



# Vesitiiviin paikallavalurakenteen laadunvarmistus

Markus Kinnunen

OPINNÄYTETYÖ  
Huhtikuu 2023

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma  
Rakennustuotanto

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma  
Rakennustuotanto

KINNUNEN, MARKUS:  
Vesitiiviin paikallavalurakenteen laadunvarmistus

Opinnäytetyö 45 sivua, joista liitteitä 1 sivua  
Huhtikuu 2023

---

Tässä opinnäytetyössä käsitellään vedenpaineelle alttiiden paikallavalurakenteiden työmaatoteutusta ja laadunhallintaa. Vedenpaineen alaiset rakenteet ovat erikoisrakenteita, ja niiden onnistunut toteutus vaatii sekä työnjohdon että työntekijöiden perehtymistä aiheeseen. Vesitiiviit rakenteet on toteutettava huolellisesti yhdellä kertaa, jotta ne säilyttävät vesitiiveytensä koko suunnitellun käyttöikänsä ajan ja turhilta korjaustoimenpiteiltä vältytään. Opinnäytetyön avulla parannetaan Lujatalo Oy:n henkilöstön ymmärrystä vesitiiviiden paikallavalurakenteiden toteutuksesta.

Opinnäytetyö perustuu kirjallisuustutkimukseen, ja tässä käytetään havainnollistavana esimerkkinä As Oy Tampereen Ilmattaressa toteutettuja paikallavalurakenteita ja käytettyjä työmenetelmiä. Opinnäytetyössä käsitellään betonoinnin suunnittelua työmaalla ja paikallavalua kokonaisuutena painottaen erityisesti rakenteen lopullisen vesitiiveyden edellytyksiä.

Onnistunut betonointi jälkihoitoineen on vesitiiviin rakenteen luotettavuuden kannalta olennaisin vaihe. Vesitiiveyden varmistamiseksi vedenpaineelle alttiin rakenteisiin kuitenkin asennetaan tiettyjä vedeneristystuotteita, kuten saumanauhoja tai vuotokohtien injektointiin tarkoitettuja letkuja. Tällaisten erikoisosien käyttö ja asennus vaatii tarkkuutta ja ammattitaitoa. Tämän opinnäytetyön yhteydessä myös luotiin työnjohdon käyttöön muistilista vedeneristystuotteiden asennuksen työvaihetarkastuksiin.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Engineering  
Building Production

**KINNUNEN MARKUS**

Quality Assurance of a Waterproof Cast-in-Place Structure

Bachelor's thesis 45 pages, appendices 1 pages

April 2023

---

The purpose of this thesis was to study waterproof concrete structures and their quality control. The thesis was conducted for Lujatalo Oy with the goal of improving the understanding of water-resistant concrete construction among their staff. Structures under water pressure are specialized structures, and their implementation requires expertise. The thesis focuses on the correct implementation of waterproof structures to meet the quality requirements throughout their intended life cycle.

The thesis is a literature review and uses the structures and methods used at the As Oy Tampereen Ilmatar construction site as an example. The thesis covers the basic principles for cast-in-place structures and how they can be made waterproof, focusing on the methods necessary for achieving the final watertightness of the structure.

Waterproof structures include the installation of special waterproofing products. The thesis includes a checklist of inspections of waterproofing product installations for site management use.

---

Key words: Waterproof concrete, cast in place, quality assurance

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
1.1	Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaus .....	8
1.2	Kohde.....	9
1.3	Vesitiiviit teräsbetonirakenteet Ilmattaressa .....	10
2	Betoni rakennusmateriaalina .....	11
2.1	Paikallavalurakentaminen .....	12
3	Vesitiivis betonirakenne .....	13
3.1	Vedenpaineen eristävä rakenne.....	13
3.2	Vesitiiviin betonin määritelmä.....	14
3.3	Halkeilun hallinta .....	15
4	Laadunvarmistus .....	16
4.1	Laadun määritelmä .....	16
4.2	Yleiset laatuvaatimukset ja laki .....	16
4.3	Työnjohdon pätevyys .....	17
4.4	Laadunhallintaan liittyvät suunnitelmat.....	17
4.4.1	Betonityösuunnitelma .....	18
4.4.2	Betonointisuunnitelma .....	19
4.4.3	Betonitöiden aloituskokous.....	20
4.5	Laadunvarmistusketju .....	20
4.5.1	Aloituspalaveri .....	20
4.5.2	Mestän vastaanotto .....	21
4.5.3	Mallityö .....	21
4.5.4	Työvaihetarkastukset.....	22
4.5.5	Päivittäisjohtaminen.....	22
4.5.6	Valmiin työn luovutus.....	23
5	Toteutus.....	24
5.1	Työturvallisuus .....	24
5.2	Pohjaveden työnaikainen hallinta.....	25
5.3	Muottityö .....	26
5.4	Työsaumat .....	29
5.5	Vesitiivis liikuntasäula .....	31
5.6	Vedeneristystuotteet .....	32
5.6.1	Betonin lisäaine Velosit CA 112.....	32
5.6.2	Bentoniittinauha.....	32
5.6.3	Injektointiletkut.....	33
5.6.4	Muottilukot.....	34

5.7 Betonointi .....	35
5.7.1 Betonin tilaus ja vastaanotto.....	35
5.7.2 Valunopeudet .....	36
5.7.3 Tiivistäminen .....	37
5.8 Jälkihoito .....	38
5.8.1 Plastinen painuma ja kutistuminen .....	39
5.8.2 Olosuhdehallinta.....	40
5.9 Vedeneristys bitumikermillä .....	40
5.9.1 Bitumikermin suojaus .....	41
6 Johtopäätökset ja pohdinta .....	42
LÄHTEET .....	43
LIITTEET .....	45

**LYHENTEET JA TERMIT**

Gryndi	Hanke, jossa rakennusliike suunnittelee rakentaa ja myy kohteen itse.
Liikuntasäama	Kahden rakenteen yhtymäkohta, joka mahdollistaa niiden lämpö ja kutistuma liikkeit.
Lisäaine	Betonin osa-aine, jota lisätään betonin sekaan valmistusvaiheessa tarkoituksena muuttaa valmiin tai tuoreen betonin ominaisuuksia.
Mesta	Paikka tai alue, jossa työskennellään.
PVP	Pohjaveden pinta
Revisio	Rakennepiirustusten versio
Työsauma	Kahden erillisen valun yhtymäkohta
Valu/valaminen	Betonin valamisella tarkoitetaan betonimassan tiivistämistä muottiinsa.
VSS	Väestön siviilisuoja

## 1 JOHDANTO

Kaupunkien keskusta-alueiden alati tehokkaampi maankäyttö vaatii uusilta ja saaneerattavilta kohteilta usein yhä enemmän korkeus suunnassa tapahtuvaa rakentamista tonttimaan ollessa kallista. Korkeiden tornitalojen lisäksi rakennusten kellar- ja parkkitiloja rakennetaan myös yhä syvemmälle maan sisään, jossa rakenteet joutuvat alttiiksi erilaisille rasituksille kuten maan- ja vedenpaineelle. Veden haitallinen tunkeutuminen rakenteisiin torjutaan tekemällä vesitiiviitä rakenteita. Näin tehtiin myös Lujatalo Oy:n kohteessa, As Oy Tampereen Ilmattaressa, jossa pohjavedenpinnan alapuoliset osat toteutettiin vesitiiviistä betonista paikallavalutekniikalla.

Vedenpaineelle alttiit rakenteet on toteutettava huolellisesti ja suunnitelmien mukaan. Onnistuneen rakenteen kannalta avainasemassa ovat työnjohton asiantuntemus vesitiiviin rakenteen toiminnasta, sekä työntekijöiden perehdytys ja koulutus kohteen erityispiirteisiin. Pienetkin virheet tai huolimattomuus voivat johtaa rakenteen vuotamiseen, mikä aiheuttaa kalliita ja työläitä korjauksia.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia nimenomaan vesitiiviiden paikallavalurakenteiden oikeaoppista toteutusta ja tuottaa ohjeellista tietoa Lujatalo Oy:n työnjohtajille laadunhallinnan kehittämiseksi.

Lujatalo Oy kuuluu Luja-yhtiöihin, joka on yksi Suomen suurimmista rakennusalan konserneista. Luja on toiminut rakennusalalla 70 vuotta ja työllistää yhteensä yli 1900 ammattilaista, joista Lujatalo Oy:n osuus on noin puolet.

(Lujatalo, n.d.)

## 1.1 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaus

Tässä opinnäytetyössä keskitytään vesitiiviiden paikallavalurakenteiden oikeaoppiseen toteutukseen kirjallisuustutkimuksen ja esimerkkikohteen avulla. Tutkimus on suunnattu erityisesti onnistuneeseen betonointiin ja vuotoherkkien rakennesaumojen asialliseen toteutukseen.

Työssä käsitellään pohjaveden pinnan alapuolelle suunniteltuja kantavia runkorakenteita sekä parkkihallin maanvaraista laattaa Lujatalo Oy:n kohteessa As Oy Tampereen Ilmatar.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on toimia tukimateriaalina Lujatalo Oy:n työjohtajalle vesitiiviitä paikallavalurakenteita omaavassa kohteessa. Lisäksi Lujatalo Oy:n käyttöön tehdään tarkastuslista vesitiiviiden työsaumojen työvaihetarkastusten tueksi.

Aihe itsessään käsittelee myös paljon yleisempään paikallavalurakentamiseen, kuten väestönsuojien valuihin liittyviä seikkoja, mikä tekee työn aiheesta yleisesti hyödyllisen asiasta kiinnostuneelle.

Opinnäytetyö ei käsittele betonielementtirakenteita tai rakenteiden suunnittelua. Tutkimuksessa keskitytään rakentamisen aikaiseen paikallavalujen vaiheittaiseen toteutukseen ja siihen liittyvien tarkastusten ja suunnitelmien tekemiseen.



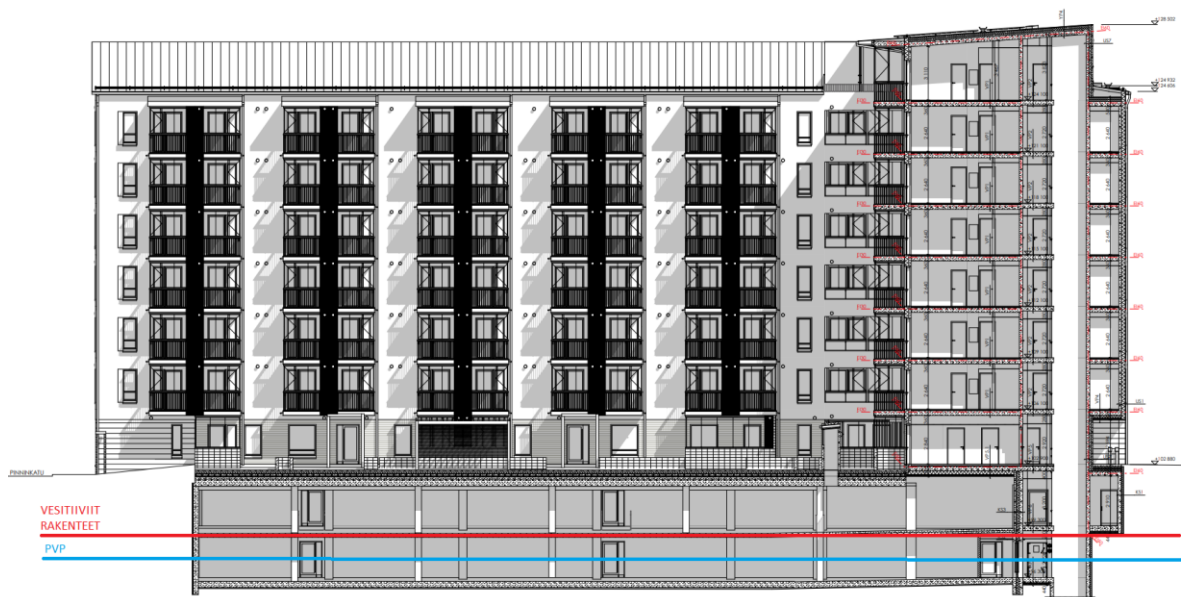
## 1.2 Kohde

Tässä opinnäytetyössä käsitellään havainnollistavana esimerkkinä vuonna 2022–2024 rakenteilla ollutta As Oy Tampereen Ilmatar kohdetta. Kohde on Lujatalo Oy:n omaa gryndi-tuotantoa ja valmistuu vuoden 2024 alkupuolella. Kohteeseen rakenteilla on 125 asuntoa ja maanpäällisiä kerroksia 7–8.

