

Jaan Myöhänen

# Maanalainen betonirakentaminen

Ohje työnjohtajalle

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työnjohdon ko.

Mestarityö

7.11.2018

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Jaan Myöhänen Maanalainen betonirakentaminen – ohje työnjohtajalle 34 sivua + 1 liite 7.11.2018
Tutkinto	Rakennusmestari (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennusalan työnjohto
Ammatillinen pääaine	Talonrakennustekniikka
Ohjaajat	Vastaava työnjohtaja Jari Kanerva Lehtori Jouni Ruotsalainen
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli toteuttaa kirjallinen tiivistetty ohjemateriaali maanalaisen betonirakentamisen erityispiirteistä. Tehtävänä oli kuvailla, millaisia seikkoja rakennusalan työnjohtajan tulee ottaa huomioon maanalaisessa betonirakentamisessa, ja millaista kokemusperäistä tietoa kokeneilla työnjohtajilla on maanalaisesta betonirakentamisesta. Opinnäytetyön tavoitteena oli lisätä kohdeyrityksen työntekijöiden, erityisesti uusien työnjohtajien, tietoa maanalaisen betonirakentamisen erityispiirteistä ja siten parantaa toiminnan tehokkuutta ja laatua. Tavoitteena on tuoda näkyvämmäksi myös kokeneiden rakennusalan työnjohtajien kokemusperäistä tietoa aiheesta. Opinnäytetyön toimeksiantajayrityksenä toimi YIT Rakennus Oy Infrapalvelut. Työn aihe muotoutui toimeksiantajayrityksen tarpeiden pohjalta.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin toiminnallisella, tuotokseen painottuvalla, opinnäytetyömenetelmällä. Aineistonkeruu perustui kirjallisuuskatsaukseen ja asiantuntijahaastatteluihin. Tiedonhaku tehtiin pääasiassa Finna-kirjastotietokantoja, Helmet-tietokantoja ja YIT Rakennus Oy:n infrapalveluyksikön asiantuntijahaastatteluja hyödyntäen.</p> <p>Opinnäytetyössä todetaan, että maanalainen betonirakentaminen kysyy työnjohtajalta monenlaista rakennusalan tuntemusta, ja maan alle rakennettaessa on syytä kiinnittää huomioita asioihin, jotka eivät välttämättä vaadi samanlaista huomiointia maanpäällisissä rakennusprojekteissa. Keskeisimmiksi huomionarvoisiksi teemoiksi nousi maanalaiseen kosteuteen, pimeyteen, lämpötilaan ja työskentelytilan rajallisuuteen liittyvät näkökulmat. Maan alle rakennettaessa myös muun muassa työturvallisuuteen, logistiikkaan ja työn suunnitteluun liittyvien seikkojen arvioinnin merkitys korostuu. Maan alaiseen työskentelyyn ja rakenteisiin sopivien rakennusmateriaalien, -kaluston ja -menetelmien huolellinen valinta on oleellinen osa kallionvastaista betonirakentamista. Yhtenä opinnäytetyön keskeisenä johtopäätöksenä todetaan myös, että rakennusalan työnjohtajilla voi olla paljon kokemusperäistä tietoa ja käytännön osaamista, joita kannattaisi hyödyntää enemmän työyhteisöissä ja erilaisissa rakennusprojekteissa. Tällainen hiljaiseksikin tiedoksi kutsuttu tieto ei useinkaan nouse esiin ammattikorkeakouluopinnoissa tai alan kirjallisuudessa.</p>	
Avainsanat	Maanalainen rakentaminen, betonirakentaminen, työnjohtaja

Author Title Number of Pages Date	Jaan Myöhänen Underground Concrete Construction - Directions for Construction Site Supervisor 34 pages + 1 appendice 7 November 2018
Degree	Bachelor of Construction Site Management
Degree Programme	Construction Site Management
Professional Major	Building Construction
Instructors	Jari Kanerva, Construction Site Manager Jouni Ruotsalainen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this bachelor's thesis was to come up with a written guidelines on the characteristics of underground concrete construction. The task was to describe what aspects the construction site supervisor should take into account in underground concrete construction, and what kind of experiential information experienced construction site supervisors have in underground concrete construction. The aim was to improve the knowledge of characteristics of underground concrete construction in new construction site supervisors and thus improve the efficiency and quality of work. The aim was to make the experience gained from experienced construction site supervisors more visible. YIT Construction Ltd Infra Services commissioned the study.</p> <p>The thesis was carried out with a functional, output-based research method. The data collection was based on a literature review and expert interviews. Data retrieval was mainly done using Finna library databases, Helmet databases and expert interviews of YIT Construction Ltd's infra-service unit.</p> <p>The thesis concludes that underground concrete construction requires from the supervisor for a wide range of knowledge of the construction sector, and when constructing underground, it is worth paying attention to things that do not necessarily require the same consideration in terrestrial construction projects. The most important noteworthy themes were aspects of the underground moisture, darkness, temperature and work space limitations. When building underground the importance of assessing matters related to occupational safety, logistics and work planning is emphasized. Careful selection of building materials, equipment and methods suitable for underground work and structures is an essential part of concrete construction. One of the key conclusions of the thesis is that construction supervisors can have a lot of experience-based knowledge and practical skills that should be utilized more in work communities and in various construction projects. Such silent information is often not mentioned in degree studies or literature.</p>	
Keywords	Underground construction, concrete construction

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Tarkoitus, tehtävät ja tavoite	3
3	Maanalainen kalliorakentaminen	4
3.1	Suomen kallioperä	4
3.2	Maanalaisen rakentamisen olosuhteet	5
3.3	Rakenteiden suunnittelu	6
4	Maanalaiset betonirakenteet	8
4.1	Betoni ja sen ominaisuudet	8
4.2	Betonirakenteet	8
4.3	Betonimuotit	9
4.3.1	Muottikaluston valinta	9
4.3.2	Muotin tekeminen kalliota vasten	12
4.4	Teräsbetoni ja rauditus	12
4.4.1	Teräsbetonin toimintaperiaatteet	12
4.4.2	Teräsbetonirakenteiden perustyyppit ja niiden rauditus	13
4.5	Betonin valinta ja betonointi	14
4.6	Betonityönjohtaja	16
4.7	Betonisuunnitelma ja -pöytäkirja	16
5	Hiljainen tieto ja kokemuseräinen tieto	17
6	Opinnäytetyön lähtökohdat ja menetelmät	18
6.1	Menetelmänä tuotokseen painottuva toiminnallinen opinnäytetyö	18
6.2	Opinnäytetyön prosessi	19
6.3	Tiedonhankinta ja asiantuntijahaastattelut	20
7	Työnjohtajien kokemuseräinen tieto maanalaisesta betonirakentamisesta	22
7.1	Kallioperä	22
7.2	Olosuhteet	22
7.2.1	Pimeys	22
7.2.2	Kosteus	23
7.2.3	Lämpötila	24

7.2.4	Tilojen ahtaus	24
7.3	Betonirakenteet	25
7.4	Muotit ja muottityöt	25
7.5	Raudoitus ja raudoitustyöt	26
7.6	Betoni ja betonointi	26
8	Pohdinta	28
8.1	Yhteenveto ja johtopäätökset	28
8.2	Arviointi	29
	Lähteet	32
	Liitteet	
	Liite 1. Ohje työnjohtajalle	

## 1 Johdanto

Rakennettaessa maan alle vapautuu maa-alaa maanpäällistä käyttöä varten (Rönkä, Ritola & Rauhala 1997, 91). Usein esimerkiksi teollisuusalueilla ja taajamissa on puutetta tonttimaasta (Kauranne 1986, 12-13), ja kaupungistuminen luo tarpeita uusille liikenteen ratkaisuille ja toimivalle infralle (YIT 2018), minkä vuoksi kannattaa hyödyntää kalliorakentamisen tarjoamia mahdollisuuksia (Kauranne 1986 12-13). On myös näyttöä siitä, että pitkällä aikavälillä arvioiden maanalaisten rakenteiden käyttö- ja huoltokustannukset ovat useimmiten alhaisemmat kuin vastaavissa maanpäällisissä rakennuksissa. (Kauranne 1986, 12-13). Maanalaisen rakentamisen tarjoamat ratkaisut ja kaavoitus mahdollistavat kestäväen kehityksen mukaisia toteutus- ja sijoitusvaihtoehtoja kalliotiloihin sijoitettaville erityiskohteille – muun muassa urheiluhalleille, pysäköintilaitoksille, lämpövoimaloille ja hiihtoputkille. Lisäksi monia muita toimintoja, esimerkiksi metro-, rata- ja liikennetunneleita, vesihuoltotunneleita ja -laitoksia, on mahdollista sijoittaa kalliotiloihin. Myös jo olemassa olevat vanhat kalliotilat ja tunnelit vaativat aika ajoin saneerausta elinkaarensa jatkamiseksi tai käyttötarkoituksensa muuttamiseksi. (YIT 2018.)

Kallioon rakennettaessa päästään eroon sään ja pohjamaan vaihteluiden aiheuttamista rakennusaikaan ja kunnossapitoon liittyvistä tarpeettomista riskeistä. Kalliorakentamisessa kohdataan kuitenkin erinäisiä haasteita, joita saattaa aiheuttaa esimerkiksi kiven laatu, kallion suuntautuneisuus ja rikkonaisuus, kallion sisäiset jännitykset sekä pohjavesi. Vaikeudet ovat kuitenkin voitettavissa asiallisella ennakkotutkimuksella, suunnitellulla ja rakentamisella, jonka ansiosta saadaan aikaan tasalämpöinen ja kestävä tila työskentelyyn, varastointiin tai kulkureitiksi. (Kauranne 1986, 12-13.)

Maanalainen rakennusprojekti kysyy työnjohtajalta tietämystä ja kykyä huomioida tiettyjä maanalaiseen ja kallionvastaiseen rakentamiseen sekä betonirakentamiseen liittyviä seikkoja, sillä osaltaan maanalainen rakentaminen eroaa maanpäällisestä rakentamisesta. Tämän opinnäytetyön aihe on rajattu käsittelemään juuri maanalaisen betonirakentamisen erityispiirteitä. Opinnäytetyö on laadittu yhteistyössä YIT Rakennus Oy Infrapalvelut-yksikön kanssa. YIT Rakennus Oy Infrapalvelut tarjoaa monien muiden infrarakentamisen palvelujen ohella kalliorakentamisen palveluita ja ratkaisuja asiakkaan tarpeisiin räätälöitynä aina ideoinnista ja suunnittelusta valmiiseen lopputuotteeseen (YIT 2018).

Opinnäytetyön aihe syntyi työnjohtoharjoittelujakson myötä kesällä 2018 opinnäytetyön tekijän työkokemuksen, kiinnostuksenkohteiden ja toimeksiantajayrityksen tarpeiden pohjalta. Opinnäytetyön pääasiallisena kohderyhmänä ovat toimeksiantajayrityksessä työskentelevät työntekijät, erityisesti uudet työnjohtajat. Oletuksena on, että opinnäytetyön tulokseen tutustuvalla henkilöllä on jonkinlainen koulutukseen tai työkokemukseen perustuva oppineisuus rakentamisesta.

