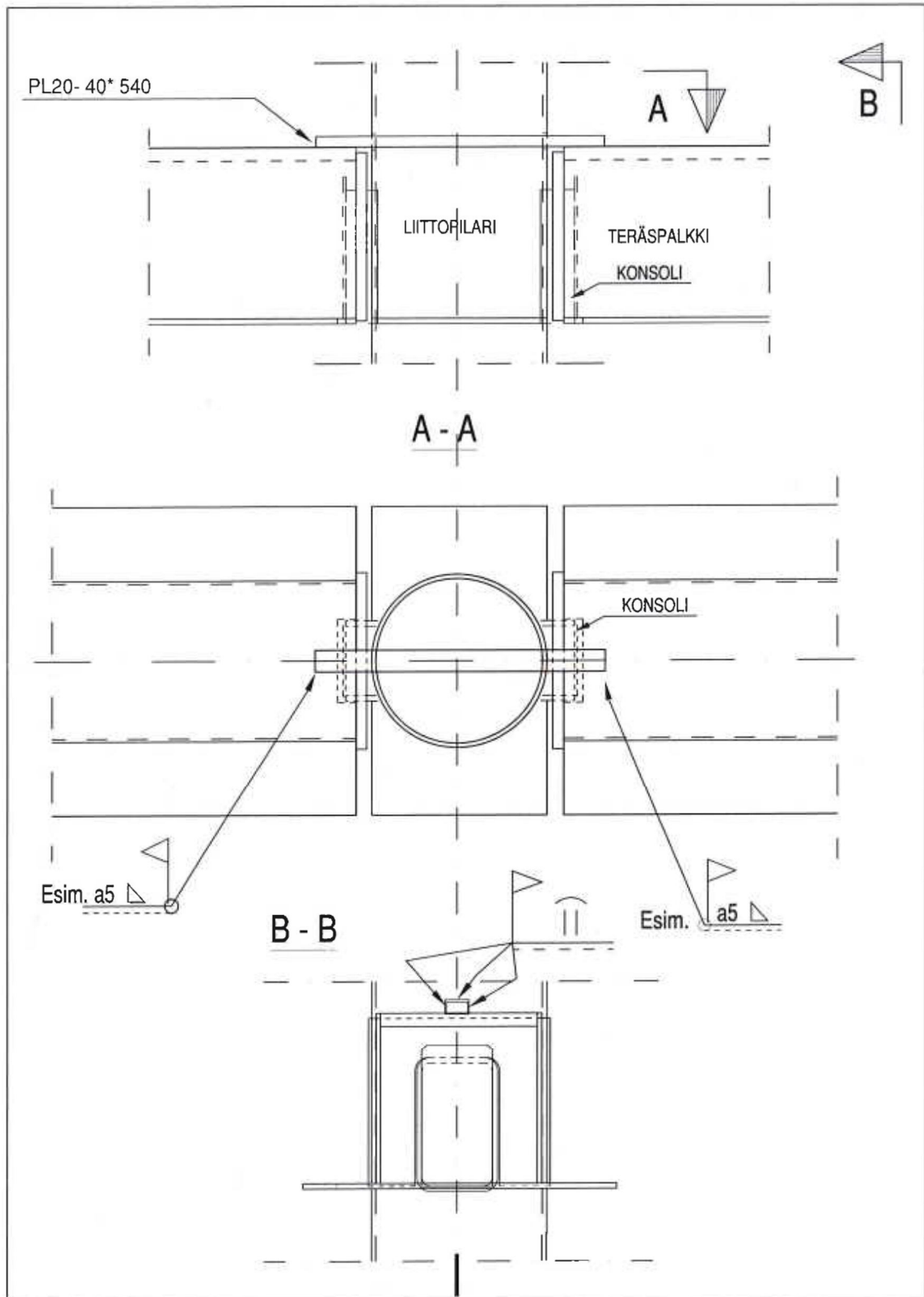
## Liittopilarien liitokset

Ensimmäisessä kuvassa on esitetty, kuinka palkin kuorma johdetaan tulipalotilanteessa teräkseltä betonille. Ensimmäisen, toisen ja kolmannen kuvan mukaisissa ratkaisuisa pilarin teräsvaippa ja palotilan yläpuolella sijaitseva vaarnarakenne siirtävät kuormat palkilta betonipoikkileikkaukselle. Liitteen kuvissa neljä ja viisi on esimerkkejä rakennerratkaisuista, joissa on jatkuvat palkit ja kerroksen korkuiset liittopilarit. Kuvien välipohjaratkaisut voivat olla vaihtoehtoisesti joko liittolaatta, massiivinen betonilaatta tai ontelolaatta. [10, s. 41.]