Kohteen erityispiirteinä on poikkeuksellisen haastavat pohjarakentamisen olosuhteet mm. sijainnin, pohjaveden ja viereisten rakennusten vuoksi. Tässäkin kohteessa runkourakan suorittivat Lujatalon omat työntekijät mikä on Lujatalon toiminnassa yleistä.

As Oy Tampereen Ilmattaren tapauksessa parkkitiloja jouduttiin rakentamaan syvälle maan sisään, koska kaavassa määritetty autopaikkojen määrä suhteessa rakennettaviin kerrosneliöihin vaatii sitä.

Vesitiiveyteen liittyvät -2 kerroksen rakenteet toteutettiin vuoden 2022 loppupuoliskolla ja ne sijaitsevat kuviossa 1 näkyvän punaisen viivan alapuolella.



KUVIO 1. Ilmattaren vesitiiviit rakenteet suhteessa pohjavedenpintaan.

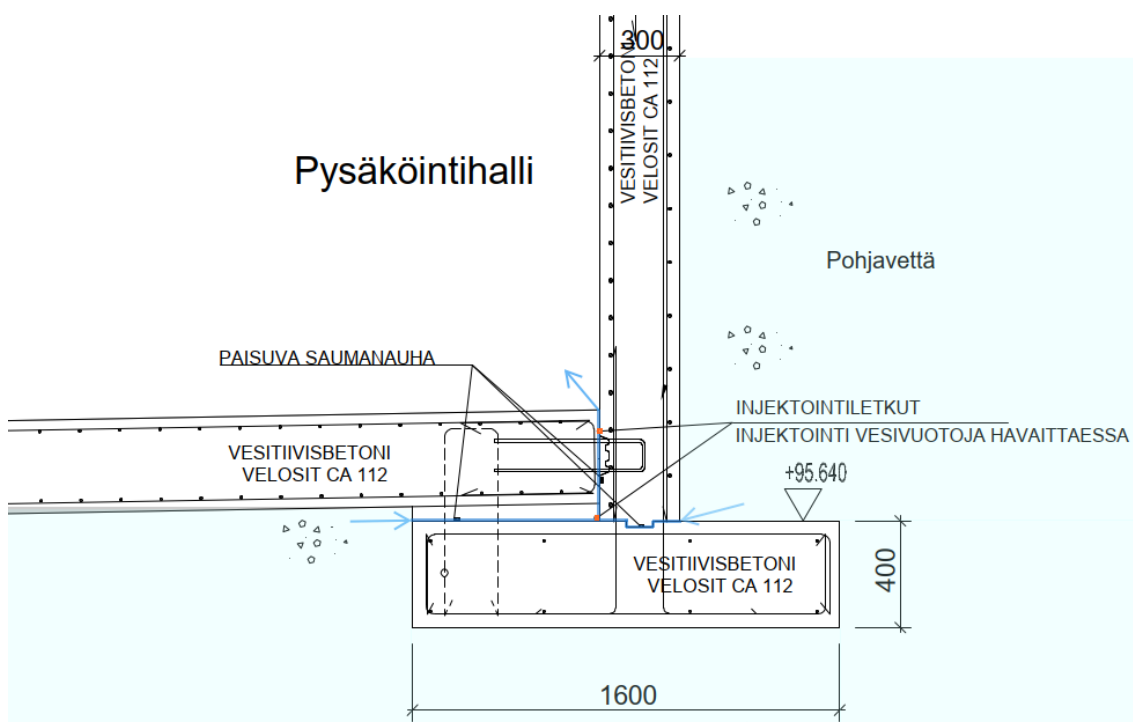
### 1.3 Vesitiiviit teräsbetonirakenteet Ilmattaressa

As Oy Tampereen Ilmattaressa tehdyt vedenpaineelle alttiit rakenteet toteutettiin paikallavalamalla. Ilmattaren kantavien rakenteiden suunniteltu käyttöikä on 100 vuotta. Rakenteiden periaatteellinen asettelu ja toiminta näkyy kuviossa 2. Tässä opinnäytetyössä käsitellään seuraavia Ilmattaren - 2 kerroksen rakenteita.

- Anturat ja pilarianturat
- Paikallavalueinät
- parkkihallin maanvarainen laatta
- Väestönsuoja

Nämä rakenteet sijoittuvat pohjavedenpinnan alapuolelle ja siksi vesitiiveyden vaatimia toimenpiteitä tehtiin. Ilmattaren vesitiiviit rakenteet koostuvat pääosin seuraavien, kuviossa 2 esitettyjen komponenttien yhteisvaikutuksena.

- Vesitiivis betoni C35/45
- Velosit CA112 betonin lisäaine
- valusaumojen tiiveyden varmistavat tuotteet
- vesitiiviit liikuntasaumalaitteet



KUVIO 2. Veden tunkeutuminen rakenteen saumoissa.

## 2 Betoni rakennusmateriaalina

Betoni on rakennusmateriaali, joka koostuu sekoituksesta sementtiä, vettä, hieno- ja karkeajakoista kiviainesta, sekä käyttökohteen mahdollisesti vaatimista lisäaineista.

Sementti on betonin tärkein osa-aine ja sen osuus betonissa vaihtelee 8...16 painoprosentin välillä. Reagoidessaan veden kanssa se muodostaa lujan ja kestäväen lopputuotteen liittäen yhteen betonin muut ainesosat.

Betonin muut osa-aineet kuten kiviaines ja erilaiset kuidut osaltaan antavat betonille sen lujuuden ja kestävyuden. (Suomen Betoniyhdistys 2018, 13.)

Betonin ominaisuuksia voidaan muuttaa valmistusprosessin aikana käyttämällä erilaisia suhteutuksia ja osa-aines laatuja antaen betonille sen laajat käyttömahdollisuudet erilaisissa sovelluksissa. (Suomen Betoniyhdistys 2018, 69.)

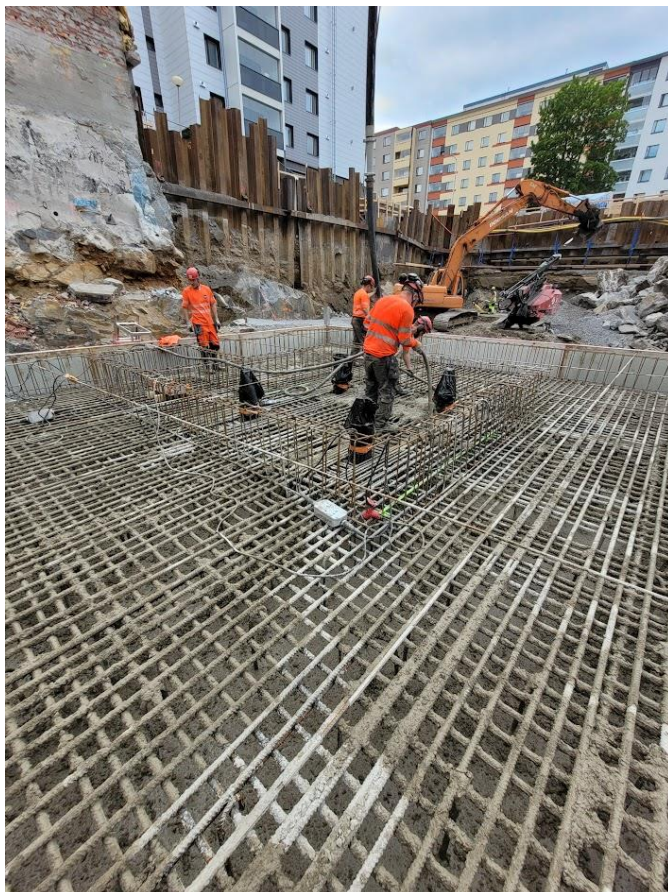
Betonia käytetään laajasti rakennusteollisuudessa sen moninaisuuden ja kustannustehokkuuden vuoksi. Betonia käytetään muun muassa rakennusten perustuksissa ja rungoissa, silloissa ja padoissa. Betoni erilaisissa muodoissaan on kaikkialla arkisessa elämässämme. (Suomen Betoniyhdistys 2018, 13.)

Lisäämällä betoniin terästä saadaan aikaan teräsbetonia joka paikkaa betonin heikointa ominaisuutta, kykyä kestää vetojännitystä. Betoni kestää vain noin kymmenyksen vetoa suhteessa puristuslujuuteensa riippuen betonista. Teräsbetonissa betonivalun sisään on lisätty raudoitteita ottamaan vastaan betonille epäedullisia vetojännityksiä. (Suomen Betoniyhdistys 2018, 17.)

Materiaalina betoni ei kuitenkaan aina ole ikuista, johtuen ympäristön sille aiheuttamista kemiallisista ja mekaanisista rasituksista kuten pakkasrapautumisesta tai esimerkiksi suolavedestä. Betonin säilyvyyteen voidaan vaikuttaa oikeaoppisella työmaatoteutuksella ja käyttötarkoitukseen sopivan betonin sekä oikeiden lisäainesten valinnalla. (Suomen Betoniyhdistys 2018, 22.)

## 2.1 Paikallavalurakentaminen

Paikallavalurakenteella tarkoitetaan suoraan lopulliseen sijaintiinsa valettua teräsbetonirakennetta, joka saa muotonsa sitä varten rakennetun muotin mukaan. Paikallavalutekniikkaa käyttäen työmaalle tilatusta valmisbetonista voidaan valmistaa tiiviitä ja jäykkiä kokonaisuuksia kustannustehokkaasti. Massiivisien betonirakenteiden tapauksessa paikallavalaminen on usein ainoa toteutustapa kuten kuvan 1 nosturinperustuksessa. Paikallavaluun liittyviin työmenetelmiin ja materiaaleihin palataan myöhemmin opinnäytetyön kohdassa toteutus. (Betoni, n.d.)



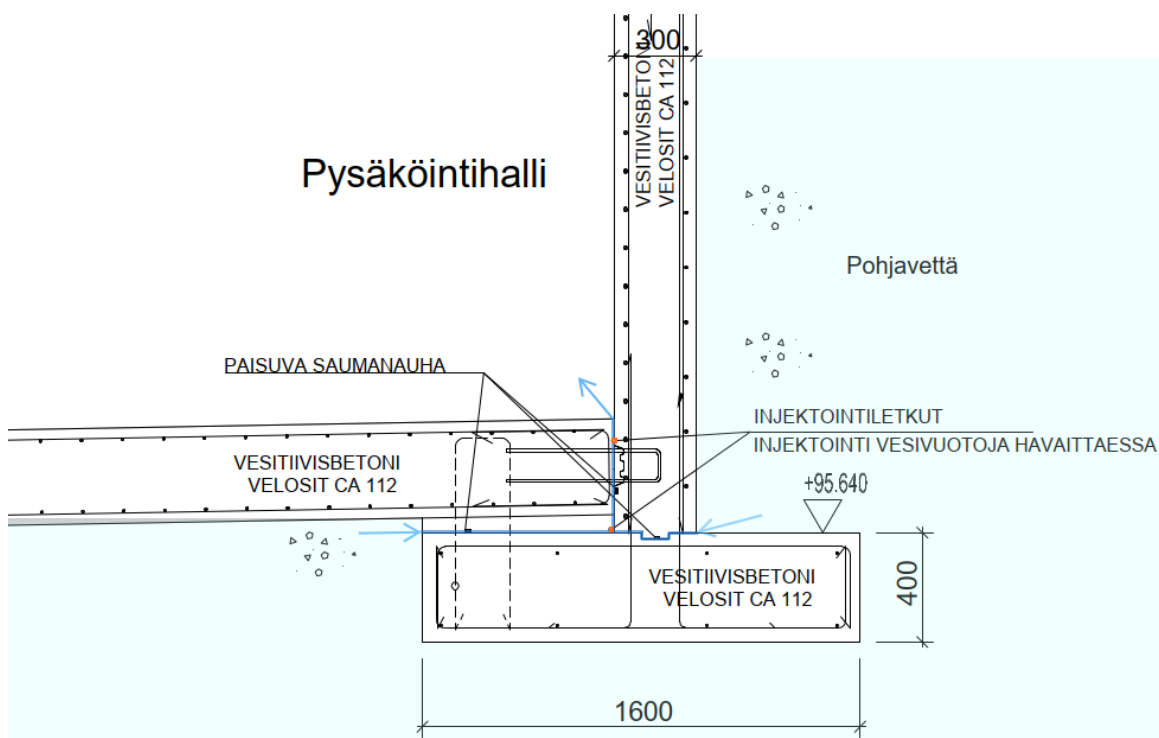
KUVA 1. Massiivisen nosturinperustuksen paikallavalaminen käynnissä As Oy Tampereen Ilmattaressa.