Opinnäytetyön aihe on rajattu käsittelemään vain maanalaisen betonirakentamisen erityispiirteitä. Opinnäytetyön tarkoituksena ei siis ole kuvata kaikkia kalliorakentamisen - saati betonirakentamisen - vaiheita yksityiskohtaisesti, vaan tuoda esiin tiettyjä seikkoja, jotka vaativat maan alle rakennettaessa työnjohtajan huomiointia eri tavalla kuin esimerkiksi maanpäällisessä rakentamisessa. Keskeisenä tavoitteena ohjemuotoisen lopputuotteen ohella on kartoittaa kokeneiden työnjohtajien kokemuseräistä tietoa kallionvastaiseen betonirakentamiseen liittyvistä erityispiirteistä haastattelemalla, minkä myötä toimeksiantajayrityksen sisäistä hiljaista tietoa on mahdollista saattaa näkyvämmäksi.

## **2 Tarkoitus, tehtävät ja tavoite**

Opinnäytetyön tarkoituksena on toteuttaa kirjallinen, tiivistetty ohjemateriaali rakennusalan työnjohtajalle maanalaisen betonirakentamisen erityispiirteistä.

Tehtävänä on kuvailla, millaisia seikkoja rakennusalan työnjohtajan tulee ottaa huomioon maanalaisessa betonirakentamisessa, ja millaista kokemuseräistä tietoa kokeneilla työnjohtajilla on maanalaisesta betonirakentamisesta.

Opinnäytetyön tavoitteena on lisätä kohdeyrityksen työnjohtajien tietoa maanalaisen betonirakentamisen erityispiirteistä ja siten parantaa toiminnan tehokkuutta ja laatua. Tavoitteena on tuoda näkyvämmäksi myös kokeneiden rakennusalan työnjohtajien kokemuseräistä tietoa aiheesta.



### 3 Maanalainen kalliorakentaminen

#### 3.1 Suomen kallioperä

Riippumatta siitä, missä päin Suomea rakennetaan, joudutaan lähes aina kosketuksiin kallion kanssa (Kauranne 1986, 12-13). Suomen kallioperä kuuluu prekambriseen Pohjois- ja Itä-Euroopan peruskallioalueeseen, eli niin sanottuun Fennosarmatian peruskalliokratooniin, joka on Euraasian mantereen yksi vanhimmista osista (Lehtinen, Nurmi & Rämö 1998, 94). Suomen kallioperä voidaan jakaa iältään erilaisiin osa-alueisiin, joita ovat arkeiset, varhaisproterotsooiset, ja rapakivigraniittiset alueet. (Kauranne 1986, 12-13; Lehtinen, Nurmi & Rämö 1998, 95.)

Suomen kallioperän kivilajit ovat kovia, kiteisiä ja kiinteitä, ja kallioperä on monen muun maan kallioperään verrattuna eheämpi ja kovempi (Kauranne 1986, 12-13). Suomen kallioperän yleisimmän kivilajiryhmän muodostavat erilaiset graniittiset kivilajit. Niitä arvioidaan olevan vähän yli puolet Suomen kallioperän pinta-alasta. Yksittäisistä kivilajeista yleisin Suomessa on graniitti. Graniittiset kivilajit ovat levittäytyneet huomattavasti tasaisemmin kuin muut Suomen kivilajit, ja graniittisia kivilajeja löytyykin lähes joka puolelta maata. Erilaisia seoskiviä eli migmatiitteja on noin 22 prosenttia kallioperästä. Niitä esiintyy Itä-Suomen vanhoilla arkeisen kallioperän alueilla. Kallioperästä noin yhdeksän prosenttia on erilaisia liuskeita, noin kahdeksan prosenttia tummia syväkiviä, noin neljä prosenttia kvartsiitteja ja hiekkakiviä sekä noin neljä prosenttia granuliitteja. (Lehtinen, Nurmi & Rämö 1998, 98.)

Jokaiset Suomen kivilajimuodostumat ovat kalliorakennusteknisiä kokonaisuuksia, joiden porattavuus riippuu mineraalien laadusta, raekoosta ja kiven rikkonaisuudesta ja rapautuma-asteesta. Kallion räjäytettävyyden riippuu kiven raemuodosta ja liuskeisuudesta, kun taas louhitun tilan tukemistarve riippuu edellä mainittujen lisäksi kallion sisällä olevasta jännitystilasta, pohjavesivirtauksista, rakojen tiheydestä ja holvin suuntaan suhteessa olevista suunnista sekä rakotäytemineraaleista. Ennen rakennustyön aloitusta onkin tärkeää ottaa selvää kaikista edellä mainituista tekijöistä, jotta rakenteesta tulisi kestävä, ja jotta louhiminen olisi mahdollisimman taloudellista. (Kauranne 1986, 12-13.)

Peruskalliota louhittaessa menetelminä hyödynnetään yleensä poraamista ja räjäyttämistä, mitä voidaan pitää nuoriin kivilajeihin soveltuvaa louhimista työläämpänä. Sen sijaan nuoria kivilajeja louhittaessa menetelmänä hyödynnetään tavallisimmin täysprofiiliporausta, joka sekin on Suomessa taloudellista vain pehmeiden kivilajien louhinnassa. Toisaalta, koska Suomen kalliotilojen kestävyys on paljon parempi kuin muiden maiden nuorten kivilajien alueella, niin tukemistoimissa säästetään. (Kauranne 1986, 12-13.)

Louhinnan aikana kalliosta irrotettu kiviaines pyritään käyttämään rakennusmassojen runkoaineena. Suomen kallioperän kivilajit rikkoutuvat räjäyttäessä ja murskattaessa usein suhteellisen isometrisiksi ja lujiksi rakeiksi. Kallioperässä olevien hiili- ja kiisupitoisten kivilajien pieni osuus takaa sen, että murske soveltuu myös sementillä sidottavaksi. Suomessa on yhä enemmän alueita, joilta luonnonsora loppuu, jolloin rakentamisessa on käytettävä enemmän juurikin kalliosta irrotettua kiviainesta. (Kauranne 1986, 12-13.)

### 3.2 Maanalaisen rakentamisen olosuhteet

Maanalaisten käyttötilojen rakentaminen vaatii lähes aina koneistettua talotekniikkaa. Viemäröintiä, ilmanvaihtoa ja valaistusta ei pystytä toteuttamaan luonnonmenetelmin ja pelastusjärjestelytkin vaativat huomattavasti enemmän huomiota kuin maanpäällisessä rakentamisessa. (Lampi 2017, 137.)

Maan alla työskentelylle on olennaista se, että tilaa on varsin rajallisesti. Maanalainen tila on luonteeltaan suljettu muuhun kaupunkirakenteeseen nähden. Kulku- ja pelastusyhteyksiä on rajallisesti, ja olosuhteiden säätely on hankalampaa kuin maan päällä. Esimerkiksi ilmanvaihdon ja savunpoiston näkökulmista olosuhteiden säätely on haastavampaa maan alla. (Kivilaakso ym. 2006, 8.)

Merkittävin kalliotilan ominaispiirre on lämpöhäviöiden riippumattomuus ulkoilman lämpötilasta. Kallion luonnollinen lämpötila normaalien kalliotilojen syvyyksissä on suunnilleen sama kuin vuotuinen keskilämpötila, joka on Suomessa keskimäärin noin +6 ja +8°C:n välillä. (RT 91-10655).

Kalliotilan kosteuden vaihtelu ei ole samanlainen kuin maan päällä, vaan kalliotilaan muodostuu kosteutta maaperälle ominainen, vaihteleva määrä (Lehtonen 1986, 140). Sisäänkäyntitunneleissa on hyvin usein kondenssiveden aiheuttamia tippuvuotoja (RT 91-10655 1998, 10). Maanalaisiin rakenteisiin pyrkii kosteutta maaperän, sade- ja sulamisvesistä sekä yläpuolella olevista rakenteista. Kosteutta pyritään hallitsemaan ohjaamalla sade- ja sulamisvesiä, eristämällä rakenteita ja salaojittamalla. (Ritola & Vuopio 2002, 11-14.)

Lisähaasteita maanalaiseen työskentelyyn aiheuttaa pimeys (Kivilaakso ym. 2006, 17). Maan alla ei juurikaan ole luonnonvaloa, joten työmaan valaistus on toteutettava koneellisesti. Yleisvalaistuksen tulee olla sellainen, että työmaalla pystyy turvallisesti liikkumaan, ja työkohteiden valaistus sellainen, että työtä voidaan tehdä ilman vaaraa. (Ratu S-1234 2017, 8.)

Työturvallisuusongelmat ovat maanalaisissa rakennuskohteissa lähestulkoon samat kuin maanpäällisissäkin. Yksi ongelma maan alla on kallion komuaminen, joka voi aiheuttaa vaaratilanteita, kun kiviä voi tippua tilan katosta tai seiniltä. Komuamista voidaan ehkäistä tilojen tarkalla rusnauksella heti räjäytyksen jälkeen, ja riittäväällä työnäikaisellä lujituksella. Myös kivien sinkoutumisvaara täytyy ottaa huomioon räjäytysten suunnittelussa ja asetettavissa varoalueissa. (Kivilaakso ym. 2006, 17.)

Maanalaisissa rakennuskohteissa on yleensä vain muutama poistumistie ja työmaan tuuletus hoidetaan muovisilla rättiputkilla, mikä lisää riskejä esimerkiksi palotilanteessa. (Kivilaakso ym. 2006, 17.)

### 3.3 Rakenteiden suunnittelu

Maanalaisissa rakennuskohteissa suunnittelu edellyttää taitoa hyödyntää kokemusta uusista suunnitelmista laadittaessa ja kohteita toteutettaessa. Suunnittelijalle muodostuu kokemusta kohteiden suunnittelun, rakentamisen, ja kohteiden käytöstä saatujen tietojen kautta. Suunnittelua edeltää kokemus – eikä päinvastoin. (Roinisto 2010, 7.)

Oleellisin ero kallion sisälle rakennettujen ja maanpäällisten rakennuskohteiden suunnittelussa on kalliotilojen näkymättömyys, mikä tietyiltä osin helpottaa, mutta toisaalta myös rajoittaa ja vaikeuttaa tilojen suunnittelua. Kallioon rakentaminen asettaa omat

vaatimuksensa esimerkiksi poistumisteille ja palosuojelulle. Lähtökohdat kalliorakenteiden suunnittelussa ovat muun muassa kohteen tila- tai käyttöohjelmat, rakennuspaikkaa koskevat geotekniset ja asemakaavalliset tiedot. Edellä mainittujen perusteella rakennesuunnittelijan täytyy arvioida, sopiiko käytettävissä oleva alue rakennushankkeen paikaksi, onko rakennusalue tarpeeksi laaja, millaisin menetelmin kohde on rakennettavissa, ja miten geoteknisistä tutkimuksista saadut tiedot vaikuttavat hankkeen toteuttamiskelpoisuuteen ja kustannuksiin. (Oksanen 1986, 13-14.)

Kalliorakenteiden suunnittelu on ryhmätyötä, jota yleensä johtaa kalliorakentamiseen perehtynyt rakennusalan asiantuntija (Oksanen 1986, 13-14). Suunnittelua johtavalla henkilöllä pitää olla vähintään viisi vuotta kokemusta suunnittelusta, mikäli kyseessä on erityisen vaativa kohde (RIL 169-1987 1987, 31). Apunaan asiantuntijalla on LVI- ja sähkösuunnittelijat. Työryhmää täydentävät myös erikoisasiantuntijat riippuen suunnitelukohteiden vaatimuksista (Oksanen 1986, 13-14). Ryhmällä tulee olla tarpeeksi geologista, rakennusteknistä sekä louhinta- ja lujitusteknistä asiantuntemusta (RIL 169-1987 1986, 31). Kalliorakennuskohteesta laaditaan normaalisti yleissuunnitelma, louhinta- ja kallionlujitussuunnitelmat, rakenne-, LVI- ja sähkösuunnitelmat. (Oksanen 1986, 13-14.)