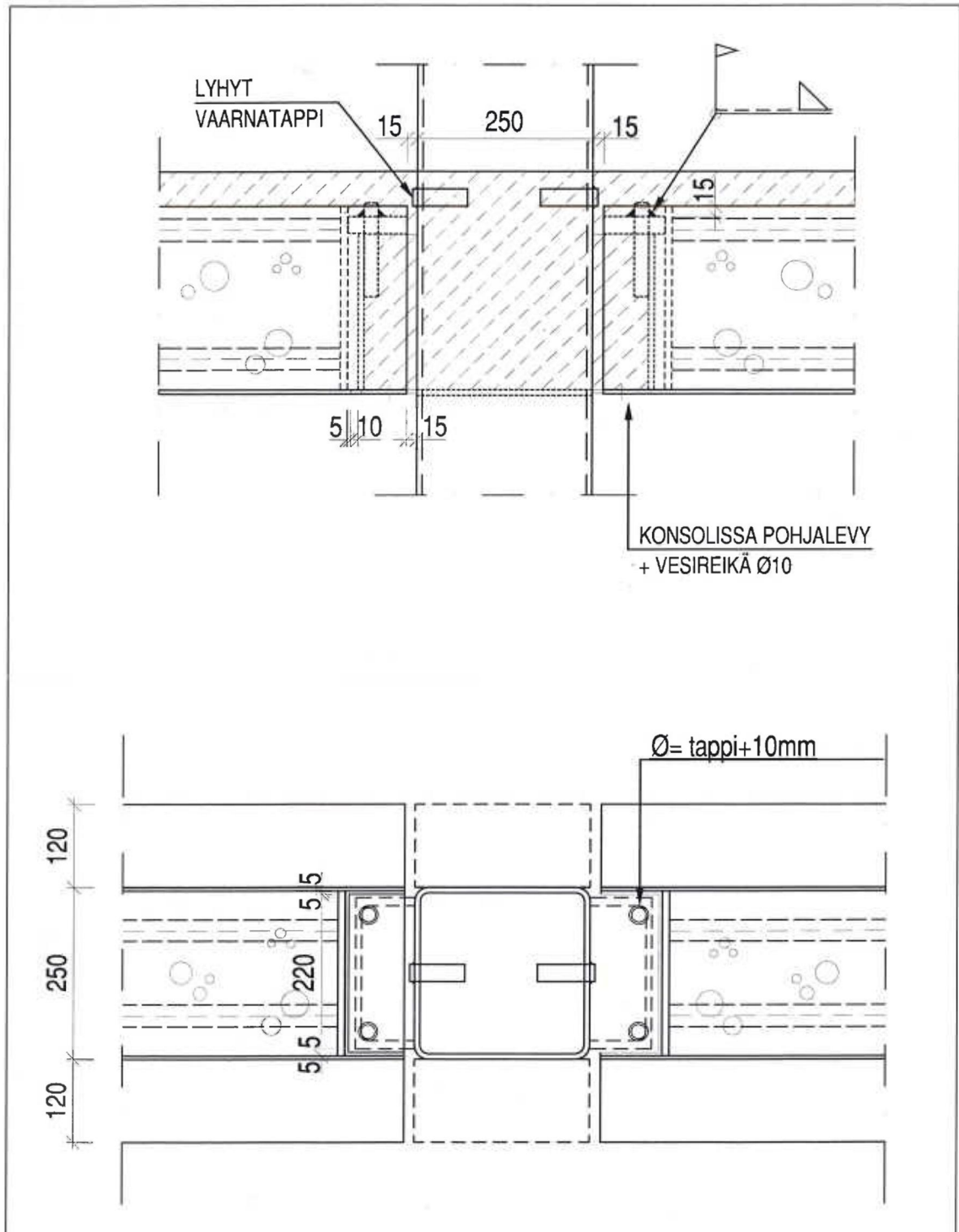




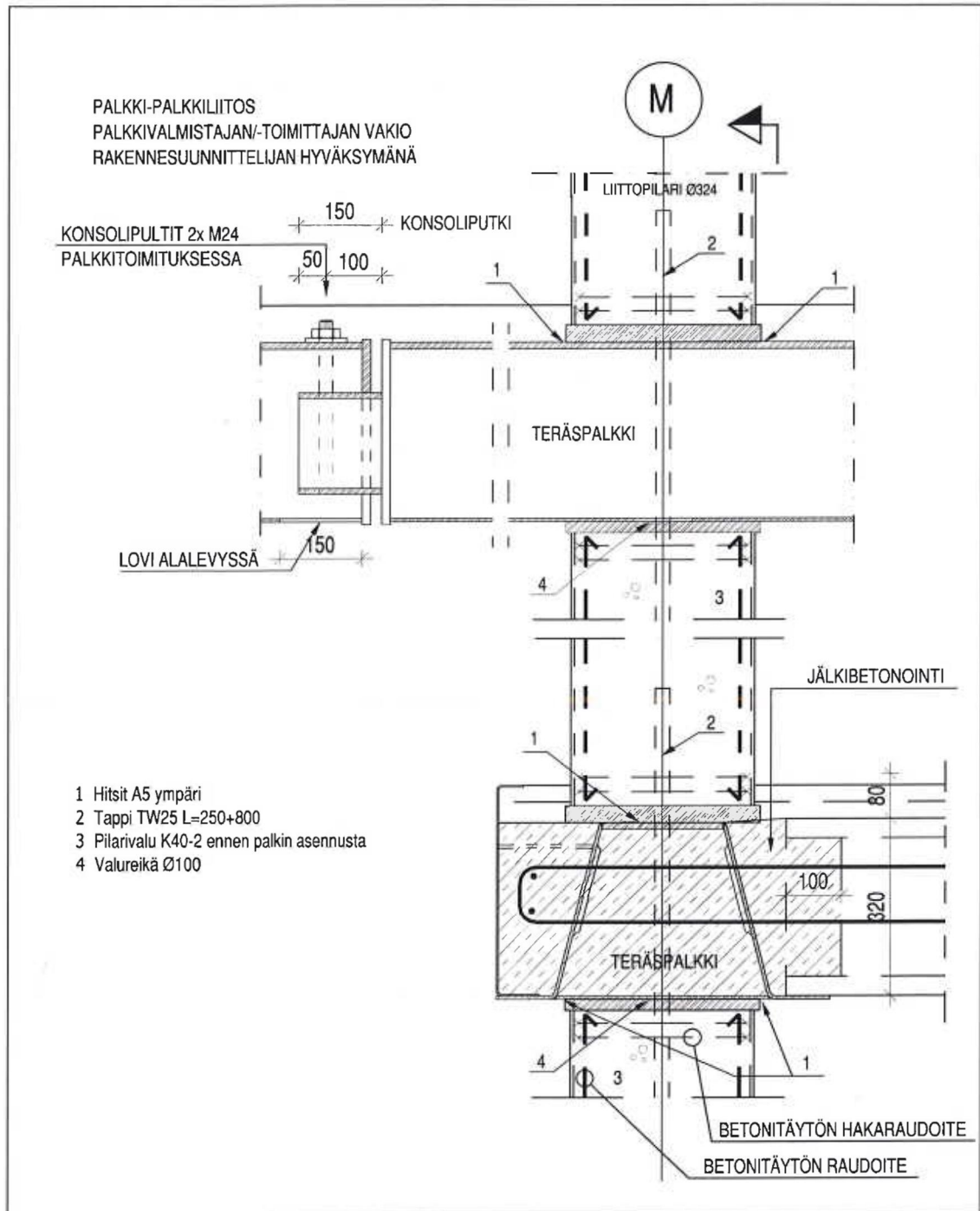
Kuva 1. Delta- palkin putkiliitos ja lyhyet vaarnatapit.