### 3 Vesitiivis betonirakenne

#### 3.1 Vedenpaineen eristävä rakenne

Vedenpaineen alaisista rakenteista, joihin myös Ilmattaressa toteutetut kellarirakenteet kuuluvat, on ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta säädetty seuraavaa:

”Vedenpaineeneristyksellä tarkoitetaan ainekerrosta, joka saumoineen ja tukirakenteineen kestää rakenteelle asetetun jatkuvan vedenpainevaatimuksen ja estää veden haitallinen tunkeutuminen rakenteeseen vedenpaineen vaikutuksesta.” (Maankäyttö- ja rakennuslaki, 1999,782)



KUVIO 3. Periaatekuva Ilmattaren vedenpaineen eristävästä rakenteesta.

### 3.2 Vesitiiviin betonin määritelmä

Vesitiivis betoni on betonia, joka ei päästä vettä kulkeutumaan lävitseen. Vesitiiviin betonin huokosrakenne ei saa muodostaa yhtenäistä verkostoa, jossa vesi pääsisi kulkeutumaan rakenteen läpi. Huokosrakenteen epäyhtenäisyys saadaan aikaan oikealla suhteutuksella ja lisäaineiden avulla. Vesitiivis betoni yksinään ei kuitenkaan muodosta vesitiivistä betonirakennetta johtuen betonin taipumuksesta halkeilla. Vesitiivisbetonirakenne muodostuu betonin ja terästen yhteisvaikutuksena, jolloin teräksillä hallitaan lämpötilamuutosten, kutistuman ja kuorimitusten aiheuttamaa halkeilua. Betonin vesitiiveys todetaan vesitiiveyskokeella. (RT 83–11032 Vedenpaineeneristys 2011)

Eurooppalaisen standardin SFS-EN 206-1 mukaan suunnittelija määrittää rakenteen vaatiman vesitiiveys tason. Vesitiiveystasolle ei kuitenkaan ole yhtä hyväksyttävää arvoa. Suomalaiset normit (SFS 4476 Betoni. Vedenpitävyys) määrittävät vesitiiveyden siten, että betoni katsotaan vesitiiviiksi veden tunkeutuessa 10 baarin paineen alaisena enintään 10 cm betonin sisään 24 tunnissa. Testikappaleena käytetään lieriötä, jonka halkaisija on 150 mm ja korkeus 300 mm. (RT 83–11032 Vedenpaineeneristys 2011)

### 3.3 Halkeilun hallinta

Kovettuessaan betonin sisään kehittyä erilaisia jännityksiä, joista vetojännitys on betonille haitallisin. Betonin vetolujuuden ylittyessä se halkeaa. Muodostuneet halkeamat voivat olla monen kokoisia mutta betonin säilyvyyden, rakenteen staattisen toiminnan, ulkonäön ja erityisesti vesitiiveyden kannalta oleellista on, että halkeamaleveydet pysyvät riittävän pieninä. Betonin halkeilua voidaan hallita rakenteen oikeaoppisella suunnittelulla, oikean betonikoostumuksen valinnalla ja huolellisella työsuorituksella jälkihoitoinen.

Kun betoniteräksiä suojaava betonikerros harvenee halkeamien seurauksena, teräkset altistuvat fysikaalisille ja kemiallisille rasituksille kuten karbonatisoitumiselle ja pakkasrapautumiselle. Suojaamattomat betoniteräkset alkavat ruostua ja teräksen tilavuus kasvaa, mikä edesauttaa betonin rapautumista.

Kun rakenteita mitoitetaan vedenpaineelle, teräsbetonissa käytetyn raudoitteen määrä normaaliin rakenteeseen verrattuna on noin kolminkertainen. Tiheä rauditus ottaa vastaan betonin kovettuessa ja lämpötilan muutoksista johtuvia vetojännityksiä estäen liian suurten halkeamien syntymistä.

(Suomen Betoniyhdistys ry, n.d.)

## 4 Laadunvarmistus

Laadunvarmistamisella tarkoitetaan kaikkia niitä toimenpiteitä, joiden avulla saavutetaan varmuus siitä, että tuote tai palvelu täyttää sille asetetut laatuvaatimukset. (Suomen Betoniyhdistys 2018, 177.)

### 4.1 Laadun määritelmä

Laadun määritelmä vaihtelee sen mukaan, keneltä kysytään ja minkä tuotteen tai palvelun laatua tarkastellaan. Yleisesti ottaen laatu voidaan määritellä kykynä vastata asiakkaan tai käyttäjän tarpeisiin ja odotuksiin sekä täyttää sovitut standardit ja vaatimukset. Laatuun liittyy myös virheiden ja puutteiden välttäminen tai niiden korjaaminen mahdollisimman nopeasti. Laadunhallinnassa pyritään jatkuvasti parantamaan tuotteen tai palvelun laatua ja vähentämään virheiden määrää. (Dosland, 2019)

Myös rakentamisessa laadukkaaseen työhön pyritään tekemällä työvaiheet huolellisesti suunnitelmien mukaan niin, että ne vastaavat asiakkaan tarpeita, odotuksia ja antavat rahalle vastinetta. Laadukkaaseen rakentamiseen sisältyy myös työn tekeminen kenenkään terveyttä tai ympäristöä turmelematta.

### 4.2 Yleiset laatuvaatimukset ja laki

”Yhteiskunta valvoo rakentamista rakennusvalvontaviranomaisten, rakennustuotteiden, markkinavalvontaviranomaisten tai riippumattomien sertifiointilaitosten avulla. Maankäyttö- ja rakennuslaissa määritellään rakentamista koskevat:

- yleiset edellytykset
- olennaiset tekniset vaatimukset sekä
- rakentamisen lupamenettely ja viranomaisvalvonta.”

(Suomen Betoniyhdistys ry, n.d.)

”Betonin osalta oleellisena kohtana on 152§ (21.12.2012/955) Rakennustuotteen ominaisuudet, jossa sanotaan:

”Rakennustuotteen, joka on tarkoitettu käytettäväksi pysyvänä osana rakennuskohteessa, tulee olla turvallinen ja terveellinen sekä ominaisuuksiltaan sellainen, että rakennuskohde asianmukaisesti suunniteltuna ja rakennettuna täyttää tässä laissa säädetyt olennaiset tekniset vaatimukset tavanomaisella kunnossapidolla taloudellisesti perustellun käyttöajan.”  
(Suomen Betoniyhdistys ry, n.d.)



As Oy Tampereen Ilmattaren kantavien rakenteiden suunniteltu käyttöikä on 100 vuotta. Ympäristöministeriön asetuksessa näihin rakenteisiin liittyen on säädetty seuraavasti:

”Vedenpaineen alaisten rakenteiden on kestettävä jatkuvan vedenpaineen vaikutus rakenteen suunnitellun käyttöiän ajan. Tällaisissa rakenteissa on oltava vedenpaineeneristys, joka estää ulkopuolisen veden haitallisen tunkeutumisen rakenteeseen.” (Maankäyttö- ja rakennuslaki, 1999,782)

### **4.3 Työnjohdon pätevyys**

Rakennustyömaalla työnjohto suorittaa laadunhallintaa sekä ohjaa työmaanaika- taulua ja työntekijöitä. Laadukkaan ja toimivan rakenteen toteutus vaatii työnjo- hdon perehtymistä ja ymmärrystä vesitiiveyden vaatimiin erityispiirteisiin.

Kun työmaalla tehdään toteutusluokkaan 2 tai 3 kuuluvia kantavia rakenteita, täy- tyy työmaalla olla riittävän pätevyyden omaava rakennusvalvonnan hyväksymä betonityönjohtaja. (Suomen Betoniyhdistys ry, n.d.)

### **4.4 Laadunhallintaan liittyvät suunnitelmat**

Toteutusluokkaan 2 tai 3 kuuluvia betonointeja sisältävän rakennuskohteen be- tonitöistä täytyy laatia dokumentoitu betonityö- ja betonointisuunnitelma. Työ- maalla tehtävät valut on jaettu rakenteiden vaativuuden mukaan kolmeen vaati- vuusluokkaan joista 1. on vähiten vaativa ja 3. vaativin. Yleisesti kerrostalo koh- teet kuuluvat vähintään luokkaan 2. (Suomen Betoniyhdistys ry, n.d.)

#### 4.4.1 Betonityösuunnitelma

Ennen betonitöiden aloittamista Betonityönjohtaja laatii koko kohteen betonityösuunnitelman tiiviissä yhteistyössä rakennesuunnittelijan, muotti- ja tukiteline-toimittajan, betonitoimittajan, betonointiurakoitsijan sekä työkuntien ja työmaan muiden työnjohtajien kanssa. Tiivis yhteistyö edellä mainittujen osapuolten kanssa jo työmaan alkuvaiheessa on tärkeää ja helpottaa toimivien suunnitelmien valmistelua ja toteuttamista. Betonityösuunnitelmassa käsitellään ainakin seuraavat asiat:

- Kohteen yleistiedot
- Kohteen betonityöt listattuna
- laatuvaatimukset kohteen betonirakenteille
- Työn dokumentointi, tarkastukset ja betonin laadunvalvonta
- Muottityön- ja kaluston käytön suunnittelu ja muotinpurkulujuudet.
- raudoitustöiden suunnittelu.
- Työ ja liikuntasauvojen sijainnit, laatuvaatimukset sekä niille suoritettavat tarkastukset
- Työturvallisuus
- Ympäristövaikutusten tarkastelu
- Kustannuslaskelmat

(Suomen Betoniyhdistys ry 2021, 56.)

#### 4.4.2 Betonointisuunnitelma

Edellä kerrottu betonityösuunnitelma toimii perustana jokaisesta erillisestä valusta laadittavalle betonointisuunnitelmalle. Valukohtaisessa betonointisuunnitelmassa käsitellään suoritettavaan betonointiin liittyvät tarkemmat tiedot ja vaatimukset. Betonointisuunnitelman tulee sisältää ainakin seuraavat kohdat:

- valettavan kohteen perustiedot
- betonitoimittaja
- Betonin ominaisuudet
- Betonointiin liittyvä henkilöstö ja työnjohto
- betonointikaluston ja -välineet, varakalusto
- työvaihetarkastukset ja dokumentointi
- valu olosuhteet ja ympäristö
- betonimäärän, betonointinopeuden, valutavan ja -paksuuden
- Valunopeudet, tiivistystavat ja pinnan hierto yms.
- Jälkihoitotoimenpiteet, aineet ja materiaalit.
- lujuudenkehityksen seuranta menettely.
- Muotinpurkulujuudet
- Tarvittaessa erikoistoimenpiteet; talvibetonointi, massiivivalu jne.

(Suomen Betoniyhdistys ry, n.d.)