Varsinaiset kalliorakennesuunnitelmat, joihin kuuluvat louhinta-, kallionlujitus-, tiivistämissuunnitelmat ja näiden työselitykset, laaditaan hyväksytyjen pääpiirustusten pohjalta. Yksi kalliorakenteiden kannalta tärkeistä yksityiskohdista on alustavat työ- tai rakennepiirustukset, jotka laaditaan louhinta- ja lujitussuunnitelmien pohjaksi. Kalliorakennesuunnittelijan osallistuminen louhinta- ja kalliolujitustöiden valvontaan on hyvin oleellinen osa tämän työtä, mikä vaatiikin suunnittelijalta hyvää käytännön kokemusta ja konstruktivistista näkemystä. (Oksanen 1986, 13-14.)

## 4 Maanalaiset betonirakenteet

### 4.1 Betoni ja sen ominaisuudet

Betoni on maailman käytetyin sementistä, kiviaineksesta ja vedestä valmistettava, edullinen rakennusaine, jota käyttämällä voidaan valaa halutunlaisia rakenteita muottien avulla. Betonin monimuotoisuuden ansiosta lähes kaikenlaiset rakenteet ovat toteutettavissa. Hyvä rakenteellinen lujuus, kosteudenkestävyys ja pitkäikäisyys ovat betonin etuja verrattuna muihin rakennusmateriaaleihin. (Betoniteollisuus ry 2018.)

Betonin tärkeimmät ominaisuudet ovat betonin lujuus ja sen säilyvyys erilaisia rasituksia vastaan. Betonin lujuuden arviointia pidetään usein monimutkaisena, joskin tärkeänä, sillä betonirakenteiden käyttöikä ja turvallisuus ovat riippuvaisia rakenteessa olevan betonin puristuslujuudesta. Puhekielessä betonin lujuudella voidaan tarkoittaa betonin lujuusluokkaa, betonin lujuusluokkaa rakenteessa tai koekappaleissa, betonirakenteen lujuutta tai joskus jopa betonin säilyvyyttä. Betonin säilyvyyden arvioinnista on tullut yhä merkityksellisempää, sillä betonirakenteita tehdään jatkuvasti vaativampiin olosuhteisiin, ja on voitu todeta, että betoni ei ole ikuisesti kestävä materiaali. Suomen olosuhteiden kannalta betonin pakkasen ja pakkas-suolarasituksen kestävyys ovat rakenteiden säilyvyyden kannalta tärkeimmät ominaisuudet. Betoni sopii maanalaiseen rakentamiseen hyvin sen kosteuden kesto-ominaisuuksien vuoksi, ja toisaalta maan alla betoni ei altistu sääolosuhteiden vaihtelulle. (Suomen Betoniyhdistys 2009, 69.)

### 4.2 Betonirakenteet

Betonirakenteita on kahdenlaisia; raudoitettuja ja raudoittamattomia. Tavallisimmin käytetään raudoitettuja betonirakenteita. Betonirakenteet voivat olla paikallavalettuja tai elementtejä. Raudoitettuja betonirakenteita ovat teräsbetonirakenteet ja jännitetyt rakenteet. Raudoitetuissa betonirakenteissa betoni ja rauditus yhdessä kestävät rakenteeseen kohdistuvat rasitukset - betoni ottaa vastaan puristusrasitukset ja rauditus ottaa vastaan vetorasitukset. Raudoittamattomat betonirakenteet puolestaan ovat rakenteita, joissa betoni yksinään kestää rakenteeseen kohdistuvat rasitukset. (Suomen Betoniyhdistys ry 2009, 19.)

Betonirakenteet voidaan jakaa kolmeen rakenneluokkaan, joita ovat 1-, 2- ja 3-luokka. Kulloinkin käytettävän rakenneluokan määrittelee rakennesuunnittelija. Rakenne luetaan tiettyyn luokkaan kuuluvaksi, kun noudatetaan kyseiseen luokkaan liittyviä suunnittelu- ja työnsuoritusohjeita. (B4 2000, 5.)

#### 4.3 Betonimuotit

Jotta betoni saadaan valettua halutun muotoiseksi ja kokoiseksi rakenteeksi, käytetään apuna tavallisimmin puusta, puulevyistä, teräksestä, alumiinista, muovista tai esimerkiksi lasikuidusta rakennettua muottia. Edellä mainittujen muottimateriaalien lisäksi käytetään myös muita materiaaleja lähinnä kertakäyttömuottien aineksina niin, että muotti joko jää paikoilleen pysyvässä rakenteessa tai hajoaa purun aikana kokonaan. Näitä materiaaleja ovat betoni, poimulevy, teräsverkko, pahviputket, peltiputket, polyeteenikalvot tai muottikankaat. (Suomen Betoniyhdistys ry 2009, 212-213.)

Puu on vanha muottimateriaali, jota pystytään käyttämään sekä muottipintana että tukirakenteina. Muottipintana käytetään enimmäkseen puulevyjä, esimerkiksi vaneria tai rima- ja lautalevyjä. Yleisimmin käytetyt muottivanerit ovat filmipintainen reunasuojattu sekavaneri, jolla saavutetaan irtotavarana neljästä kahdeksaan käyttökertaa, ja suurissa muottiyksiköissä käytettävä koivuvaneri, jolla saavutetaan jopa 50-100 käyttökertaa. (Suomen Betoniyhdistys ry 2009, 212-213.)

Muotit voidaan jakaa erilaisiin tyypeihin monin eri perustein esimerkiksi pääasiallisen muottimateriaalin, muottiyksikön koon, käyttökertojen lukumäärän, rakennuskohteen, rakenneosan tai tukisuunnan mukaan. Muottien rakenteiden tarkasteluun vaikuttaa eniten viimeisimpänä mainittu. Kuormitukset ja rakenteet ovat joissakin määrin erilaiset; esimerkiksi pystymuotti tukee betonimassaa sivulta, kun taas vaakamuotti tukee betonimassaa alta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2009, 211.)

##### 4.3.1 Muottikaluston valinta

Muotin osien mitoitus, muotoilu, rakenne ja erikoispiirteet ovat kiinni muottijärjestelmästä, jolla tarkoitetaan työmaan jokaisten kohteessa käytettävien muottien muodostamaa kokonaisuutta. Muottijärjestelmiä on erilaisia, mutta järjestelmissä on silti samankaltaiset perusosat ja -ominaisuudet. Muottijärjestelmät pystytään jakamaan kolmeen eri

tyyppiin, joita ovat pystyrakenteiden muotit, vaakarakenteiden muotit ja erityismuotit. Pystyrakenteiden muotteja ovat paikallatehdyt lauta- ja levymuotit, suurmuotit, järjestelmämuotit, vakiopalkkimuotit ja pilarimuotit. (Suomen Betoniyhdistys 2009. 211-227.)

Yleisin pystyrakenteiden muottikalusto on järjestelmämuotit. Muotin kokoaminen toteutetaan määrämittaisilla kaseteilla. Järjestelmämuottien käyttäminen edellyttää varsin huolellista muottisuunnittelua. Yleensä järjestelmämuottien nosto toteutetaan nosturilla, mutta myös käsin nostettavia kevyitä alumiinirunkoisia kasettijärjestelmiä on olemassa. (Betoniteollisuus ry 2018.)

Paikallatehdyt lauta- ja levymuotit rakennetaan irrallisesta puutavarasta ja puulevyistä (Kuva 1). Muotin tukirakenteena käytetään lähinnä puuta tai terästä. Korkeissa perustus- ja seinämuoteissa käytetään muotin läpi meneviä muottisiteitä, jotka estävät muotia pullistumasta betonoinnin ja sen tiivistyksen aikana. (Suomen Betoniyhdistys 2009, 215.)



Kuva 1. Lauta- ja levymuotti, jossa raudoitus, kalliopultit, muottisiteet ja injektointiletku

Suurmuotit ovat vakiokorkuisia, yleensä teräsrunkoisia, muotteja. Niitä käytetään selkeissä rakenteissa, joissa on paljon toistuvuutta eli tyypillisesti asuntorakentamisessa. Suurmuotin nostamisessa tarvitaan aina nosturia. (Betoniteollisuus ry 2018).

Vakiopalkkimuotteja käytetään kohteissa, joissa rakenteen muodon vaatimus, muotin lujuusvaatimus tai muotin pintavaatimukset ovat erityisiä. Vakiopalkkimuotit soveltuvat erittäin korkeiden sekä kaarevien rakenteiden muoteiksi. Muotin kokoaminen vaatii huolellista ennakkosuunnittelua ja riittävästi aikaa (Suomen Betoniyhdistys ry 2009, 219; Betoniteollisuus ry 2018.)

Suorakaidepilareiden muotteina käytetään yleensä järjestelmäkasettimuotteja, joiden kokoa pystytään muokkaamaan säätörei'ityksen avulla. Muotit voidaan tehdä myös vakiopalkeista ja muottilevyistä tai laudasta. Pyöreiden pilareiden muotit ovat yleensä teräksestä valmistettuja pyöreitä pilarimuotteja, jotka kasataan yhdistämällä muottipuoliskot pulttiliitoksella. (Suomen Betoniyhdistys ry 2009, 221.)

Vaakarakenteiden muotteja ovat puupalkkimuotit, pöytämuotit, holvin kasettimuotit ja palkkimuotit. (Suomen Betoniyhdistys 2009, 211-227.) Yleisin vaakarakenteissa käytettävä muotti on työvoimavaltainen puupalkkimuotti, joka soveltuu eri laattavahvuuksille ja monimuotoisiin tiloihin, joissa ei juurikaan ole toistuvuutta. Järjestelmä on helppo, systemaattinen ja kevyt. Puupalkkimuotissa on niskapalkit, jotka tuetaan terästuilla ja tukitorneilla ja limitetään jatkoskohdista. Koolauspalkit asennetaan niskatukien päälle ja myös ne limitetään jatkoskohdista. Lopuksi muotti levytetään ja asennetaan lisätuet. Muotin purkaminen onnistuu helposti pystytukien pudotuspäiden ansiosta, joiden avulla muottia pystytään laskemaan alaspäin valetusta vaakarakenteesta. (Betoniteollisuus ry 2018.)

Pöytämuotit ovat vakio-osista kasattavia, kohdekohtaisia muotteja. Ensimmäisellä käyttökerralla pöytämuotit kasataan tasaisella alustalla halutun muotoiseksi ja nostetaan paikalleen. Pöytämuotteja käytetään toistuvissa samanlaisissa rakenteissa, mikä nopeuttaa muottikiertoa ja asennustyötä. Purku suoritetaan laskemalla muottia alaspäin holvista. Pöytämuotit vaativat useita käyttökertoja ja muottien siirto suoritetaan nosturin avulla. (Betoniteollisuus ry 2018.)

Holvin kasettimuotit kasataan moduulimittaisista, yleensä 3M:n (M=100mm) monikertakaseteista tukitelineiden tai pystytukien varaan. Kasettimuotit soveltuvat hyvin mataliin



tuentoihin, suoriin laattoihin ja suorakaiteen muotoisiin tiloihin. Työvoiman tarve on vähäinen, sillä nosturia ei tarvita ja muottikierto on nopea. (Suomen Betoniyhdistys ry 2009, 224.)