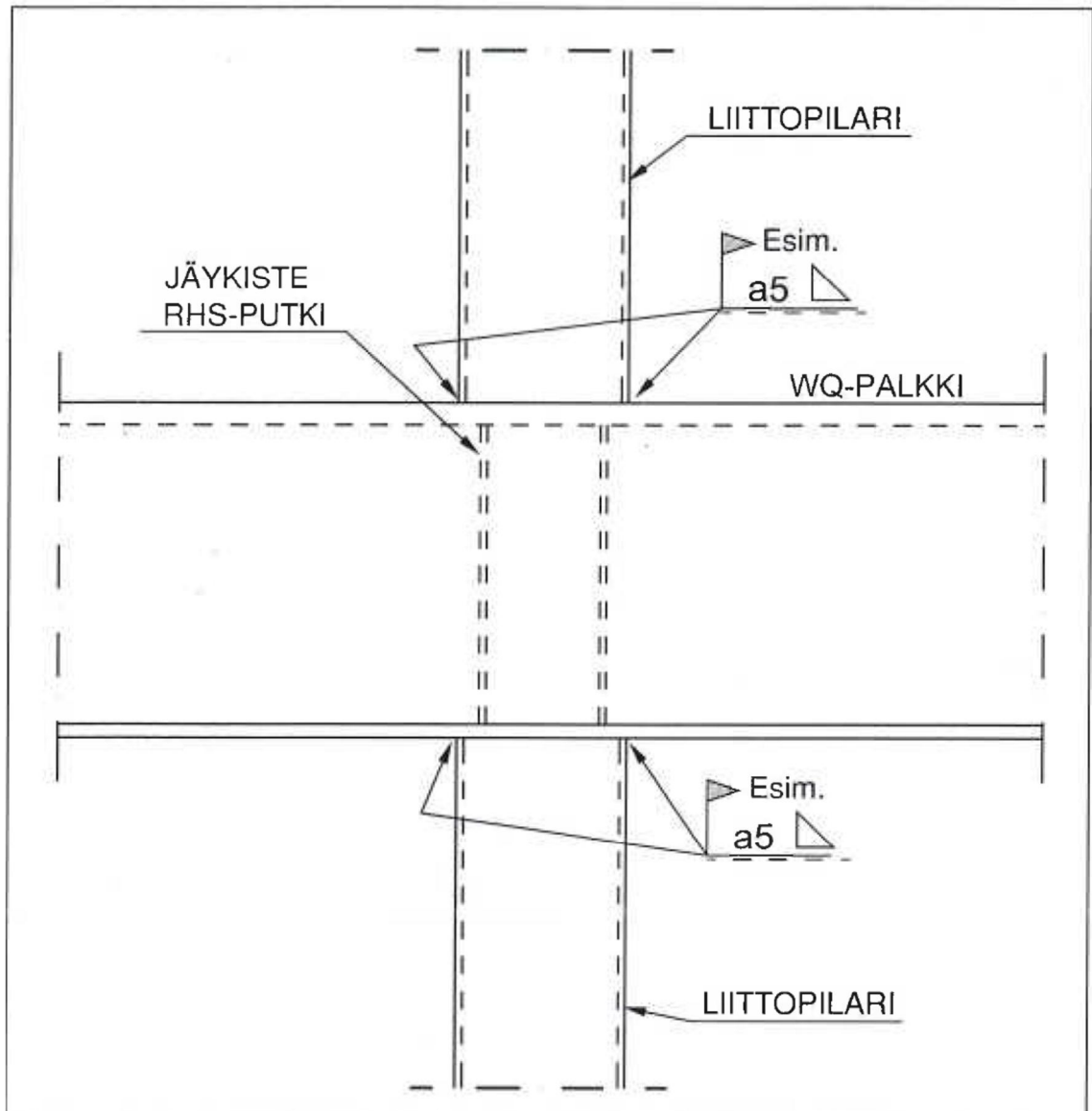
Kuva 2. WQ- palkin liitos liittopilariin, hitsatut konsolit ja pilarin läpi menevä vaarnaliitos.