Betonointiin liittyvien suunnitelmien laadinta on jatkuva prosessi. Suunnitelmia ja toimintaa tulee päivittää ja tarkentaa tarpeen mukaan, jotta työt sujuisivat seuraavissa vaiheissa paremmin.

(Suomen Betoniyhdistys ry, n.d.)

#### 4.4.3 Betonitöiden aloituskokous

Suunnitelmien laatimisen jälkeen hyvissä ajoin ennen betonitöiden aloitusta pidetään vielä betonitöiden aloituskokous pääurakoitsijan järjestämänä. Aloituskokouksen tarkoituksena on yhdessä hankkeen osapuolten kanssa varmistaa, että betonityöt on suunniteltu oikein ja edellytykset betonitöiden aloittamiseen ovat olemassa. Tämä tarkoittaa, että tarvittavat ilmoitukset ja luvat on tehty ja suunnitelmat ovat kunnossa. Lisäksi aloituskokouksen aikana osallistuvat tahot saavat ajantasaisen tiedon työmaan tavoitteista ja vaatimuksista.

(Suomen Betoniyhdistys ry, n.d.)

#### 4.5 Laadunvarmistusketju

Työmaalla tapahtuvan laadunvarmistuksen kulkua voidaan kuvata niin sanotulla laadunvarmistusketjulla, joka kuvataan kuviossa 4. Seuraavaksi käsitellään laadunvarmistusketjun vaiheet ja niiden merkitys alkaen kohdasta ”aloituspalaveri”.



KUVIO 4. Laadunvarmistusketju

##### 4.5.1 Aloituspalaveri

Aloituspalaveriin osallistuu suorittava työryhmä ja työnjohto. Aloituspalaverissa käsitellään betonoinnin aikataulu, työmenetelmät sekä edellä mainitut betonointiin liittyvät suunnitelmat. lisäksi aloituspalaverissa varmistetaan vielä betonoinnin ja muiden samaan aikaan tapahtuvien töiden turvallinen yhteensovittaminen. Näiden lisäksi aloituspalaverin tarkoituksena on sitouttaa työntekijät noudattamaan ennakkoon laadittuja suunnitelmia ja parantaa heidän tietoisuuttaan työtehtävästään ja sen erityispiirteistä. (Suomen Betoniyhdistys ry, n.d.)

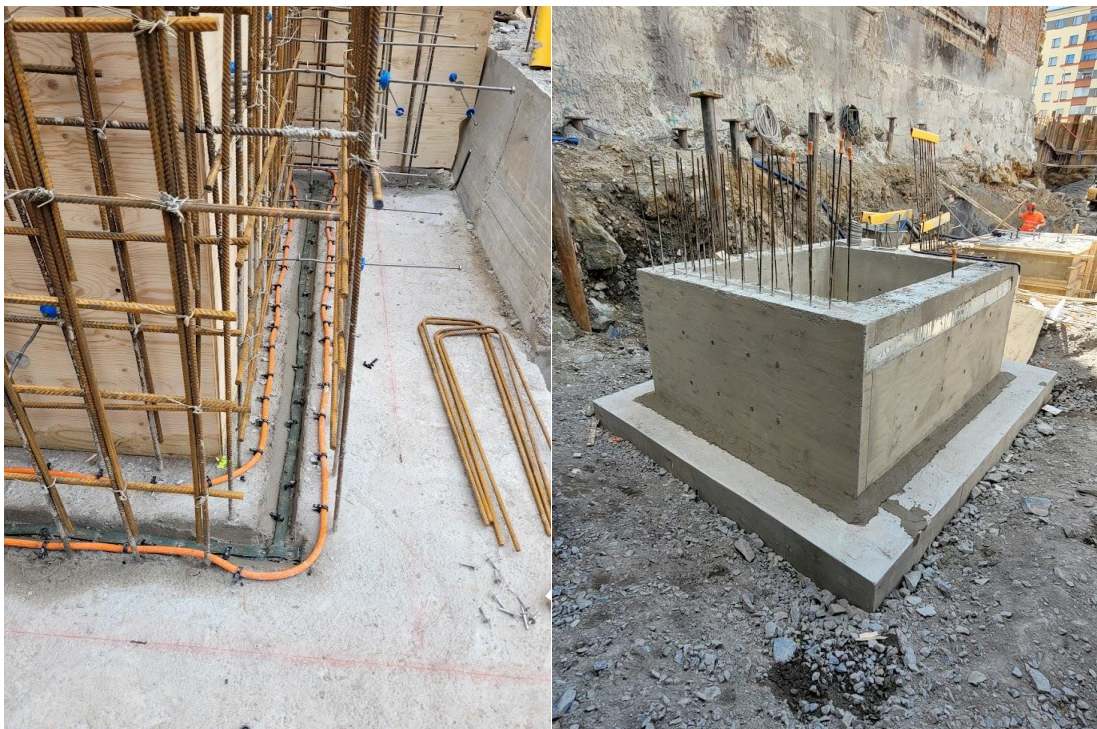
#### 4.5.2 Mestan vastaanotto

Ennen uuden työvaiheen aloitusta suoritetaan edellisen työvaiheen jälkeinen mestan tarkastus ja vastaanotto. Tässä vaiheessa tarkastetaan ainakin seuraavat asiat:

- Edellinen työvaihe on saatettu loppuun.
- Sovittu laatutaso on saavutettu.
- Mesta siivottu työvaiheen jäljiltä.
- Tarvittaessa edellinen työryhmä korjaa puutteet.

#### 4.5.3 Mallityö

Mallityö on tärkeä työkalu laadunvarmistusketjussa. Sen avulla konkretisoidaan suunnitelmien mukainen ja tavoiteltava työn laatu. Mallityö tehdään jokaisesta uudesta työvaiheesta uuden työryhmän kanssa. Samalla voidaan arvioida työryhmän työsaavutuksia. Mallityön tarkoitus on tehdä suunnitelmien mukainen työsuorite, jossa mahdolliset puutteet ja haasteet pyritään korjaamaan ennen sarjatuotantoa. Hyväksytyin mallityön jälkeen mahdolliset korjaustoimet tehdään ja kehitetään toimintaa sekä suunnitelmia havaintojen pohjalta.



KUVA 3. Hissikuilusta tehdyn mallityön vaiheita

#### 4.5.4 Työvaihetarkastukset

Työvaihetarkastukset ovat tärkeä osa laadunvarmistusketjua. Tarkastuksilla valvotaan suunnitelmien ja aiemmin hyväksytyyn mallityön mukaista toteutusta. Betonointiin liittyvät työvaihetarkastukset tehdään raudoitusten valmistuttua ennen muotin tuplausta. Tarkastuksessa dokumentoidaan tarvittavat kohdat, jotta piiloon jääviä rakenteita voidaan tarkastella myös rakenteen valmistuttua. Ennen betonointia tehtävässä työvaihetarkastuksessa tarkastetaan, että toteutus vastaa suunnitelmia ainakin seuraavien osalta:

- Muottien lujuus ja tuenta
- Muotin sijainti ja suoruus
- Suojabetonipaksuudet
- raudoitteen jatkospituudet
- Mahdolliset varaukset
- Työturvallisuus ja mestan siisteys
- Raudoitteiden suunnitelmien mukaisuus, jako, paksuudet.
- Peruspultit ja niiden sijainti
- Muotin ja valusauman puhtaus
- Muottiöljyn käyttö
- Vesitiiveyden varmistavat erikoisasennukset opinnäytetyön liitteenä toimitettavan muistilistan avulla.

(Suomen Betoniyhdistys ry, n.d.)

#### 4.5.5 Päivittäisjohtaminen

Työvaihetarkastusten välissä rakentamista valvotaan ja tuetaan päivittäisellä johtamisella. Myös laadunvalvonnan näkökulmasta on tärkeää, että työnjohtajat seuraavat töiden turvallista ja suunnitelmien mukaista edistymistä päivittäin jalkautumalla työmaalle. Näin työmaan sisäinen kommunikaatio toimii selkeämmin ja työnjohdolla on ajantasainen tilannekuva työmaan tapahtumista.

#### **4.5.6 Valmiin työn luovutus**

Valmiin työn luovutuksessa urakoitsija luovuttaa valmistuneen työnsä tilaajalle tai seuraavalle työryhmälle. Työvaiheen luovutus ja vastaanottotarkastuksesta laaditaan tarkastuspöytäkirja, jossa todetaan:

- Tavoiteltu laatutaso on saavutettu
  - Virheet ja puutteet, jotka vaativat korjauksia.
  - Puutteiden korjaamisen vastuuhenkilö ja aikataulu.
- (Suomen Betoniyhdistys ry, n.d.)

## 5 Toteutus

Vesitiiviin paikallavalurakenteen toteutukseen sisältyy monia vaiheita. Tässä osiossa käydään läpi olennaisimmat vaiheet liittyen paikallavaluseinien ja maanvaraisen laatan toteutukseen. Perustusten betonointiin ei juurikaan oteta kantaa niiden verraten yksinkertaisen toteutuksen vuoksi.

### 5.1 Työturvallisuus

Rakennusalalla on paljon riskejä johtuen muun muassa työn fyysisestä luonteesta ja työympäristön olosuhteista. Vakavimmat tapaturmat liittyvät usein henkilön putoamiseen tai puristumiseen raskaan taakan alle. Vähemmän vakavia, mutta paljon sairauslomia aiheuttavia tapaturmia ovat taas usein liukastuminen, kaatuminen tai silmiin joutuvat epäpuhtaudet. Betonille ominaista ja vähemmän tunnettua on tuoreen betonin haitalliset vaikutukset paljaalla iholla sekä silmissä. Näiden ja muiden tapaturmien ennaltaehkäisemiseksi työnjohto laatii työvaiheen työturvallisuus suunnitelman, jossa arvioidaan edellä mainittujen lisäksi kaikkia potentiaalisia riskejä ja niiden hallintaa työvaiheeseen liittyen.

Myös työmaan alue- ja logistiikkasuunnitelmat ovat tärkeitä työturvallisuuden edistämiseksi. Työmaan toimiva logistiikka vähentää materiaalien ja esimerkiksi muottikaluston tarpeetonta siirtelyä, mikä parantaa olennaisesti työmaan turvallisuutta ja työn sujuvuutta. Aluesuunnitelmaan merkitään raskaiden järjestelmämuottien kasaus- ja varastointialueet sekä betonipumpun paikat. Betonipumpun paikkaan liittyen erityistä huomiota on kiinnitettävä betonipumpun tukijalkojen sijaintiin ja maaperän kantavuuteen niissä pisteissä.

Suunnitelmien laatimisen lisäksi työntekijöiden työturvallisuuskoulutus, ohjeistus, suunnitelmien läpikäynti ja tarvittaessa niiden päivittäminen ovat myös tärkeitä vaiheita työturvallisuuden varmistamiseksi.



## 5.2 Pohjaveden työnaikainen hallinta

Veden pumppaus alkaa maanrakennusvaiheessa, kun kaivuu työt saavuttavat pohjaveden tason. Pumppausjärjestelmä on suunniteltava varmatoimiseksi kokonaisuudeksi jo alusta lähtien, jotta vältetään veden nousuilta ja turhilta viivästyksiltä kesken rakennustyön. Pumppaus järjestelmän on kohteen koosta riippuen syytä koostua vähintään kahdesta pumpusta, joista toinen on esim. Kohoventtiilillä toimiva varapumppu, joka aloittaa pumppauksen heti havaitessaan vedenpinnan nousun. Varapumppausjärjestelmän sähköistys ja purkuverkosto kannattaa järjestää pääpumppuun nähden erillistä itsenäistä reittiä, jolloin vikatilanteiden riski vähenee oleellisesti.

Myöhemmin rakenteiden saavuttaessa riittävän valmiusasteen ja lujuuden, voidaan pumppausta vähentää ja hallitusti päästää veden pinta normaaliin tasoon. Esimerkiksi maanvaraisen lattialaatan on saavutettava riittävät lujuudet ennen kuin se voidaan altistaa nosteen aiheuttamille rasituksille, johtuen laattojen yleisesti suuresta pinta-alasta. Rakennesuunnittelijat ottavat suunnitelmissaan kantaa vedestä aiheutuvaan nosteeseen ja tarvittaessa määrittävät rakennuksen ankkuroinnin maaperään.