Muottikaluston hyvällä suunnittelulla päästään kaluston oikeaan valintaan, taloudelliseen mitoittamiseen ja tehokkaaseen käyttöön koko muottijärjestelmän kannalta. Sopivaa muottijärjestelmää hyödyntämällä työ voi edetä aikataulun mukaisesti ja mahdollisimman pienin kustannuksin. (Ratu 06-3023.)

Kohteella ja työmaan olosuhteilla on merkittävä vaikutus muotitustöihin. Alustavasti muottikalusto valitaan karsimalla pois teknisesti kelpaamattomat muottityypit ottamalla huomioon kohteen ominaisuudet, vaatimukset ja muottien soveltuvuudet. Alustavan valinnan jälkeen määritetään kaluston ajallinen ja määrällinen tarve yleisaikataulun ja sen sisältämien välitavoitteiden ja muottien kiertoajan perusteella. Teknisesti sopivien muottien kustannukset selvitetään tarjouspyyntömenettelyllä tai laskemalla aiheutuvat kustannukset oman kaluston käytöstä. Lopullinen valinta tehdään kustannusvertailulla huomioon ottaen vielä muut valintatekijät, kuten muottityypin tuntemus ja sen käytöstä tullut kokemus, muoteille ja niiden rakenteille asetetut vaatimukset ja muottitoimittajan luotettavuus. (Ratu 06-3023.)

#### 4.3.2 Muotin tekeminen kalliota vasten

Kalliota vasten rakennettavan lautamuotin valmistamisessa tulee ottaa huomioon muun muassa kalliopinnan eheyttäminen esimerkiksi ruiskubetonoinnilla tai pulttauksilla. Tarvittava sidepulttien määrä on tyypillisesti suurempi, muotin tiiveyden saavuttaminen on haastavampaa, ja usein työskentelytila on paljon ahtaampi kuin vastaavaa kaksipuoleista muottia rakennettaessa muualle kuin kalliota vasten. Luonnollisesti nämä tekijät vaikuttavat muotin rakentamiseen hidastavasti. (Ratu 0397.)

### 4.4 Teräsbetoni ja raudoitus

#### 4.4.1 Teräsbetonin toimintaperiaatteet

Teräsbetonirakenteella tarkoitetaan rakennetta, joka on suunniteltu niin, että betoni ja raudoitus yhdessä kestävätkä rakenteelle tulevat rasitukset (Suomen Betoniyhdistys ry

2009, 243). Betonin vaatimattomat veto- ja leikkauslujuusominaisuudet sekä betonin ja raudoituksen yhteistoiminnan edut ovat johtaneet siihen, että teräsbetonirakenne on huomattavasti yleisempi kuin puhdas betonirakenne (Suomen Betoniyhdistys ry 2009, 243).

#### 4.4.2 Teräsbetonirakenteiden perustyyppit ja niiden raudoitus

Teräsbetonirakenteiden tavanomaiset perustyyppit ovat pilari, palkki, laatta ja seinä.

Raudoitus tarkoittaa teräsbetonirakenteen raudoitteiden muodostamaa kokonaisuutta. Raudoitteina käytetään teräsverkkoja, kaistaraudoitteita, nauharaudoitteita, matoraudoitteita, pilari- ja palkkirauδοitteita, irtohakoja, kierrehakoja ja terästankoja, jotka valmistetaan terästehtaissa. Betoniterästangot voidaan jaotella kolmeen eri ryhmään tankojen muodon, pinnan ja valmistusmenetelmän mukaan. Näihin kuuluvat sileät tangot, harjatangot, kuuma- ja kylmävalssatut teräkset ja kylmämuokatut teräkset. (Suomen Betoniyhdistys ry 2009, 255.)

Pilarin raudoituksessa on kuormituksia vastaanottavat pystytangot, jotka yleensä sijoitetaan symmetrisesti, sekä umpinaiset haat, joiden tehtävänä on estää pystytankoja nurjahtamasta. Palkissa puolestaan on pituussuuntainen raudoitus, joka ottaa vastaan taivutuksen aiheuttamat vetojännitykset. Siksi se on kentässä alapinnassa ja jatkuvilla tuilla yläpinnassa. Vetoraudoituksen ja puristuspuolen betonin yhteistoiminta turvataan hakaraudoituksella. Kun leikkaus otetaan haoille, tulee niitä usein lisätä tukien läheisyyteen. (Suomen Betoniyhdistys ry 2009, 246-249.)

Laatassa oleva pituussuuntainen raudoitus sijoitetaan vetopuolelle samalla tavalla kuin palkissakin. Alapinnassa ovat jakotangot, jotka jakavat kuormia päätankojen päällä kohtisuorassa suunnassa. Yläpinnassa ei käytetä vedetyissäkään osissa jakotankoja. Laatoissa ei käytetä koskaan puristustankoja, eikä niissä yleensä tarvita lainkaan leikkausraudoitusta. Laatta voi toimia myös ristiinkantavana, jolloin raudoitus tehty nimensä mukaisesti ristiin. Tällöin jännityksiä vastaanottava raudoitus on kahdessa suunnassa. (Suomen Betoniyhdistys ry 2009, 246-249.)

Seinän raudoituksena pystytangot ovat molemmissa pinnoissa, ja vaakatangot ovat pystyraudoituksen ulkopuolella estämässä nurjahtamista. Verkot sidotaan seinän läpi kiinni toisiinsa. (Suomen Betoniyhdistys ry 2009, 246-249.)

Teräsbetonirakenteet valmistetaan rakennesuunnittelijan tekemien rakennepiirustusten mukaan. Nämä mitoituskalkelmiin perustuvat rakennepiirustukset pitävät sisällään rakenteiden mitat, muodot ja raudoitukset. Rakennepiirustuksiin sisältyy myös määräyksiä ja ohjeita esimerkiksi materiaalivalinnoista, saumoista, liitoksista, eristyksistä, työn suoritustavoista. (Suomen Betoniyhdistys ry 2009, 267.)

#### 4.5 Betonin valinta ja betonointi

Betonin valintaa pitäisi ohjata teknisesti oikeaan ratkaisuun jo suunnitteluvaiheessa varsinkin lattiarakenteissa sekä rakenteissa, joille asetetaan vesitiiviys- tai säilyvyysvaatimuksia sideainetyypin, vesisideainesuhteen tai huokostuksen muodossa (Lumme, Mattila, Vuorinen & Ålander 1996, 90-91). Betonimassan ominaisuuksilla ja niiden oikealla valinnalla on oleellinen vaikutus betonityön onnistumisen ja kovettuneen betonin toivottujen ominaisuuksien saavuttamisen kannalta. Asetetut vaatimukset täyttävän ja oikeanlaatuisen betonin valinta on rakennesuunnittelijan, betonin valmistajan ja työmaan yhteistyön tulos (Suomen Betoniyhdistys ry 2009, 301). Betonin valmistajat tarjoavat usein eri laatujen lisäksi myös betonin siirtoa ja käyttöä helpottavia palveluja. Betonin kuljetusketju koostuu usein pyörintäsäiliöautokuljetuksesta työmaalle ja siellä laskemisesta suoraan autosta muottiin, pumppaamalla (Kuva 2), kourulla tai hihnalla. (Lumme, Mattila, Vuorinen & Ålander 1996, 90-91.)



Kuva 2. Pumppuauto

Ennen betonoinnin aloittamista on tärkeää kastella tai öljytä muottipinnat, jotta kovettuneen betonin pinnasta tulisi laatuvaatimuksien mukainen. Betoni tulisi valaa muottiin mahdollisimman matalalta ja pystysuorasti alaspäin, etteivät kiviainesrakeet ja vesi erottuisi betonimassasta. Massan pudotuskorkeuden tulee olla enintään puolitoista metriä. Massaa ei saisi valuttaa muotin seinämää pitkin eikä myöskään sitä vasten. Korkeissa rakenteissa valukerroksen korkeus ei saa ylittää neljäkymmentä senttimetriä tunnissa, sillä muuten betonimassa voi aiheuttaa muotille liian suuren paineen, ja betoni olisi hankala tiivistää. Betonin tiivistäminen tehdään yleensä sauvatäryttimellä. Tiivistämisen tarkoitus on saada betoni täyttämään muotti kokonaan, ympäröimään rauditus, poistamaan massasta kaikki ylimääräinen ilma ja saada runkoaineen osat hakeutumaan lähemmäksi toisiaan. (Betoniteollisuus ry 2018.)

#### 4.6 Betonityönjohtaja

Betonityönjohtaja johtaa betonityön valmistusta ja hänellä tulee olla tehtävän rakenne-  
luokan mukainen pätevyys. Hänellä tulee olla riittävät tiedot betonin ominaisuuksista ja  
valinnasta sekä riittävä käytännön kokemus rakenteiden valmistamisesta. Betonityön-  
johtajalta vaaditaan FISE:n toteama pätevyys, jonka myöntämisperusteena on, että  
työnjohtajalla on rakennusalan koulutus, riittävästi käytännön kokemusta ja rakennus-  
alan organisaatioiden järjestämä täydennyskoulutus. (Suomen Betoniyhdistys ry 2013,  
96.)

Betonityönjohtajan on työvaiheiden, etenkin betonoinnin aikana, oltava työpaikalla.  
Mikäli niin sanottu poikkeuksellisen vaativa- tai vaativa- luokan betonityönjohtaja joutuu  
poistumaan työpaikalta, tulee hänen tilallaan olla vähintään vaativa- luokan betonityön-  
johtaja, eli henkilö, jolla on vähintään rakennusteknikon koulutus (Suomen Betoniyhdis-  
tys 2009, 209).

#### 4.7 Betonisuunnitelma ja -pöytäkirja

Betonisuunnitelma ja -pöytäkirja on oleellinen osa tuotannon suunnittelua paikallava-  
luokohteessa, sillä niitä käytetään tarkistuslistan omaisesti betonityön kaikissa eri vai-  
heissa. Sen suunnitelmaisuus tehdään ennen betonointityön aloittamista, ja pöytäkir-  
jaosuutta täydennetään betonoinnin aikana ja betonoinnin jälkeen. (Suomen Betoniyh-  
distys ry 2009, 210.)

## 5 Hiljainen tieto ja kokemusperäinen tieto

Tämän opinnäytetyön yhtenä tavoitteena on kartoittaa toimeksiantajayrityksen työnjohtajien hiljaista tietoa maanalaisesta betonirakentamisesta. Hiljaiselle tiedolle ei ole yksiselitteistä määritelmää (Toom, Onnismaa & Kajanto 2008, 34–35). Yleisimmin käytetyt määritelmät pohjautuvat pitkälti filosofi Michael Polanyin ajatuksiin, joiden mukaan ihminen tietää enemmän kuin kykenee kertomaan. Ajatellaan siis, että ihmisten tietämyksen taustalla on eräänlainen hiljainen ulottuvuus, joka vaikuttaa ajatteluun ja toimintaan, mutta sitä ei osata kuvailla selkeästi toisille. (Toom, Onnismaa & Kajanto 2008, 34–35.)

Sanotaan, että ihmisellä on monia erilaisia taitoja, jotka vaikuttavat käytäntöihin ja toimintoihin ilman, että niitä edes aktiivisesti huomataan tai tunnistetaan. Automaattisesti tapahtuvat, hiljaiseen tietoon pohjautuvat, toiminnot vaikuttavat moniin seikkoihin, esimerkiksi päätöksentekoon ja toimintatapoihin. (Virtainlahti 2009, 38–39.)