Kuva 3. Kvatro- palkin liitos liittopilariin, putkikonsoliliitos ja lyhyet vaarnatapit.



Kuva 4. Delta- palkin liitos liittopilariin, kerroksen korkuiset pilarit, jatkuvat teräspalkit.



Kuva 5. Jatkuvan WQ- palkin liitos kerroksen korkuiseen liittopilariin.

## Tarkistuslista, liittopilareiden täyttövalut

Päivämäärä	
Aloitusaika	
Lopetusaika	
Ilman lämpötila	

Urakoitsijan edustaja \_\_\_\_\_

Aliurakoitsijan edustaja \_\_\_\_\_

Valun valmistelu	Hyväksytty	Väärin	Huom
Talvibetonointi toimenpiteet ohjeiden mukaisesti.			
Liittopilarin sisällä ei ole vettä/ jäätä ja pohja on puhdas.			
Raudotteet teräsputken sisällä ovat oikeilla paikoillaan.			
Pilarin tartuntateräkset ovat paikoillaan.			
Putki on tuettu riittävällä vakavuudella.			
Liittopilarin pystysuoruus varmistettu (vesivaakamittaus on riittävä).			
Pilarin vesireikä suljetaan ennen valua.			
Betonin lujuusluokka ja runkoaineen raekoko varmistettu suunnitelmista (kuva tämän tarkistuslistan liitteenä).			
<b>Betonikuorman vastaanottotarkastus</b>			
IT-betoni; Massan notkeus ja lämpötila SFS-EN 13670 mukaan jokaisesta kuormasta.			
Tavanomainen betoni; Silmämääräinen tarkastus jokaiselle kuormalle.			
Jos betonilla on ilmamäärä vaatimus, se mitataan jokaisesta kuormasta.			
<b>Valutyö</b>			
Pumppauslinja on mahdollisimman suora ja tai loivasti nouseva.			
Valun alkaessa, pumpataan ensin huonolaatuinen betoni roska-astiaan.			
Pilari pumpataan täyteen ja yli niin, että hyvälaatuinen betoni nousee ylös asti. Tavanomainen betoni tärytetään sauva tai muottitäryttimellä. Yläpään tärytykseen tulee kiinnittää erityistä huomiota.			
Puolituntia valamisen jälkeen betonimassan korkeusasema tarkistetaan. Betonimassaa lisätään tarvittaessa ja yläpäättä tärytetään niin kauan, että ilmakuplien tuleminen loppuu. Huom! IT-betonin täryttäminen tulee varmistaa betonin toimittajalta.			
Ylimääräinen betoni putsataan pois.			
<b>Valun jälkihoito</b>			
Lujuuden seuranta.			

Pilarien kokoonpanonumerot, jolle annetaan valulupa:


Urakoitsijan edustajan allekirjoitus \_\_\_\_\_

Aliurakoitsijan edustajan allekirjoitus \_\_\_\_\_

## Liittopilarin koputtelukoe, mallilomake

### LIITTOPILARIN KOPUTTELUKOE/ VALUTÄYTÖN TARKASTUS

Päivämäärä: \_\_\_\_\_

Rakennuskohde: \_\_\_\_\_

Osoite: \_\_\_\_\_

Työnumero: \_\_\_\_\_

- Kaikki pilarit koputellaan läpi 500 mm:n välein neljältä sivulta
- koputtelu kerroksittain ennen luovutusta tilaajalle
- B7:n pätevyden omaava asennustyönjohtaja tekee ja kuittaa papereihin
- virheet merkitään pohjapiirustukseen tai alla olevaan taulukkoon

Linjat	Kerros	Havaitut virheet	Hyväksytty
A1	1.		
A2	1.		
A3	1.		
D6	1.	Kirkas sointi, tarkastus poraamalla	

\_\_\_\_\_

Tarkastajan allekirjoitus

- Huom! Lämmön tuonti pilarin kylkeen (hionta, hitsaus) aiheuttaa sointiäänän, se ei ole haitallinen valuvirhe.