### 5.3 Muottityö

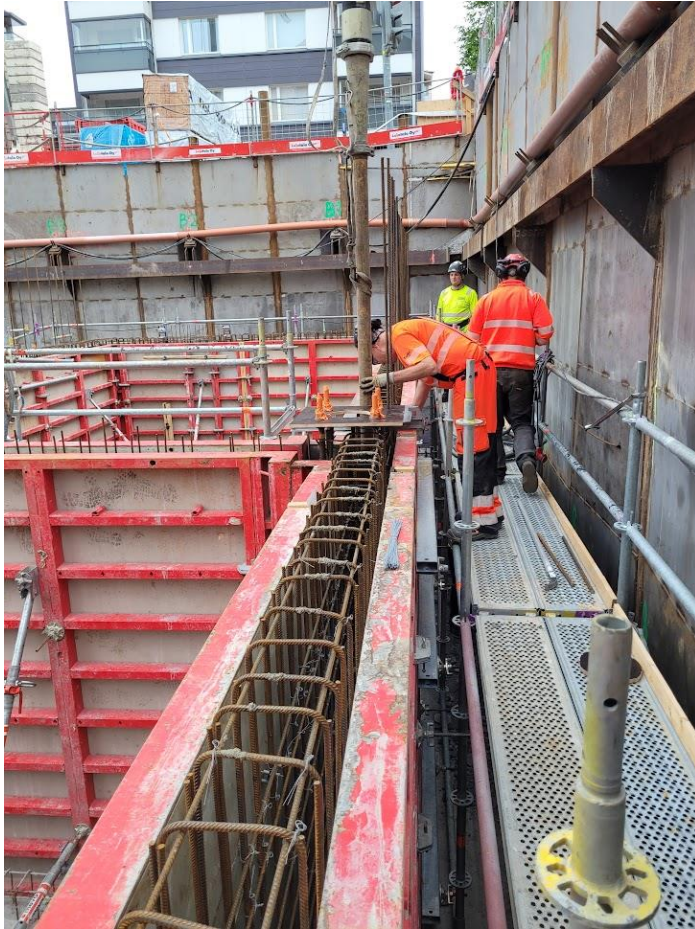
Muottityö alkaa muottityösuunnitelmien laatimisella. Muottityön suunnittelu tulee tehdä osaksi työmaan kalustosuunnitelmaa, jossa ilmenee työmaan muiden laitteiden ohessa muottikaluston määrä, laatu ja tarveaika. (Suomen Betoniyhdistys ry 2021, 247.)

Muottityösuunnitelman toteutumista seurataan ja havaittuihin ongelmiin reagoidaan tarkentamalla suunnitelmia sekä toimintaa. Muottityön suunnittelulla pyritään tekemään muottityöstä turvallista, kustannustehokasta, sekä aikataulun ja tavoiteltavan laadun mukaista. (Suomen Betoniyhdistys ry 2021, 248.)

Muottikaluston valintaan vaikuttavia tekijöitä valukohteen lisäksi ovat muottikierron nopeus, kustannukset, valukohteen monimuotoisuus sekä nostokaluston vaatimukset. Myös suunnittelijan vaatimat betoni pintojen luokat vaikuttavat muottimateriaalin valintaan. (Suomen Betoniyhdistys ry 2021, 248.)

Muottikierron suunnittelussa pyritään kaluston optimoituun käyttöön. Muottikierrolla tarkoitetaan jaksoa muotin pystytyksestä purkuun ja uudelleen pystytykseen. Muottikierron aikana muotin paikka mitataan, muotti pystytetään ja raudoitetaan, valetaan ja odotetaan betonin muotinpurkulujuuden saavuttamista. Tämän jälkeen muotti puretaan, puhdistetaan ja pystytetään taas uuteen sijaintiin. (Suomen Betoniyhdistys ry 2021, 250.)

Ilmattaressa perustukset tehtiin perinteisesti vanerimuotilla. Paikallavaluseinät tehtiin pääosin suurmuottijärjestelmällä. Ilmattaren suurmuottijärjestelmäksi valittiin Meva Mammut (kuva 4). Se on raskas teräsrunkomuotti, jonka valupinta on muoviseosta. Suurmuoteilla voidaan tehdä korkeita ja massiivisia valuja nopeasti ja ne kestävät hyvin valupainetta ja toistuvia valuja. Suurmuottien haittapuolena on niiden asennukseen ja siirtelyyn tarvittava nosturi. Toisaalta kun toistoja on paljon, ei muottia tarvitse purkaa täysin osiin vaan se voidaan nopeasti siirtää kokonaisuutena seuraavaan sijaintiinsa.



KUVA 4. Meva Mammut suurmuottijärjestelmä VSS valussa.

Vanerimuottia voidaan käyttää paikoissa, joissa muotilta vaaditaan muunneltavuutta esimerkiksi vinojen pintojen, varauksien tai pilastereiden vuoksi. Ilmattaressa vanerimuottia käytettiin paikassa, johon suurmuotin asentaminen olisi ollut haastavaa (kuva 5). Lisäksi kohtaan sisältyi muutamia pilastereita, jotka osaltaan myös vaikeuttivat suurmuotin järkevää käyttöä. Puusta rakennettavan vanerimuotin tehokas ja turvallinen toteuttaminen vaatii ammattitaitoisia timpureita ja huolellista suunnittelua.



KUVA 5 Vanerista tehty seinämuotti.

Kun seinämuotin ykköspinta on pystytetty ja öljytty, alkaa telineasennus. Seinämuottien korkeuden vuoksi raudoitusta varten on rakennettava telineet. Telineet on suunniteltava turvalliseksi ja käytännölliseksi siten, ettei se ole muotin tuplausvaiheessa tiellä ja että niitä voidaan siirtää nosturilla muottikierron mukana seuraavaan kohteeseen. Telineasennuksen toteutusta valvotaan ja jokainen teline tarkastetaan, sekä niihin lisätään telinekortti ennen käyttöönottoa. Selkeät suunnitelmat sekä ohjeet helpottavat telineasennuksen onnistumista, erityisesti jos asentajat eivät puhu äidinkielenään suomea.

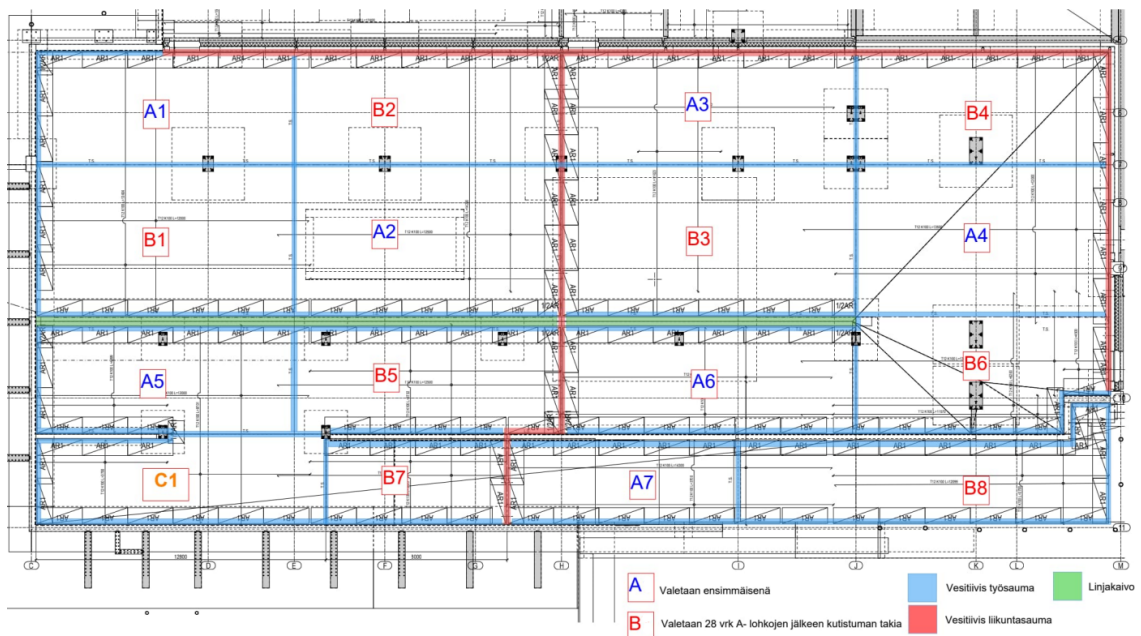
Kun teline on hyväksytysti pystytetty, alkaa osakohteen raudoitus. Raudoituksen osalta on kiinnitettävä huomiota työsaumojen suunnitelmien mukaiseen raudoitukseen ja ankkurointipituuksiin. Raudoituksen aikana tai sen jälkeen asennetaan myös injektointiletkut sekä paisuvat saumanauhat.

Raudoitusten ja vedeneristystuotteiden asennuksen jälkeen tarkastetaan opinäytetyön kohdassa ”työvaihetarkastukset” käsitellyt asiat. Kun työvaihe on hyväksytysti tarkastettu ja tarvittavat korjaukset tehty, muotti suljetaan eli tuplataan.

## 5.4 Työsaumat

Työmaan betonityöt tehdään yleensä niin sanotun lohkojaon mukaan. Lohkojaolla tarkoitetaan betonitöiden jakamista eri valukertoihin. Ilmattaressa perustukset valettiin lohkoittain ja paikallavaluseinät numeroitiin valujen suunnittelun helpottamiseksi. Betonoinnin jakamisesta osiin työn sujuvoittamiseksi aiheutuu kuitenkin työsaumoja. Työsauma tarkoittaa toisistaan erillisten valujen liittymäkohtaa teräsbetonirakenteessa. Näitä muodostuu esimerkiksi anturan ja seinän liitoskohtaan tai seinävalun jatkumiskohtaan.

Työsauman kohdalla rakenteen tiiveys ja liitoksen lujuus on huonompi kuin homogeenisessa betonissa johtuen betonin erottumisesta lähellä valun tai muotin pintaa. Ilmattaressa lohkojako tehtiin myös betonin kuivumakutistuman hallinnan vuoksi. Parkkihallin maanvarainen laatta valettiin shakkiruudun omaisesti lohkoissa. Kyseisen järjestelyn avulla kuivumakutistuman aiheuttamat halkeamat saadaan sijoitettua hallitummin työsaumoihin, jolloin mahdolliset vuodot saadaan korjattua injektoimalla. Kuviossa 5 on esitetty ilmattaressa toteutettu maanvaraisen laatan lohkojako sekä liikuntasaumojen sijainnit. (Suomen Betoniyhdistys ry 2021, 258.)



KUVIO 5. Parkkihallin maanvaraisen laatan lohkojako Ilmattaressa.

Vaakasuuntaiset työsaumat eli esimerkiksi anturan ja seinän liitoskohta, toteutetaan niin sanotusti pestyllä työsaumalla. Pesty työsauma saadaan tehtyä anturan yläpintaan pesemällä valun yläpinta liitoskohdasta korkeapainepesurilla valua seuraavana aamuna. Paineellinen vesi irrottaa nuoren betonin pinnasta hienoaineksen ja betoniliiman 2...5 mm syvyydeltä. Pestyn työsauman säilyvyys ja lujuusominaisuudet ovat huomattavasti esimerkiksi valusaumaverkolla toteutettua paremmat ja se muistuttaa ominaisuuksiltaan lähes homogeenista betonia. Vesi-tiiviissä rakenteessa tätä saumatyyppiä kannattaa käyttää aina kun se on mahdollista. (Suomen Betoniyhdistys ry 2021, 258.)

Pystysuuntaiset työsaumat tehtiin ilmattaressa käyttäen valusaumaverkkoa. Valusaumaverkko mahdollistaa sujuvamman raudoituksen ja sauman pinnasta muodostuu samalla karhea. Valusaumaverkon käyttöä maanvaraisen laatan työsaumassa nähdään kuvassa 6.