Hiljaisen tiedon käsite on muunnos englanninkielen termistä *tacit knowledge*. Käsite *tacit* tarkoittaa äänetöntä, lausumatonta, hiljaista – toisin sanoen jotain, josta ei puhuta. Käsitteellä *knowledge* puolestaan tarkoitetaan tietoa, tietämystä, oppineisuutta. (Moilanen, Tasala & Virtainlahti 2005, 28.)

Hiljaisen tiedon merkitystä on korostettu paljon työelämässä. Tutkimusten mukaan työpaikalla tapahtuva yhteistyö ja sujuva vuorovaikutus toimivat parhaimpina lähtökohtina hiljaisen tiedon jakamisessa. Pienryhmässä työskenneltäessä hiljainen tieto saattaa jakautua luonnostaan tiimin kesken. Hiljaisen tiedon jakamiselle synnytetään myös hyvä kasvualusta työnkiertomahdollisuutta hyödynnettäessä. (Helin 2007, 36.)

## 6 Opinnäytetyön lähtökohdat ja menetelmät

### 6.1 Menetelmänä tuotokseen painottuva toiminnallinen opinnäytetyö

Muiden tutkimusmenetelmien ohella opinnäytetyö voidaan toteuttaa toiminnallisena, jolloin tavoitteena on kehittää käytännön työtä toimintoihin. Toiminnallisella opinnäytetyömenetelmällä pyritään ammatillisen kentän käytännön toiminnan ohjeistamiseen, opastamiseen, järjestämiseen tai järjeistämiseen. Tuolloin lopullinen tuotos on aina jokin konkreettinen tuote tai esimerkiksi tapahtuman toteuttaminen. (Vilka & Airaksinen 2003, 9.) Toiminnallisen opinnäytetyön tuloksena syntyvä tuotos sisältää uuden tiedon ohella palvelun, oppaan, toimintatavan tai minkä tahansa työelämän toiminnan kannalta hyödyllisen innovaation, joka on uusi tai vaihtoehtoisesti edeltäjänsä kehittyneempi (Salonen 2013, 25). Tämän opinnäytetyön lopputuotos on ohje, sillä se oli toimeksiantajan toive, ja se palvelee opinnäytetyön tarkoitusta parhaiten. Tämän opinnäytetyön menetelmänä hyödynnetään myös kirjallisuuskatsausta, ja tietoa hankitaan myös asiantuntijahaastattelujen myötä.

Toiminnalliseen opinnäytetyöprosessiin kuuluu myös raportti. Se on erillinen kirjallinen esitys, jonka tuloksena syntyy raporttiin nähden itsenäinen tuotos. Tärkeää on ymmärtää, että raportin tulisi olla enemmän kuin pelkkä tuotos – se on kattava kuvaus opinnäytetoiminnan ymmärtämisestä, ammatillisuudesta, ammattikorkeakoulun innovatiivisuudesta, myös opinnäytetyön tekijän oppineisuudesta. (Salonen 2013, 25). Raportoinnin on tärkeää täyttää asiallisen viestinnän vaatimukset (Vilka & Airaksinen 2003, 65).

Toisin kuin esimerkiksi tutkimuksellisessa työssä, toiminnallisessa opinnäytetyössä tuotokseen tähtäävä työn kehittäminen edellyttää sen eri vaiheissa mukana olevia toimijoita. Toiminnallisessa työssä vaiheet kohti valmista tuotosta etenevät vuorovaikutussuhteessa, mikä merkitsee toistuvaa keskustelua, arviointia, työskentelyn uudelleen suuntaamista, vertaistukea sekä palautteen antamista ja vastaanottamista. (Salonen 2013, 6.) Myös tämä opinnäytetyö etenee vuorovaikutussuhteessa niin toimeksiantajan – YIT Rakennus Oy Infrapalvelujen – edustajan kuin Metropolia Ammattikorkeakoulun ohjaavan opettajankin kanssa. Opinnäytetyössä pyritään huomioimaan toimeksiantajayrityksen toiveet ja ohjaavalta opettajalta saatu palaute.

Ammattikorkeakouluopinnäytetyön tulisi olla työelämälähtöinen, riittävän käytännönläheinen ja alan tietojen ja taitojen omaksuntaa osoittava. Hyvä aihe on sellainen, että sen avulla on mahdollista luoda yhteyksiä työelämään ja esimerkiksi ylläpitää suhteita harjoittelupaikkaan tai työnantajaan. Hyvä opinnäytetyöaiheen avulla opiskelija voi syventää tietoja ja taitojaan jostakin kiinnostavasta aiheesta. (Vilka & Airaksinen 2003, 16.) Tämän opinnäytetyön aihe nousi erään työharjoittelujakson aikana, ja opinnäytetyöyhteistyö mahdollistaa suhteiden ylläpidon kyseiseen toimeksiantajaan. Tämän opinnäytetyön aihe on myös opiskelijaa kiinnostava ja sitä valittaessa on huomioitu opiskelijan aiempi osaaminen.

## 6.2 Opinnäytetyön prosessi

Opinnäytetyöprosessi alkoi keväällä 2018. Opiskelijan toiveena oli löytää sellainen työelämän tarpeesta lähtöisin oleva ja työelämää kehittävä aihe, joka on paitsi kiinnostava, myös opiskelijan oppimista tukeva, ja toteutettavissa kohtuullisessa ajassa. Lisäksi siitä tuli löytyä tarpeeksi aiempaa tietoa. Kesällä 2018 sopiva aihe nousi esiin työnjohdoharjoittelun aikana, jolloin opiskelija työskenteli maanalaisen rakentamisen parissa. YIT Rakennus Oy Infrapalveluissa ilmeni tarve maanalaiseen betonirakentamiseen liittyviä erityispiirteitä käsittelevälle tietomateriaalille. Aiheen aluksi haastavalta tuntuneen rajaamisen ja työ- sekä opiskeluelämän kiireiden vuoksi opinnäytetyön toteuttaminen päätettiin ajoittaa syksyyn.

Ohjaava opettaja hyväksyi opiskelijan kiinnostuksenkohteiden ja toimeksiantajan toiveiden pohjalta syntyneen aihe-ehdotuksen opinnäytetyön aiheeksi syyskuussa 2018. Pian aiheen hyväksymisen jälkeen järjestettiin palaveri toimeksiantajan ja ohjaavan opettajan kanssa. Palaverissa sovittiin alustavasti muun muassa opinnäytetyön aikataulusta, aiheen rajauksesta ja sisällöistä, ja tutkimuslupa laadittiin. Tiedonhakuja ja opinnäytetyöraportissa esiteltyä teoriaosuutta alettiin työstää heti aloituspalaverin jälkeen. Asiantuntijahaastattelut järjestettiin kirjallisuuskatsausosuuden jälkeen lokakuussa 2018.

Opinnäytetyö toteutettiin yhteistyössä kahden organisaation, Metropolia ammattikorkeakoulun ja YIT Rakennus Oy:n kanssa. Kommunikointi tapahtui sähköpostitse, puhelimitse, sovituissa tapaamisissa, myös muun työn ohessa. Opas ja raportti lähetettiin valmiina sekä toimeksiantajayrityksen edustajalle että ohjaavalle opettajalle. Valmis



opinnäytetyö esiteltiin loppuseminaarissa Metropolia Ammattikorkeakoulussa marraskuussa 2018, ja opinnäytetyö voidaan esitellä myös toimeksiantajayrityksessä.

Opinnäytetyön esittämisen ja viimeistelyn jälkeen opinnäytetyöraportti ja ohjemateriaali luovutettiin YIT Rakennus Oy:n käyttöön sähköisenä versiona. Opinnäytetyön myötä valmistunut tiivistetty ohjemateriaali julkaistiin sähköisenä YIT:n Pulse-alustalla. Opiskelija antoi toimeksiantajayritykselle oikeudet lopputuotteen vapaaseen käyttöön ja ajankohtaisen tarpeen mukaiseksi muokkaamiseen.

### 6.3 Tiedonhankinta ja asiantuntijahaastattelut

Opinnäytetyön tiedonhaku toteutettiin pääasiassa Metropolia ammattikorkeakoulun, Helsingin kaupungin ja yliopiston kirjastopalveluita ja -tietokantoja hyödyntäen. Tietoa etsittiin myös rakennusalan tieto- ja mediatalon verkkosivustojen kautta. Myös toimeksiantajayrityksen omiin kirjallisiin materiaaleihin tutustuttiin.

Kirjallisuuskatsauksen ohella opinnäytetyön aineistonkeruu ja tiedonhankinta toteutettiin toimeksiantajayrityksen toiveesta kokeneita rakennusalan työnjohtajia haastattelella. Asiantuntijahaastattelujen avulla oli tarkoitus pyrkiä tavoittamaan myös niin sanottua hiljaista, kokemusperäistä, tietoa, joka ei välttämättä tule esiin ammattikirjallisuudessa tai tämän opinnäytetyön teoriaosuudessa. Asiantuntijuuteen perustuvan haastattelun katsottiin sopivan kirjallisuuskatsauksen rinnalla hyvin opinnäytetyön tiedonkeruumenetelmäksi. Haastattelella voidaan pyrkiä selvittämään, mitä ihminen ajattelee jostakin aiheesta, millaisia ajatuksia aihe herättää, ja miksi hän toimii tietyllä tavalla (Tuomi & Sarajärvi 2009, 72–74). Tiedonkeruumenetelmänä haastattelun etuna voidaan pitää joustavuutta, sillä haastattelijalla on mahdollisuus toistaa esitetty kysymys, tarkentaa sitä tarvittaessa tai oikaista mahdolliset väärinkäsitykset. Kasvotusten haastattelella on myös mahdollista havaita muitakin kuin haastateltavan ääneen sanomia asioita. (Tuomi & Sarajärvi 2009, 72–73.)

Tämän opinnäytetyön haastattelumuodoksi valittiin teemahaastattelu, sillä sen katsottiin olevan opinnäytetyön aiheen kannalta sopivin. Teemahaastattelua suunnitellessaan opinnäytetyön tekijä valitsee ennalta aihepiirejä ja apukysymyksiä, jotka ohjaavat haastattelua joustavasti (Tuomi & Sarajärvi 2009, 73).

Tässä opinnäytetyössä haastateltaviksi valittiin kaksi työnjohtajaa, Jari Kanerva ja Kalle Hytti, joista kummallakin oli useiden vuosien kokemus rakennusalasta, erityisesti maanalaisesta rakentamisesta. Maanalaiseen rakentamiseen liittyvää työkokemusta haastateltavilla oli yhteensä yli 40 vuotta. Haastateltavat valittiin toimeksiantajayrityksen edustajan avustamana. Valituilla haastateltavilla uskottiin olevan paljon tietoa maanalaisesta betonirakentamisesta ja toisaalta myös halua jakaa tietojaan ja kokemuksiaan avoimesti. Yhden henkilön haastattelua varten aikaa varattiin noin tunti, ja jokainen haastattelutilanne nauhoitettiin. Haastattelujen nauhoittamiseen pyydettiin lupa haastateltavilta.

## 7 Työnjohtajien kokemusperäinen tieto maanalaisesta betonirakentamisesta

### 7.1 Kallioperä

Kallioperästä puhuttaessa haastatteluissa nousi esiin, että kallioperän huomiointiin liittyvät vaatimukset riippuvat pitkälti suunnitellun rakenteen tyypistä. Haastateltavat korostivat, että esimerkiksi seiniä rakennettaessa tulee ensisijaisesti huomioida, että louhittu kalliopinta on toteutettavan rakenteen alueelta ja ympäristöstä huolellisesti rusnattu. Rusnauksella tarkoitetaan tilan seinämissä tai katossa löyhästi kiinni olevien lohka-reiden karistamista ja muun rikkoutuneen aineksen poistamista kalliopinnoista. Esiin nousi, että huolimattomasti puhdistettu kalliopinta voi olla merkittävä työturvallisuusris-ki; irtonainen kallionkivi saattaa pudota herkästi myöhemmissä työvaiheissa, esimerkiksi pulttireikien poraamisen yhteydessä.

Kokeneet työnjohtajat mainitsivat lisäksi, että myös kallioperän vaihteleva laatu on syy-tä ottaa huomioon. Vaativampaa tai huonompaa kallioperää louhittaessa kallioon koh-distuu usein ryöstöä, eli ylilouhintaa, jolloin kalliota irtoaa louhinnasta suunniteltua enemmän. Työnjohtajan kokemuksen mukaan ryöstö voi laajuudeltaan olla kaksikin metriä. Louhinnan aiheuttamat ryöstöt tulisi aina kartoittaa.

### 7.2 Olosuhteet

#### 7.2.1 Pimeys

Maanalaisista olosuhteista puhuttaessa haastatteluissa korostettiin valaistuksen merki-tystä. Maan alla valaistuksen tulee olla riittävä, sillä luonnonvaloa ei tunnelissa ole lain-kaan tai vain rajallisesti. Lienee sanomattakin selvää, että työn tekeminen ilman riittä-vää valaistusta on vaikeaa, ellei täysin mahdotonta. Työmaalle on tärkeää järjestää riittävä sähkönsyöttö, jotta virta riittää paitsi työkoneille, myös valaisimille.

Haastatteluissa huomioitiin myös henkilökohtaiset valaisimet. Maanalaisilla työmailla on usein tapana käyttää kypärään kiinnitettäviä otsalamppuja, mutta esimerkiksi säh-kökatkon varalta on syytä kantaa mukana myös varalamppua.

Käytännön vinkkinä haastateltava työnjohtaja mainitsi myös, että matalissa maanalaisissa tiloissa kohdevalaisevat LED-valomastot ovat hyviä valonlähteitä, kun taas korkeammissa tiloissa suositaan tavallisimmin natriumvalaisimia.

### 7.2.2 Kosteus

Haastatteluissa yhtenä maanalaisena olosuhteena korostettiin veden ja kosteuden määrää. Maan alaisille tiloille tyypillinen kosteus saattaa aiheuttaa sisustusvaiheessa ongelmia, muun muassa homevaurioita. Tilan kuivaaminen onkin tärkeää. Yleensä tämänkaltaiset ongelmat on kuitenkin huomioitu jo suunnittelussa, eikä niistä pitäisi tulla seurauksia.

Maanalaisilla työmailla on runsaasti myös vuotovesiä, mikä edellyttää jatkuvaa veden pumppausta. Työnjohtajien kokemuksen mukaan vesien pumppaamiseen käytetään uppopumppuja. Pumppujen mahdolliseen toimintahäiriöön on syytä varautua varapumpuilla. Työnjohtajien mukaan kriittisissä työmaakohteissa, joissa vuodot ovat runsaita, kannattaa viikonloppuisin järjestää erityisiä pumppauspäivystyksiäkin.

Haastatteluissa muistutettiin myös, että kallion poraaminen aiheuttaa aina jonkin verran kalliopölyä, joka vuotovesien kanssa yhdistyessään muodostuu niin sanotuksi porasojaksi. Kallionvastaisia rakenteita tehdessä tulee kallion pinta olla rakennettavan rakenteen kohdalta täysin puhdas porasojasta, jotta betonimuotit voidaan rakentaa tiiviisti kallion pintaa vasten. Täten porasojja ei pääse valumaan muottien välistä rakenteisiin. Haastateltavien mukaan on tärkeää pyrkiä pysäyttämään kallioseinämiä mahdolliset vuotokohdat injektoimalla.

Maanalaiset olosuhteet voivat osaltaan olla myös suotuisia rakenteiden kannalta. Haastatteluissa mainittiin, että maanalainen ilmankosteus on hyväksi valetuille betonirakenteille. Betonin lämpötilavaikutteita ei maan alla tarvitse huomioida samoin kuin maan pinnalla. Työnjohtajien kokemuksen mukaan lattiarakenteet ja holvit, jotka luonnollisesti altistuvat suuremmalle kuormitukselle, on kuitenkin hyvä suojata jälkihoitoaineella.

### 7.2.3 Lämpötila

Työnjohtajat totesivat haastatteluissa, että lämpötila maanalaisilla työmailla on aina jokseenkin stabiili. Sääolosuhteet eivät vaikuta työntekoon, eikä esimerkiksi lumitöitä tarvitse juurikaan tehdä. Koska maan alla ei tavallisesti ole pakkasta, eivät rakenteet pääse jäätymään, eikä betonirakenteet kuivu maanalaisissa lämpöolosuhteissa liian nopeasti.

Haastateltavat korostivat, että lämpö täytyy kuitenkin pyrkiä pitämään maan alla. Käytännössä lämmön säilyttämiseen voidaan pyrkiä kuilujen huputtamisella ja suuaukkojen peittämisellä sääsuojin ja sääovin. Pakkasta ei saisi päästää sisään, sillä ruiskubetonitujen käytävien salaojat voivat pakkasen vaikutuksesta jäätyä, jonka seurauksena ruiskubetoni alkaa halkeilla.

### 7.2.4 Tilojen ahtaus

Maanalaisten tilojen rajallisuuden vuoksi toimivan logistiikan järjestäminen on työnjohtajien kokemuksen perusteella yksi keskeisimmistä huomionarvoisista seikoista. Turhan tavaran varastointia tulee välttää työmaalla, ja esimerkiksi rakennusjätteet kannattaa heti siivota roskalavoille. Roskalavat on syytä tyhjentää heti niiden täytyttyä. Työyhteisössä on järkevää sopia ennalta, mille alueille tai työpisteille esimerkiksi raudotteet tai puutavara sijoitetaan.

Työjärjestys huomioidaan tavallisimmin aikataulusuunnittelun yhteydessä. Haastatteluissa korostui, että toimivan työjärjestyksen kannalta tulisi huomioida seinärakenteita tai mitä tahansa muita tiloja sulkevia rakenteita tehtäessä, että mikään oviaukoista mahtuvaa suurempi ei jäisi rakenteiden taakse loukkuun. Lisäksi todettiin, että esimerkiksi lattiavaluissa ei kannata suosia turhan pitkiä linjavaluja. Työnjohtajat suosittelivat, että rakentaminen onkin syytä aloittaa suuaukosta nähden kauimmaisesta päädyistä. Usein myös ilmanvaihtokonehuoneet, talotekniikkatilat ja syvät pumppaamot toimivat rakentamisen sydäminä, eli aloituspaikkoina.

Koska suuria torninostureita ei tilojen rajallisuuden vuoksi voida maanalaisilla työmailla useinkaan käyttää, on esimerkiksi HIAB-kuormausnostureita mahdollista hyödyntää nosto- ja siirtokalustona. Haastateltavat vinkkasivat, että työnjohtajan kannattaa huomioida, että betonautoille ja HIAB-nostureille tarkoitetut purku- ja nostoalueet ovat ka-

luston saavutettavissa sovittuna ajankohtana, jotta töiden aloituksessa vältetään turhalta työltä ja ajanhukalta.

### 7.3 Betonirakenteet

Haastateltavat kertoivat, että betonirakenteet, eli anturat, seinät ja holvit ovat rakenteeltaan maanalaisessa rakentamisessa periaatteessa samanlaisia kuin maan päälläkin. Suurin ero maanpäällisiin rakenteisiin verrattuna liittyy nimenomaan rakenteiden kalli-onvastaisuuteen ja kallioankkurointiin kytkeytyviin ominaisuuksiin. Haastattelujen myötä kävi ilmi, että kallionvastaiset seinät pyrkivät usein halkeilemaan normaaleja seiniä enemmän. Halkeilun arvioitiin johtuvan betonin lämpötilaeroista, mihin vaikuttaa seinän paksuuden vaihtelut kallion eri kohdissa. Työnjohtajien kokemuksen mukaan viime aikoina seinien halkeamisesta seuraavia ongelmia on pyritty ehkäisemään niin sanottujen ohjaussaumojen avulla. Ohjaussaumojen myötä halkeamia voidaan ohjata suotuisampiin kohtiin toivotun suuntaisesti.

Haastateltavat korostivat myös, että kallionvastaiset betonirakenteet eivät ole selkeitä tai suoria, eikä lähtökorkoja voi koskaan varmuudella tietää ennen louhintaa. Rakenteista on siis laadittu suunnitelmat teoreettisen louhinnan ja sallitun louhintatoleranssin mukaan, mutta niin sanotut tarkkeet puuttuvat. Ennakoimattomien ryöstöjen myötä joudutaan usein tekemään täyttöjä, eikä ennalta tilattuja, terästehtaissa valmiiksi muokattuja, raudotteita useinkaan pystytä käyttämään kallionvastaisessa rakentamisessa. Työnjohtajan kokemuksen mukaan louhinnat tulisikin suorittaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta tarkemmittaustiedot voitaisiin ilmoittaa suunnittelijalle mahdollisimman aikaisin, ja mahdollisiin mittapoikkeamiin voitaisiin varautua hyvissä ajoin.

### 7.4 Muotit ja muottityöt

Haastateltavien mukaan kallionvastaisia rakenteita tehdessä muotteina käytetään pääasiassa kappaletavarasta tehtyjä puisia lauta- ja levymuotteja, mutta myös järjestelmämuottia käytetään, mikäli tilaa muotin nostamiseen on riittävästi. Kalliopintojen epätasaisuuksien vuoksi järjestelmämuottien jatkoksi joudutaan silti käytännössä aina kallion ja muotin liitoskohdat tekemään kappaletavarasta. Haastatteluissa mainittiin, että

liitoskohtien muottitöitä tekeviltä työntekijöiltä edellytetään hyvää käsityötaitoa ja työkokemusta.

Haastateltavien mukaan järjestelmämuottia käytettäessä tarkan muottisuunnitelman merkitys korostuu, ja pulttireikien kohtien huolellisessa merkitsemisessä on hyödynnettävä mittamiehen ammattitaitoa. Kallionvastaisissa betonirakenteissa on työnjohtajan kokemuksen mukaan syytä hyödyntää vesitiiveyden takaavia menetelmiä pultituksessa.

### 7.5 Raudoitus ja raudoitustyöt

Haastatteluissa todettiin, että kalliovastaisissa rakenteissa raudoitukset ja raudoitteet eroavat maanpäällisiin rakenteisiin verrattuna pääasiassa kalliopulattausten ja lisämuokkauksia edellyttävän raudoitustyön osalta. Työnjohtajien kokemuksen mukaan kallion ryöstöjen seurauksena suunnittelija suunnittelee ryöstökohtiin usein lisäraudoituksia ja -pultituksia rakenteen halkeilun estämiseksi.