Kuva 6. Parkkihallin lattialaatan vesitiivis työsauma eri työvaiheissa.

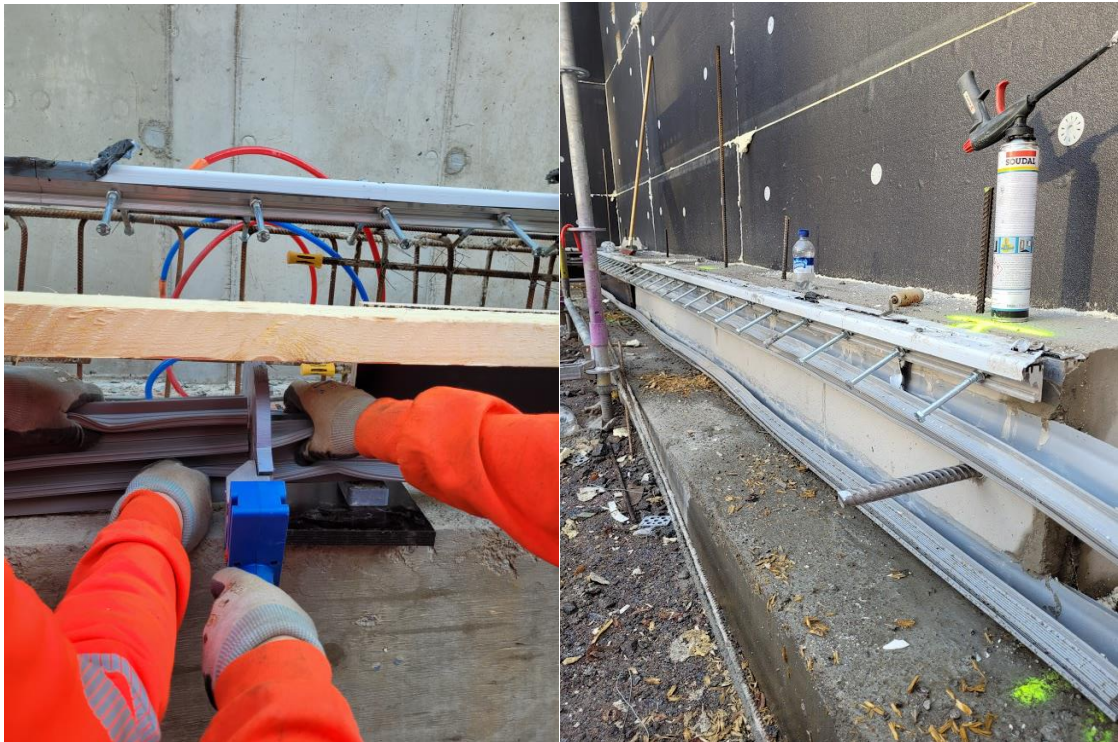
Työsaumojen muotit ja pinnat on toteutettava siten että muotin purkaminen onnistuu järkevästi huolimatta suuresta rautamäärästä työsaumassa ja että paisuntanauhojen ja injektointiletkujen ohjeen mukainen asennus valupintaan onnistuu.

Työsaumoihin kertyy helposti myös epäpuhtauksia kuten likaa ja roskia tai purua. Vesitiiveyden kannalta on äärimmäisen tärkeää huolehtia työsaumojen tartunnasta poistamalla roskat ja irtonainen kiviaines esimerkiksi lehtipuhaltimella ennen vedeneristystuotteiden asennusta ja muotin tuplausta.

### 5.5 Vesitiivis liikuntasäuma

Liikuntasäuma mahdollistaa rakenteen lämpötilanvaihtelusta ja kutistumasta aiheutuvat liikkeet. Liikuntasäuman avulla rakenteen toimintaa voidaan hallita siten että halkeamia ei pääse muodostumaan ei toivottuihin kohtiin.

Vesitiivis liikuntasäuma koostuu liikuntasäumaraudasta, vaarnatapeista, ja tiivisteistä, eli liikuntasäumakumeista. Parkkihallin lattian liikuntasäumat Ilmattaressa toteutettiin Hauconin toimittamilla järjestelmillä. Tiivisteinä toimivaa liikuntasäumakumia jatkettiin hitsaamalla jatkoskohta erikoistyökalua käyttäen kuten kuvassa 7. Liikuntasäuman vesitiiveyden muodostaa nimenomaan kuvassa 7 oikealla näkyvät liikuntasäumakumit. Näiden jatkoskohdat ovat riskipaikkoja vesitiiveyden suhteen ja siksi asentajien koulutus ja ohjeistus on äärimmäisen tärkeää.



KUVA 7. Vasemmalla liikuntasäumakumin jatkaminen hitsaamalla. Oikealla liikuntasäuma kokonaisuutena.

## **5.6 Vedeneristystuotteet**

Vedeneristystuotteita ovat kaikki rakenteen vesitiiveyden varmistamiseen käytetyt tarvikkeet ja materiaalit. Seuraavaksi luetellaan As Oy Tampereen Ilmattaren käyttettyjä vedeneristystuotteita ja kerrotaan niiden toiminnasta.

### **5.6.1 Betonin lisäaine Velosit CA 112**

Ilmattaren rakenteiden betonissa käytettiin Velosit CA 112 lisäainetta. Jauhemainen lisäaine lisätään massan sekaan betoniasemalla. Lisätynä betoniin se muodostaa kiteitä kapillaarihuokosiin ja vähentää pysyvästi veden imeytymistä rakenteeseen. Tämä tekee betonista vesitiiviin ja mahdollistaa pienten kutistumahalkeamien itsekorjaantumisen. (Semtu, n.d.)

### **5.6.2 Bentoniittinauha**

Bentoniitti on pehmeää ja helposti muovautuvaa erikoissavea, joka pystyy sitomaan suuria määriä vettä itseensä. Suotuisissa oloissa Bentoniitti voi laajentua jopa kymmen kertaisesti alkuperäiseen tilavuuteensa nähden. Bentoniittinauha eli paisuvasaumanauha asennetaan edellisen valun pintaan tehtyyn ponttiin, joka näkyy kuviossa Q vihertävällä värillä merkittynä. Asennuksessa täytyy huolehtia tuotteen oikea aikaisesta asennuksesta ja pinnan puhtaudesta esimerkiksi lehtipuhaltimella. Bentoniittinauhan liian aikaista asennusta täytyy välttää koska tuote alkaa aktivoitua mallista riippuen 1...10 vrk vedelle altistumisen jälkeen. (RT 83-11032 Vedenpaineeneristys 2011)

Bentoniitti asennetaan valusaumaan rakenteen keskelle. Nauhan kiinnittäminen onnistuu liima-aineella, naulaamalla tai tarkoitukseen valmistetuilla verkoilla. paisuvan saumanauhan asennuksessa on tärkeää kiinnittää huomiota asennettavan pinnan lujuteen ja puhtauteen. Bentoniittinauhojen varastointi kuivassa tilassa.



### 5.6.3 Injektointiletkut

Mahdollisten vuotojen varalle jokaiseen pohjavedenpinnan alaiseen valusaumaan asennettiin injektointiletkupari kuten kuvassa 8. Injektointiletkut asennetaan saumaan ja ne jäävät betonin sisään odottamaan käyttöä. Letkujen ja injektointirasioden sijainneista tehdään pöytäkirja, jonka avulla injektoinnin suorittaminen myöhemmin esimerkiksi takuukorjauksien yhteydessä helpottuu.



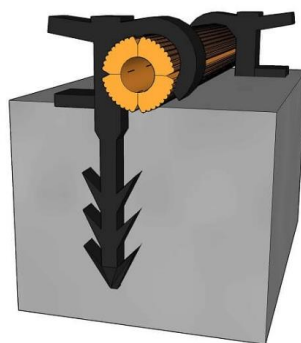
KUVA 8. Injektointiletkupari asennettuna seinän työsaumassa.

Vuototilanteessa näihin letkuihin pumpataan paineella käyttökohteen mukaista injektointiainetta, joka tunkeutuu letkussa olevista viilloista työsauman rakoihin tiivistäen vuotokohdan. Injektointiin on käytettävissä erilaisia aineita riippuen kohteen vaatimuksista ja rasitusluokista. (Semtu, n.d.)

Letkujen asennus on hidasta, huolellisuutta vaativaa ja osin raskastakin työtä. Letkut asennetaan usein työsaumassa olevien raudoitteiden sekaan ja epäergonomiset asennot rasittavat asentajaa. Työtä helpottaa oleellisesti poravasaran jatkovarsi, joka mahdollistaa paremmat porauskulmat ja parantaa työergonomiaa.

Asennuksessa noudatetaan tuotetoimittajan ohjeita ja suunnitelmia. As Oy Tampereen Ilmattaressa Haucon Finland Oy toimitti vedeneristystuotteet. Asennus tapahtuu kuvan 9 mukaisilla muovikiinnikkeillä maksimissaan 12 cm välein. Kiinnike työnnetään 6 mm terällä betoniin porattuun reikään. Letkujen asennukseen liittyviä huomioita:

- pinnan puhtaus
- pinnassa ei saa olla lohkeilevaa tai irtonaista betonia
- letkut asennetaan suunnitelmien mukaiseen kohtaan rakennetta
- letkut eivät saa kulkea ristiin eikä liian lähelle (riskinä injektointiaineen tunkeutuminen viereiseen putkeen)
- letkujen etäisyys toisistaan tuotetoimittajan ohjeen mukaan
- letkujen kiinnitys 10...12 cm välein
- kulmien tiiveys
- injektointilinjan pituus maksimissaan 12 metriä kerrallaan  
(Haucon Finland Oy, n.d.)



KUVA 9. Injektointiletku Hydraproof X100 kiinnikkeineen

#### 5.6.4 Muottilukot

Muottilukkoja käytetään valumuottien tukemiseen. Muottilukko lukitsee muotin vastakkaiset pinnat toisiinsa valun sisään jäävän siteen avulla. Vesitiiviin rakenteen poikki kulkevat muottilukot muodostavat kuitenkin riskin rakenteen vuotamiselle. Tämän takia vedenpaineen alaisiin rakenteisiin on tarjolla vesitiiviitä muottisiteitä, jotka estävät veden tunkeutumisen sitä pitkin rakenteen toiselle puolelle. As oy Tampereen Ilmattaressa käytettiin vanerimuottien yhteydessä Malthus vesitiiviitä muottilukkoja ja Meva Mammut suurmuottien kanssa muottitoimittajan vesitiiviitä kierrelaippoja, joihin irrotettava kierretanko ja siipimutteri kiinnittyi.

## 5.7 Betonointi

Betoni toimii merkittävässä roolissa rakennuksen kantavana runkona. Oikein toteutettuna ja suunniteltuna se voi helposti säilyä toimivana rakenteena sille asetetun elinkaaren ajan. Käytettävän betonimassan ominaisuuksilla on suuri vaikutus lopputuloksen laatuun. Rakennesuunnittelijan määrittämät valmiin betonin lujuudet ja muut ominaisuudet täytyy saavuttaa rakenteen valmistuttua.

Betonityönjohtaja voi kuitenkin tehdä tuoreen betonin ominaisuuksiin tarvittaessa olosuhteiden vaatimia muutoksia. Tuoreelle betonille voidaan tehdä olosuhteiden, valukohteen tai aikataulun vaatimia muutoksia esimerkiksi notkistamalla tai käyttämällä nopeasti kovettuvaa betonia. On kuitenkin varmistuttava, etteivät muutokset vaikuta valmiin betonin ominaisuuksiin tai vesitiiveyteen esim. rakeisuuden muuttuessa tai lisäaineiden yhteen sopivuuden kannalta. (Suomen Betoniyhdistys ry, n.d.)