Haastatteluissa todettiin, että kallionvastaisissa rakenteissa raudoitusmenekki on usein suurempi kuin maanpäällisissä rakenteissa. Raudoitteet tehdään työmaalla pitkistä tavarasta vengillä taivuttaen ja leikkurilla tai kulmahiomakoneella eli rälläkällä, leikaten. Raudoituksen valmistuttua on tärkeää, että työnjohtaja tarkistaa raudoituksen suojaetäisyydet vaaditun mukaisiksi. Haastatteluissa huomautettiin, että jos raudoitus jää valussa liian pintaan, näkyy se läpi betonin kovettumisen jälkeen.

### 7.6 Betoni ja betonointi

Kallionvastaisten betonirakenteiden betonin valinnassa on tärkeää ottaa huomioon betonin notkeus. Haastatteluissa nousi esiin, että betonimassan tulisi olla sellaista, joka täyttää kaikki kallion kolot. Haastateltavat ohjasivat, että betoni kannattaa valaa muottiin tasaisin kerroksin nostamatta liikaa kerralla, jotta massan tiivistyksen pystyy suorittamaan huolellisesti.

Betoni pyritään tiivistämään sauvatäryttimellä kohtisuorasti muotin yläpuolelta. Koska kallionvastaisissa rakenteissa ei betonin tiivistäminen kohtisuorasti yläkautta ole aina

mahdollista, voidaan työnohtajien kokemuksen perusteella muottiin tehdä valuluukkuja kohtisuorassa linjassa, korkeussuunnassa yleensä noin metrin välein. Tiivistämisen lisäksi myös betonin pumppaus betoniautosta voidaan tehdä valuluukkujen kautta. Betonin oikeaan korkoon pumppauksen ja tiivistämisen jälkeen valuluukku paikataan, jonka jälkeen siirrytään seuraavaan yläpuoliseen luokkuun. Haastatteluissa mainittiin myös, että järjestelmämuotteihin valuluukkuja ei voi tehdä, sillä ne saattaisivat muotit käyttökelvottomiksi.

Haastatteluissa huomioitiin myös, että jos työmaalla on useampia betonoitavia kohteita samanaikaisesti, on työnohtajan tärkeää tietää, mikä betoni kuuluu mihinkin rakenteseen, sillä eri rakenteet luonnollisesti vaativat erilaisen betonimassan. Lisäksi toinen haastateltavista työnohtajista rohkaisi työnohtajaa kyseenalaistamaan betonivalintaa arvioidessaan tiettyjä seikkoja, muun muassa betonin raekokoa ja notkeutta, jotta betonimassa on käyttötarkoituksensa kannalta sopivin mahdollinen ja jotta vältetään turhilta yllätyskustannuksilta. Suunnitellun betonimassan vaihtamisesta on kuitenkin aina sovittava ensin rakennesuunnittelijan kanssa. Lisäksi painotettiin, että kokeneemman kollegan näkemystä ja kokemusta kannattaa aina kysyä ja hyödyntää työmailla.



## 8 Pohdinta

### 8.1 Yhteenveto ja johtopäätökset

Opinnäytetyön kirjallisuuskatsauksen ja haastattelujen perusteella voidaan todeta, että maanalainen betonirakentaminen kysyy työnjohtajalta monenlaista rakennusalan tuntemusta. Maan alle rakennettaessa onkin syytä kiinnittää huomioita asioihin, jotka eivät välttämättä vaadi samanlaista huomiointia maanpäällisissä rakennusprojekteissa.

Haastatteluissa esiin nousi, että esimerkiksi työturvallisuuteen, valaistukseen, logistiikkaan ja vesien pumppaukseen liittyvien seikkojen huomioinnin merkitys korostuu maanalaisessa rakentamisessa. Oikeiden rakennusmateriaalien ja -menetelmien huolellinen valinta ja suunnittelu on oleellinen osa myös kallionvastaista betonirakentamista. Lisäksi on tärkeää huomioida vallitsevat kosteus- ja lämpöolosuhteet ja toisaalta maanalaisten tilojen riippumattomuus sääolosuhteista.

Yhtenä opinnäytetyön keskeisimpänä johtopäätöksenä voidaan todeta myös, että rakennusalan työnjohtajilla on paljon kokemusperäistä tietoa, käytännön osaamista ja hyödyllisiä vinkkejä, joita kannattaisi hyödyntää enemmän rakennusprojekteissa ja työyhteisöissä. Tämänkin opinnäytetyön perusteella voidaan todeta, että tällainen hiljaisseksikin tiedoksi kutsuttu tieto ei useinkaan nouse esiin ammattikorkeakouluopinnoissa tai alan kirjallisuudessa.

Vaikka maanalaiseen rakentamiseen liittyy omat huomionarvoiset erityispiirteensä, korostettiin kokeneiden työnjohtajien haastatteluissa kuitenkin myös sitä, ettei maanalaisia rakentamisolosuhteita ole syytä pelästyä, ja toisaalta maanalaisessa rakentaminen on peruspiirteiltään jokseenkin samanlaista kuin maanpäällinen rakentaminenkin.

## 8.2 Arviointi

Toiminnallista opinnäytetyötä tarkasteltaessa ensimmäinen arvioinnin kohde on työn aihe ja idea. Aiheen kuvaus, tavoitteet, teoreettinen viitekehys sekä kohderyhmä tulisi olla selvitetty opinnäytetyöraportissa. (Vilka & Airaksinen 2003, 154.) Tässä opinnäytetyössä edellä mainitut seikat on esitetty johdonmukaisesti. Opinnäytetyön aihe valittiin ja sitä rajattiin toimeksiantajayrityksen tarvetta ja toivomuksia kunnioittaen, minkä voidaan ajatella osoittavan aiheen valinnan onnistumista ja opinnäytetyön hyödyllisyyttä. Opinnäytetyöprosessin alkuvaiheessa aiheen rajaaminen tuntui paikoin haastavalta, ja jälkikäteen ajatellen aihetta olisi voitu rajata tarkemminkin esimerkiksi yksinomaan källionvastaisiin betonirakenteisiin. Toisaalta opiskelija halusi lähestyä aihetta laajemmasta näkökulmasta.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli toteuttaa kirjallinen ohje työnjohtajalle maanalaisen betonirakentamisen erityispiireistä. Tehtävänä oli kuvailla, millaisia seikkoja rakennusalan työnjohtajan tulee ottaa huomioon maanalaisessa betonirakentamisessa, ja millaista kokemuseräistä tietoa kokeneilla työnjohtajilla on maanalaisesta betonirakentamisesta. Tavoitteena oli lisätä toimeksiantajayrityksen työntekijöiden, erityisesti uusien työnjohtajien, tietoa maanalaisen betonirakentamisen erityispiirteistä ja siten osaltaan parantaa toiminnan tehokkuutta ja laatua. Lisäksi tavoitteena oli tuoda näkyväksi kokeneiden työnjohtajien kokemuseräistä tietoa aiheesta. Kirjallisten teosten ja asiantuntijahaastattelujen avulla kerätyn ja kootun tiedon myötä pystyttiin vastaamaan opinnäytetyölle asetettuihin tehtäviin ja tavoitteisiin melko hyvin.

Toteutustavan arvioinnissa tulee kiinnittää huomio myös lähdemateriaalien arvioimiseen (Vilka & Airaksinen 2003, 159). Tässä opinnäytetyössä käytettyjä tiedonhankintamenetelmiä voidaan pitää pääosin eettisesti kestävinä ja luotettavina. Kirjallisia lähteitä valittaessa pyrittiin käyttämään mahdollisimman viimeaikaisia teoksia, mutta myös vanhempia lähteitä käytettiin, yksinomaan niissä tapauksissa, joissa tiedon uskottiin pysyneen pääosin muuttumattomana. Opinnäytetyössä hyödynnettiin sen aiheen vuoksi pääasiassa kotimaisia lähteitä, mutta myös kansainvälisiä materiaaleja tarkasteltiin, vaikkakaan niitä ei lopullisina opinnäytetyöraportin lähteinä hyödynnetty. Lähteiden merkinnässä ja niihin viitattaessa pyrittiin ehdottomaan tarkkuuteen ja huolellisuuteen. Lisäksi opinnäytetyötä laadittaessa pyrittiin avoimuuteen, ja avoimuuden nimissä opinnäytetyöprosessi tuodaan johdonmukaisesti julki tässä raportissa.

Opinnäytetyön onnistumista arvioitaessa on oleellista arvioida myös työn raportointia ja kieliasua (Vilkkä & Airaksinen 2003, 159). Raportin ja tuotoksen kieliasuissa on pyritty huolellisuuteen ja selkeyteen. Kappaleet koottiin sopivan mittaisiksi ja loogisesti eteneviksi kokonaisuuksiksi. Sanavalinnoissa on huomioitu ymmärrettävyys, ja vaikka opinnäytetyö onkin kohdennettu rakennusalan ammattilaisille, ammattisanastoa käytettäessä käsitteet pyrittiin määrittelemään.

Opinnäytetyö eteni vuorovaikutussuhteessa, joten myös toteutuneen yhteistyön arviointi on huomioitava. Yhteistyöorganisaatioiden opinnäytetyöprosessissa mukana olleita edustajia pyrittiin pitämään ajan tasalla työn etenemisen suhteen. Vuorovaikutus yhteistyöorganisaatioiden edustajien ja opiskelijan välillä sekä asiantuntijahaastattelutilanteissa oli arvostavaa, ja työskentely eteni kiireistä ja aikataulujen yhteensovittamisen haasteista huolimatta pääosin positiivisessa yhteishengessä. Yhteistyöorganisaatioiden edustajien toivomuksia ja korjausehdotuksia pyrittiin kysymään ja huomioimaan, mutta yhteydenpito osoittautui haastavaksi erityisesti opiskelijan tiiviin aikataulun ja opinnäytetyöhön käytetyn ajan rajallisuuden vuoksi. Mikäli opinnäytetyön tekijä olisi käynnistänyt opinnäytetyöprosessin jo varhaisemmassa vaiheessa ja tiedottanut prosessin kuluista säännöllisemmin, olisi yhteistyöorganisaatioiden kokemusta, tietoa ja erilaisia näkökulmia voitu hyödyntää työskentelyssä huomattavasti nykyistä enemmän.

Erityisen oleellista on arvioida opinnäytetyön tuotoksen onnistumista. Kirjallisen ohjemateriaalin kokonaisuutta on mahdollista arvioida esimerkiksi sisällön, ulkoasun, kielen ja rakenteen näkökulmista. Sisällöltään tämän opinnäytetyön tuotos vastaa työelämän tarpeisiin ja se perustuu kirjallisuuskatsauksen ja asiantuntijahaastatteluiden pohjalta koottuun tietoon. Käytetyt lähteet on kuvattu tarkemmin tässä raportissa ja valmiissa tuotteessa. Tuotos on jokseenkin suppea, mutta toisaalta ohjeen laatimisessa pyrittiinkin nimenomaan *check list* -tyyppiseen tiivistettyyn ja nopealukaiseen lopputulokseen ja siihen, että sivuja ei olisi liian montaa, vaan ohje olisi kompakti ja helppokäyttöinen. Lopputuotoksen fonttikoko ja kirjasintyyppi valittiin siten, että ne tukevat luettavuutta. Sisältö etenee loogisessa järjestyksessä ja mukailee opinnäytetyöraporttia. Tummenukset ja väliotsikot tukevat luettavuutta, ja värejä käytettiin hillitysti. Tutkimusten mukaan värillisellä ohjeella on havaittu olevan mustavalkoista painavampi huomioarvo, joten värejä olisi voitu käyttää lopputuotoksessa nykyistäkin enemmän. Jälkikäteen ajatellen graafista ulkoasua olisi voitu hioa kiinnostavammaksi, ja esimerkiksi kuvien lisääminen lopputuotteeseen olisi todennäköisesti selkeyttänyt ohjeen tiedollista antia ja tukenut sen kiinnostavuutta.