### 5.7.1 Betonin tilaus ja vastaanotto

Kun valupäivä on tiedossa, tehdään **toimitusvaraus** mielellään ainakin viikko ennen valua. Toimitusvarauksen yhteydessä ilmoitetaan betoniasemalle valun päivämäärä, kellonaika, valuetäisyydet ja betonin suurpiirteinen määrä. Näiden avulla betoniasema varaa työmaan tarpeisiin sopivan kokoisen betonipumpun ja riittävän määrän kuljetuskapasiteettia. (Suomen Betoniyhdistys ry, n.d.)

Valua edeltävänä päivänä tehdään betonin varsinainen tilausvarmistus yleensä puhelinsoitolla. Siinä betoniasemalle ilmoitetaan tarkemmat tiedot huomisen valun osalta. Betoniasemalle ilmoitetaan seuraavat asiat.

- valun aika ja paikka työmaalla
- valukohteet (perustukset, holvi, seinä, yms.)
- betonin kaikki tiedot
- betonin määrä
- betonointi nopeus (m<sup>3</sup>/h)

(Suomen Betoniyhdistys ry, n.d.)

## **Vastaanotto**

Kun tilattu betonointikalusto, yleensä betonipumppu saapuu työmaalle. Varmistetaan että pumppu on oikealla paikalla, josta valu voidaan suorittaa. Pumpun kuljettaja täyttää pystytyspöytäkirjan, jolla hän varmistaa betonipumpun turvallisen toiminnan.

Saapuvan betoniauton kuormakirjasta varmistetaan, että betoni on tilatun mukaista ja tarvittaessa siitä tehdään työmaalla betonointisuunnitelman mukaiset laatukokeet. (Suomen Betoniyhdistys ry, n.d.)

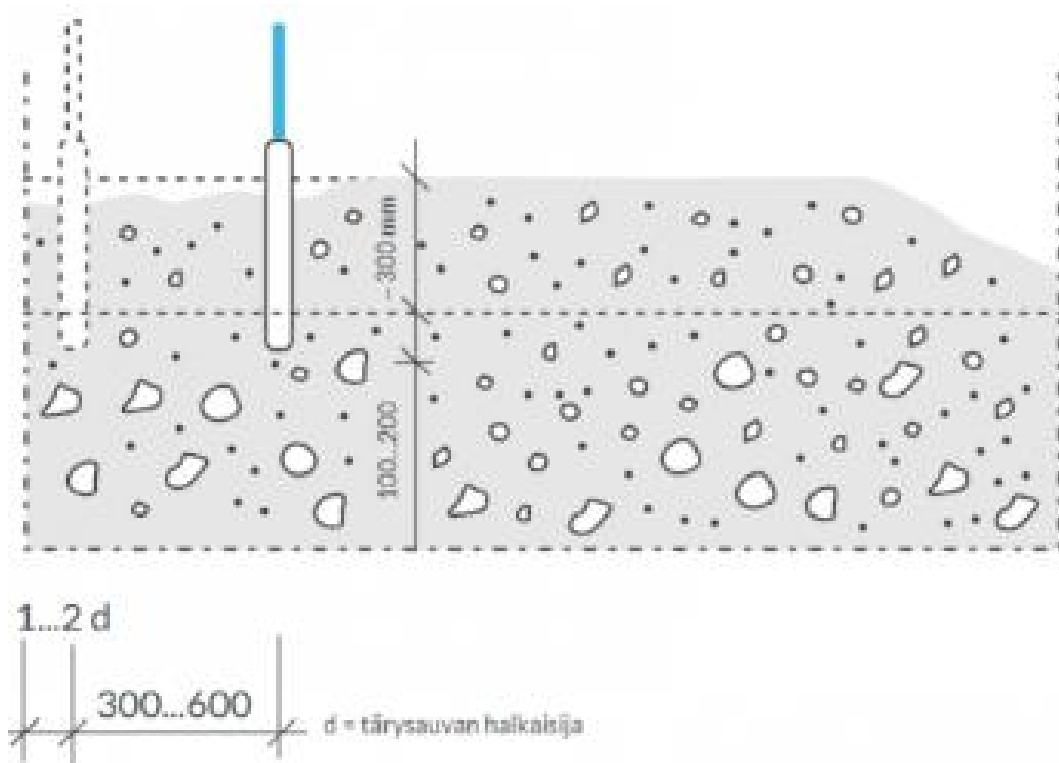
### **5.7.2 Valunopeudet**

Betonia muottiin pumpatessa on pudotuskorkeus pidettävä alle puolessa metrissä. Maltillinen pudotuskorkeus ehkäisee betonissa olevan kivi- ja hienoaineksen erottumista varsinkin, kun betoni osuu korkeassa seinämuotissa vaaka raudoitteisiin ja muottisiteisiin.

Nousunopeudet riippuvat valukohteesta, käytettävästä massasta ja muotin kestävydestä. Betonointi tulee tehdä sopivan paksuisina kerroksina, normaalisti maksimissaan 0.3...0.5 metrin kerroksina, mutta vaativissa kohteissa kuten vesitiiviin betonin kanssa valukerroksen tulee olla alle 0.25 metriä. Suunnitellun mukaisella muotin täyttämällä varmistetaan saman tehoisen tärytyksen onnistuminen ja valmiin betonirakenteen tiiveys. (Suomen Betoniyhdistys ry, n.d.)

### 5.7.3 Tiivistäminen

Ilmahuokokset betonin seassa heikentävät rakenteen lujuutta ja tiiveyttä. Massaan sekoittunut liiallinen ilma poistetaan yleensä tärysauvaa käyttäen upottamalla sitä betoniin tasaisella nopeudella sopivin välimatkoin. Tärysauvan annetaan upota omalla painollaan massan läpi 10...20 cm alla olevaan kerrokseen kuten kuviossa 6 on esitetty. Oikeaoppisen tärytyksen seurauksena massaan sekoittunut ilma ehtii nousta kuplina pinnalle ilman että kiviaines ehtii erottua. Alempaan valukerrokseen ulottuva tärytys yhdistää valukerrokset keskenään ja samalla edellinen kerros tulee jälkitärytettävä. Tärytykseen käytettävä aika riippuu valukohteesta ja käytettävästä betonista, mutta sopiva aika selviää yleensä kokeilemalla. (Suomen Betoniyhdistys ry, n.d.)



KUVIO 6. Betonin tiivistys sauvatäryttimellä (Suomen Betoniyhdistys ry, n.d.)

## 5.8 Jälkihoito

Betonirakenteen jälkihoidolla tarkoitetaan toimenpiteitä, joilla mahdollistetaan vasta valetun betonirakenteen lujuudenkehitys optimoiduissa lämpötila- ja kosteusolosuhteissa. Tärkeimpänä jälkihoitotoimenpiteenä voidaan pitää liiallisen vedenhaihtumisen estämistä betonirakenteesta heti valun jälkeen. Jälkihoidon tavoitteena on myös estää tuoreen betonin jäätyminen tai altistuminen mekaanisille rasituksille kuten vesisateelle tai kävelylle. (Suomen Betoniyhdistys ry, n.d.)

Jälkihoidon vaatimukset ja kesto riippuu valukohteesta, ympäristön olosuhteista ja laatuvaatimuksista. Yleensä jälkihoitoa suoritetaan ainakin muutaman päivän ajan, mutta vaativissa kohteissa jopa viikkoja. Jälkihoitoa jatketaan, kunnes betonin kovettumisreaktiot ovat jatkuneet riittävän kauan ja etenkin betonipeite sekä betonin pinta ovat saavuttaneet tavoitellun lujuuden, tiiviyden ja säilyvyyden. Jälkihoidon kannalta vaativimpia ovat lattialaatat ja holvit, joissa on paljon vapaata valupintaa, josta kosteus haihtuu ilmaan. (Suomen Betoniyhdistys ry, n.d.)

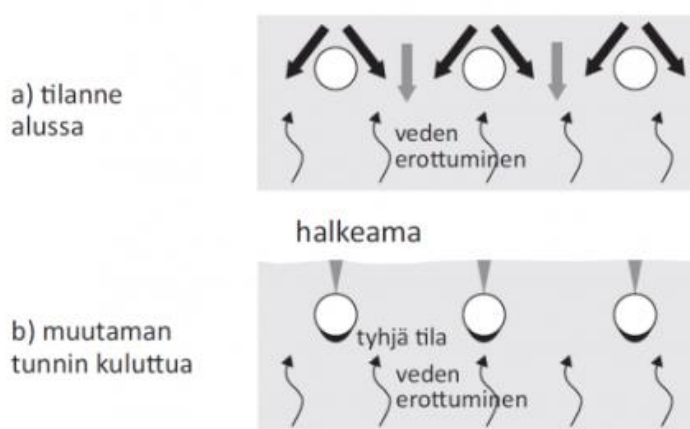
Teräsbetonirakenteen vesitiiveyden kannalta jälkihoidon osuus on merkittävä. Jälkihoidon laiminlyöminen aiheuttaa valupintoihin halkeamia ja heikentää niiden säilyvyyttä sekä tiiveyttä ja lujuutta.

Paikallavaluseinien jälkihoitotoimenpiteenä yksinkertaisin on muottien pitäminen paikoillaan muutamien päivien ajan. Muotti toimii valun pinnassa kosteussulkuna ja joissain tapauksissa myös eristeenä, joka suojaa valua liialliselta veden haihtumiselta ja jäähtymiseltä.

Maanvaraisten laattojen kuivuminen tapahtuu vain ylöspäin mutta niiden vapaasta pinnasta kosteus pääsee haihtumaan hyvin helposti tietyissä olosuhteissa. Laattojen pintoja voidaan valun jälkeen hoitaa ruiskutettavilla jälkihoitoaineilla, vedellä, muovikalvoilla tai käyttämällä tiiviitä lämmöneristeitä sekä peitteitä. (Suomen Betoniyhdistys ry, n.d.)

### 5.8.1 Plastinen painuma ja kutistuminen

Plastinen painuma tapahtuu heti valun jälkeen betonin vielä sitoutuessa. Plastinen painuma tapahtuu, kun tiivistetyn betonin tilavuus pienenee valusta haihtuvan tai erottuvan veden seurauksena. Vesi erottuu tuoreesta betonista, koska vettä painavampi betoni painuu alaspäin ja vesi pyrkii nousemaan ylös. Tämä ilmiö aiheuttaa kuviossa 7 kuvatun ilmiön raudoitteiden ja muottisiteiden kohdalla. Tällöin esimerkiksi seinävalun läpi kulkevan muottisiteen alapinta jää auki, jolloin vesi kulkeutuu sitä pitkin rakenteen läpi aiheuttaen ongelmia. Plastisen painuman ehkäisemiseksi esimerkiksi seinävaluissa suoritetaan opinnäytetyön kohdassa ”tiivistäminen” mainittua jälkitärytystä. (Suomen Betoniyhdistys ry, n.d.)



KUVIO 7. Plastinen painuma betonissa. (Suomen Betoniyhdistys ry, n.d.)

Ohuille laatoille, joissa paljon vapaata pinta-alaa, ominaisempi ilmiö on plastinen kutistuma. Plastinen kutistuma tapahtuu muutamien tuntien sisällä valusta veden haihtuessa liian nopeasti laatasta. Veden haihtuessa pois laatan yläpinnasta, kiiviaines pyrkii täyttämään tyhjilleen jääneen tilan. Tämä aiheuttaa valun yläpintaan sisäisiä pakkovoimia johtaen laatan pinnan halkeiluun. Näiden ilmiöiden ehkäisemiseksi jälkihoitotoimenpiteet on otettava työmaalla vakavasti, erityisesti vedenpaineelle altistetuissa rakenteissa. (Suomen Betoniyhdistys ry, n.d.)

### 5.8.2 Olosuhdehallinta

Jälkihoitotoimenpiteenä kustannustehokkain on valupäivänä sopivan leuto ja kostea sää. Olosuhteet harvoin kuitenkaan ovat optimaaliset juuri valupäivänä, joten työmaalla on suoritettava olosuhdehallintaa ja ennakoitua jo betonoinnin suunnitteluvaiheesta lähtien. Olosuhdehallinnassa otetaan huomioon muun muassa sää ja samaan aikaan alueella tapahtuvat työvaiheet ja niiden vaikutus betonointiin. Esimerkkikohde As Oy Tampereen Ilmattaressa suoritettava räjäytystyö oli suunniteltava siten että luhinnasta aiheutuva tärinä ei vaikuttaisi negatiivisesti vasta valettujen rakenteiden lujuudenkehitykseen.

Voimakas auringonpaiste ja tuuli lisäävät kosteuden haihtumista erityisesti laajoilta pinnoilta. Tuulen aiheuttamaa ilman vaihtuvuutta valun pinnassa voidaan rajoittaa muovikalvoilla tai jos mahdollista sulkemalla tilaan johtavat ovet ja aukot. Kevyt vesisade ei haittaa betonointia. Kovat sateet kumminkin pilaavat helposti vasta valetun laatan pinnan ja vuotovedet voivat jopa porautua syvälle betoniin jättäen reikiä valuun.

### 5.9 Vedeneristys bitumikermillä

Ilmattaressa väestönsuojan ja muiden vedenpaineelle alttiiden lämpimien tilojen rakenteet päällystettiin bitumikermillä. Bitumikermin tehtävä rakenteen ulkopinnassa on edelleen varmistaa sen vedenpitävyyttä valuun mahdollisesti muodostuneiden pienten halkeamien osalta. Oikein asennettu ja ehjä bitumikermikerros on hyvä vedeneriste.

Bitumikermi kiinnitetään hitsaamalla, eli kuumentamalla liimakerroksena toimivaa bitumia niin että kermi sen avulla tarttuu lujasti alustaansa. Ennen urakoitsijan saapumista mestalle varmistetaan, että seuraavat edellytykset täytyvät.

- Alusta on puhdas pölystä ja jäädästä.
- Muottilukkojen reiät on paikattu muurauslaastilla.
- Pinnasta ei työnny ulos nauloja tai teräviä valupurseita tms.
- 90 asteen kulmat on pyöristetty muurauslaastilla

Betoni pintaan tehdään pohjustus kylmäbitumisivelyllä minkä jälkeen ensimmäinen kerros bitumikermiä hitsataan kiinni ja siitä otetaan viiltokoe. Ensimmäisen kermikerroksen yläpään kiinnitys varmistetaan mekaanisella kiinnityksellä alustaansa. Näiden piiloon jäävien työvaiheiden dokumentointi ja tarkastaminen on tärkeää, koska niiden korjaaminen on hankalaa. (RT 83–11032 Vedenpaineeneristys 2011)



### **5.9.1 Bitumikerman suojaus**

Betonirakenteen pintaan kiinnitetty bitumikermi on oikein asennettuna ja käytettynä hyvä veden eriste. Kun ulkopuolinen veden eristys on tehty, täytyy kermi suojata täyttömaan mekaaniselta rasitukselta. Kun rakennuksen ulkopuolen täytöjä tehdään ja kivi- tai maa-ainesta tiivistetään täryttämällä, kermiin tulee helposti reikiä.

Kermi suojataan hitsaamalla sen pintaan EPS- tai XPS-levyjä, joka suojaa vedeneristystä mekaaniselta rasitukselta. On tärkeää pyrkiä suojaamaan vedeneriste mahdollisimman nopeasti sen valmistuttua koska kivet ja naulat yms. rikkoo kermiin helposti. (RT 83–11032 Vedenpaineeneristys 2011)

## 6 Johtopäätökset ja pohdinta

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia vesitiiviin paikallavalurakenteen työmaatoteutusta esimerkkikohteen, internetin ja alan kirjallisuuden avulla. Tavoitteena oli luoda teoriapaketti paikallavalurakentamisesta ja rakenteen vesitiiveyden toteutumisen edellytyksistä. Lopputuloksena luotiin tukimateriaali Lujatalon henkilökunnalle aiheesta, johon yhä useammin törmätään kaupunkien tiivistyessä.

Vesitiiviiden teräsbetonirakenteiden toteutustapoja on monia ja yksityiskohtat sekä ratkaisut ovat aina kohdekohtaisia. Lisäksi esimerkkikohteen rakenteita ei ehditty opinnäytetyön valmistumiseen mennessä altistaa pohjaveden paineelle. Nämä yhdessä aiheuttivat haasteita opinnäytetyön rajaukseen ja esimerkkikohteen luotettavuuden tulkintaan, mutta tavoitteen mukainen linja opinnäytteen tekemiseen lopulta kuitenkin muodostui. Huolimatta rakenteiden yksilöllisyydestä, peruseriaatteet paikallavalamisen ja vesitiiviin lopputuloksen kannalta säilyvät samoina. Betonointi on työvaiheista tärkein, koska betoni toimii passiivisesti vedenpainetta eristävänä rakenteena ja rakennuksen runkona. Vesitiiviin kokonaisuuden varmistamiseksi rakenteeseen lisätyt vedeneristystuotteet ja niiden oikeaoppinen käyttö antaa rakenteelle varmuutta ja tilaa pienille toteutusvirheille.

Työntekijöiden perusteellinen perehdyttäminen kohteen erityispiirteisiin ja laatuvaatimukseen motivoi heitä tekemään asiat kuten on ohjeistettu. Epävarmassa tilanteessa usein tehdään niin kuin ennenkin on tehty, mikä erikoisrakenteiden tapauksessa harvemmin on oikea tie. Siksi työntekijät täytyy perehdyttää ja työnjohdon paneutua asiaan syvällisesti. Laadunvarmistuksessa tärkeää on toiminnan kehittäminen tuotannon aikana havaittujen haasteiden perusteella.

Jatkossa aihetta voisi käsitellä kustannusten näkökulmasta tutkimuksessa, jossa erilaisia vedenpaineeneristäviä rakennetyyppejä vertaillaan. Toinen jatkotoimenpide tähän tutkimukseen liittyen voisi olla liitteenä olevan muistilistan lisääminen ja käyttöönotto Congrid sovelluksessa.

## LÄHTEET

Suomen Betoniyhdistys ry. 2021. Betoninormit. BY 65. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy. Viitattu 18.3.2023.

Suomen Betoniyhdistys ry. 2018. Betonitekniikan oppikirja. BY 201. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy. Viitattu 10.2.2023.

Betoni. n.d. Paikallavalurakentaminen. Verkkosivu. Viitattu 3.3.2023. <https://betoni.com/rakentaminen/valmisbetoni-paikallavalurakentaminen/>

Lujatalo Oy. n.d. tietoa mestä. Verkkosivu. Viitattu 5.3.2023 <https://www.lujatalo.fi/tietoa-meista/>

RT 83-11032 Vedenpaineeneristys. 2011. RT-kortisto. Rakennustieto Oy. Viitattu 14.3.2023. Vaatii käyttöoikeuden.

Dosland, O. 2019. What is quality? GIE Media 10.9.2019 Viitattu 14.3.2023. <https://www.qualityassurancemag.com/article/what-is-quality/>

Suomen Betoni Yhdistys ry. n.d. Betonitieto, Betonin halkeilu. Verkkosivu. Viitattu 6.4.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www.betonitieto.fi/oppiminen/ope-tuksen-tukimateriaali/betonin-ominaisuudet-ja-valinta/kovettuneen-betonin-ominaisuudet/betonin-halkeilu.html>

Suomen Betoni Yhdistys ry. n.d. Betonitieto, Betonin valmistamista koskevat lait ja määräykset. Verkkosivu. Viitattu 9.4.2023. Vaatii käyttöoikeuden. (<https://www.betonitieto.fi/betoniteollisuus/valmisbetoni/maaraykset-ja-vaatimukset/betonin-valmistamista-koskevat-lait-ja-asetukset.html>)

Suomen Betoni Yhdistys ry. n.d. Betonitieto, Betonointisuunnitelma. Verkkosivu. Viitattu 21.4.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www.betonitieto.fi/tyomaat/betonitoiden-johtaminen-talonrakentaminen/betonitoiden-suunnittelu/betonointisuunnitelma.htm>

Suomen Betoni Yhdistys ry. n.d. Betonitieto, Prosessikuvaus. Verkkosivu. Viitattu 1.4.2023. Vaatii käyttöoikeuden. (<https://www.betonitieto.fi/tyomaat/betonitoiden-johtaminen-talonrakentaminen/prosessikuvaus.html>)

Semtu. Velosit CA112. Tuotekortti. Luettu 18.3.2023. [https://www.semtu.fi/application/files/1516/4698/4815/Velosit - Product Card - 2022-03-11.pdf](https://www.semtu.fi/application/files/1516/4698/4815/Velosit_-_Product_Card_-_2022-03-11.pdf)

Semtu. Injektointiaineet. Luettu 22.4.2023. <https://www.semtu.fi/fi/tuotteet/injektointiaineet-ja-tarvikkeet/injektointiaineet>

Haucon Finland Oy. Injektointiletku Hydraproof X100. Käyttöohje. Luettu 23.4.2023. <https://www.haucon.fi/tuotteet/vedeneristystuotteet/injektointiletkut-ja-tarvikkeet/369/injektointiletku-hydraproof-x100>

Suomen Betoni Yhdistys ry. n.d. Betonitieto, Plastinen painuminen. Verkkosivu. Viitattu 7.4.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www.betonitieto.fi/oppiminen/opetuksen-tukimateriaali/betonin-ominaisuudet-ja-valinta/sitoutuminen-ja-betonin-ominaisuudet-sitoutumisvaiheessa/plastinen-painuminen.html>

Suomen Betoni Yhdistys ry. n.d. Betonitieto, Plastinen kutistuminen. Verkkosivu. Viitattu 4.4.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www.betonitieto.fi/oppiminen/opetuksen-tukimateriaali/betonin-ominaisuudet-ja-valinta/sitoutuminen-ja-betonin-ominaisuudet-sitoutumisvaiheessa/plastinen-kutistuma.html>

Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 24.11.2017/782. Viitattu 2.4.2023. [Ympäristöministeriön asetus rakennusten... 782/2017 - Säädökset alkuperäisinä - FINLEX ®](#)

Suomen Betoni Yhdistys ry. n.d. Betonitieto, Laadunvarmistus. Verkkosivu. Viitattu 16.4.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www.betonitieto.fi/tyomaat/betonitoiden-johtaminen-talonrakentaminen/laadunvarmistus.html>

## LIITTEET

Liite 1. Työnjohdon muistilista vesitiiviin työsauman työvaihetarkastusten tueksi.

### Bentoniittinauha/ Paisuva saumanauha

- Työsauma on puhdistettu pölystä liasta ja roskista ennen asennusta.
- Irtonaiset valupurseet ja kohoumat poistettu nauhan kohdalta.
- Tarvittaessa työsauman pesu korkeapainepesurilla
  
- Nauha on asennettu suunnitelmien mukaiseen kohtaan rakennetta.
- Nauha on lujasti kiinni alustassaan (pysyy valun aikana paikoillaan)
- Jatkoskohdissa nauhojen limitys ohjeen mukainen
- Kiinnikkeitä on riittävän tiheästi
- Bentoniitti ei ole vielä reagoinut merkittävästi veden kanssa
- Kulmien ylityksissä nauhan kiinnitys ja nurkan tiiveys varmistettu

### Injektointiletkut

Ennen asennusta:

- Työsauma on puhdistettu pölystä liasta ja roskista.
- Irtonaiset valupurseet ja kohoumat poistettu letkun kohdalta.
- Tarvittaessa työsauman pesu korkeapainepesurilla.

Injektointiletkujen asennus tuotetoimittajan ohjeen mukaan.

- letkujen sijainti rakenteessa
- letkujen etäisyys toisistaan
- Minimi betonipeite letkun päälle / viereen
- letkut ei kulje ristiin
- kulmien ylitykset tehty tiiviisti

Injektointiletkujen asennuksesta ja sijainneista tehdään pöytäkirja jossa:

- injektointirasioden ja -letkujen sijainnit
- letkujen numerointi ja/tai värikoodi
- Selkeät kuvat letkujen sijainnista
- Selkeät kuvat rasioiden sijainneista
- Sijainnit ja numeroinnit merkitään piirustuksiin