Opinnäytetyöprosessin aikana erityisesti ajankäyttö koettiin haasteellisena. Työn toteuttamiseen olisi voitu käyttää enemmän aikaa jo keväällä ja alkusyksyllä, minkä myötä opinnäytetyön laatija olisi voinut paneutua tehtävään huolellisemmin. Siten työn palauttamiselle, viimeistelylle ja korjausehdotusten tiedustelulle olisi jäänyt enemmän kaivattua aikaa. Tiedonhaun, teoreettisten lähtökohtien ja haastattelujen toteuttamisen ja kuvaamisen voidaan kuitenkin katsoa onnistuneen hyvin, ja niihin käytettiin melko runsaasti aikaa. Lähestyvä valmistuminen ja nopea työelämään siirtyminen asettivat kuitenkin ajallista painetta opinnäytetyöraportin ja lopputuotoksen valmiiksi saattamiselle. Ajankäytön haasteista huolimatta opinnäytetyö kuitenkin palautettiin ennalta sovitun määräpäivään mennessä marraskuussa 2018, mikä toisaalta voidaan katsoa opinnäytetyöprosessin kannalta yhdeksi onnistumiseksi.

Opinnäytetyön vahvuksina voidaan pitää sen työelämlähtöisen, käytännön rakennusalan työnjohtajan työtä kehittävän aiheen lisäksi melko runsasta lähteistöä ja hiljais-ta tietoa kokoavia haastatteluja. Koko opinnäytetyöprosessi oli tekijälleen opettavainen kokemus. Joistakin kohdatuista haasteista ja jälkikäteen havaituista puutteista huolimatta opinnäytetyön laatija on pääosin tyytyväinen työskentelynsä, tuotokseensa ja toteutuneeseen yhteistyöhön. Työn voidaan ajatella tuottaneen konkreettista hyötyä toimeksiantajayritykselle, joten keskeisimmän tavoitteen voidaan ajatella toteutuneen.

## Lähteet

B4 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2000. Helsinki: Ympäristöministeriön asetus betonirakenteista. 5. [Viitattu: 29.10.2018]. <https://www.finlex.fi/data/normit/6364/B4.pdf>

Betoniteollisuus ry. 2018. Betonin ominaisuudet ja käyttö. [Viitattu: 25.10.2018]. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-ominaisuudet-ja-kaytto/>

Betoniteollisuus ry. 2018. Muottijärjestelmät. [Viitattu 26.10.2018] <http://www.valmisbetoni.fi/toteutus/muotit/Muottij%C3%A4rjestelm%C3%A4t>

Betoniteollisuus ry. 2018. Betonointi. [Viitattu: 26.10.2018]. <https://betoni.com/koti-betonista/rakennustapavaihtoehdot/paikallavalu/betonointi/>

Helin, K. 2007. Kun tiedostaminen ja oivallus kohtaavat. Työkirja pk-yrityksen hiljaisen tiedon jakamiseksi. Tampere: HyNä-hanke. 36.

Hytti, K. 2018 YIT Rakennus Oy. Rakennusalan työnjohtajan haastattelu. 31.10.2018.

Kanerva, J. 2018 YIT Rakennus Oy. Rakennusalan työnjohtajan haastattelu. 31.10.2018.

Kauranne, K. 1986. Kalliorakentaminen Suomessa. Helsinki: Rakentajain Kustannus Oy. 12-13.

Kivilaakso, E., Tarkkala J., Narvi S., Neuvonen, M., Mikkola, J., Hynynen, M-L. & Laaksonen, J-P. 2006. Maanalaisten toimintojen yleinen turvallisuusselvitys. Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto. 8, 17.

Lampi, J. 2017. Maanalainen rakentaminen rakennetun ympäristön täydentäjänä. Rakentajain kalenteri 2017. Rakennustietosäätiö RTS sr, Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry ja Rakennustieto Oy. 137.

Lehtinen, M., Nurmi, P. & Rämö, T. 1998. Suomen kallioperä: 3000 vuosimiljoonaa. Suomen Geologinen Seura ry. 95.

Lehtonen, J. 1986. Kalliorakentaminen Suomessa. Helsinki: Rakentajain Kustannus Oy. 140.

Lumme, P., Mattila, P., Vuorinen, P. & Ålander, C. 1996. Teollinen betonirakentaminen. Rakennustieto Oy. 90-91.

Moilanen, R., Tasala, M. & Virtainlahti, S. 2005. Hiljainen tieto näkyväksi. Helsinki: Edita Ilmarinen. 28.

Oksanen, J. 1986. Kalliorakentaminen Suomessa. Helsinki: Rakentajain Kustannus Oy. 13-14.

Ratu 0397, Lautamuottityö [Viitattu: 22.10.2018]. <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.metropolia.fi/resource/juha/content/17554#page=1>

Ratu 06-3023, Muottikaluston valinta ja käyttö [Viitattu: 22.10.2018]. <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.metropolia.fi/resource/juha/content/17700#page=1>

Ratu S-1234. 2017. Olosuhteiden vaikutus rakentamisessa [Viitattu: 23.10.2018]. <https://kortistot.rakennustieto.fi/resource/juha/content/22151#page=2>

Ritola, J. & Vuopio, J. 2002. Kalliotilojen vesitiiviiden hallinta. VTT. 11-14.

Roinisto, J. 2010. Kalliotilat kokemus - suunnittelu – toteutus. Helsinki: Artprint

RT 91-10655, Kalliotilat [Viitattu: 23.10.2018]. <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.metropolia.fi/resource/juha/content/2925#page=1>

Rönkä, K., Ritola, J., Rauhala, K. 1997. Maanalaiset tilat maankäytön suunnittelussa. Helsinki: Oy Edita Ab.

Salonen, K. 2013. Näkökulmia tutkimukselliseen ja toiminnalliseen opinnäytetyöhön. Turku. [Viitattu: 27.10.2018]. <http://julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522163738.pdf>

Suomen Betoniyhdistys ry. 2009. Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. 5. uudistettu painos. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy. 19.

Suomen Betoniyhdistys ry. 2013. Betonirakentamisen laatuohjeet 2013 by 47. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy. 96.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 1987. Kalliotilojen rakennusohjeet. Helsinki: 31.

Toom, A., Onnismaa, J. & Kajanto, A. 2008. Hiljainen tieto: tietämistä, toimimista, taitavuutta. Helsinki: Aikuiskasvatuksen tutkimusseura. 34-35.

Tuomi, J. & Sarajärvi, A. 2009. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. Helsinki: Tammi.

Vilka, H. & Airaksinen, T. 2003. Toiminnallinen opinnäytetyö. Jyväskylä: Gummerus.

Virtainlahti, S. 2009. Hiljaisen tietämyksen johtaminen. Helsinki: Talentum. 38-39.

YIT. 2018. Kalliorakentaminen ja kaivokset. [Viitattu 1.11.2018.]  
<https://www.yit.fi/infrapalvelut/kalliorakentaminen>

**Liite 1: Ohje työnjohtajalle**

**YIR**

**MAANALAINEN BETONIRAKENTAMINEN**

OHJE TYÖNJOHTAJALLE



---

## ALUKSI

---

- ✓ Rakentamisessa keskeisintä on huomioida työturvallisuus kaikissa työn vaiheissa, niin maan alla kuin sen pinnallakin
- ✓ Maanalainen betonirakentaminen kysyy työnjohtajalta ymmärrystä maan alla työskentelemisen erityispiirteistä ja olosuhteista
- ✓ Maan alle rakennettaessa on syytä kiinnittää huomioita asioihin, jotka eivät välttämättä vaadi samanlaista huomiointia maanpäällisissä rakennusprojekteissa

---

## SUOMEN KALLIOPERÄ

---

- ✓ Ota selvää seuraavista tekijöistä kalliorakenteen kestävyys ja mahdollisimman taloudellisen louhinnan takaamiseksi
  - Kallion räjäytettävyyteen vaikuttaa
    - kiven raemuoto
    - kallion liuskeisuus
  - Louhitun tilan tukemistarve riippuu
    - kallion jännitystilasta
    - pohjavesivirtauksista
    - rakojen tiheydestä
    - holvin suuntaan suhteessa olevien rakenteiden suunnista
    - rakotäytemineraaleista
- ✓ Kartoita ryöstöt eli ylilouhinta
- ✓ Ehkäise kivien sinkoutuminen, komuaminen ja niihin liittyvät tapaturmat
  - räjäytysten huolellinen suunnittelu ja varoalueet
  - huolellinen rusnaus rakenteen alueella ja ympäristössä heti räjäytyksen jälkeen
  - riittävä työnaikainen lujitus

---

# MAANALAISET OLOSUHTEET

---

## PIMEYS

- ✓ Huomioi riittävä valaistus työturvallisuuden ja työn laadun varmistamiseksi
  - natriumvalaisimet sopivat korkeisiin tiloihin
  - kohdevalaisevat LED-valomastot sopivat matalampiin tiloihin
  - henkilökohtaiset valaisimet ja suojaimet
    - kypärän otsalamppu
    - taskulamppu
    - heijastinliivi
- ✓ Muista, että pimeään työmaan valaiseminen edellyttää riittävää sähkövirtaa

## KOSTEUS JA VESI

- ✓ Huomioi maanalainen kosteus
  - sade- ja sulamisvesien ohjaus
  - rakenteiden eristäminen
  - salaojittaminen
- ✓ Huomioi vuotoveden ja porasoijan (eli lieju tai lerva) poisto
  - jatkuva veden pumppaus, tavallisimmin oppopumpuin
  - varmista varapumput mahdollisten toimintahäiriöiden varalle
  - tarvittaessa pumppauspäivystysten järjestäminen
  - kalliopintojen puhdistaminen porasoijasta ennen betonirakenteiden tekemistä

## LÄMPÖTILA

- ✓ Maanalainen lämpötila ei juurikaan vaihtele, eikä maan alla ole sääolosuhteita
- ✓ Pyri pitämään lämpö maan alla, jotta betonirakenteet eivät altistu pakkaselle
  - kuilujen huputtaminen
  - suuaukkojen peittäminen sääsuojin ja sääovin
- ✓ Huolehdi myös riittävästä pukeutumisesta ja asianmukaisista suojarusteista

## TILOJEN AHTAUS

- ✓ Pyri järjestämään mahdollisimman toimiva logistiikka
  - turhan tavaran varastoinnin välttäminen muutenkin ahtaalla työmaalla
  - rakennusjätteen riipeä siivoaminen roskalavoille

- roskalavojen tyhjennys heti niiden täytyttyä
- yhdessä ennalta sovitut alueet esimerkiksi raudoitteiden tai puutavaran sijoittamiseen
- ✓ Huomioi tilojen ahtaus myös työjärjestyksessä
  - varmista, ettei esimerkiksi mikään työväline jää loukkuun tiloja sulkevia rakenteita tehtäessä
  - rakenteiden tekeminen kannattaa usein aloittaa suuaukolta katsottuna kauimmaisesta päädyistä
    - esimerkiksi lattiavaluissa ei kannata suosia pitkiä linjavaluja
- ✓ Huomioi tilojen ahtaus sopivan nosto- ja betonointikaluston valinnassa
  - kalustoa tilattaessa ilmoita tilan korkeus
  - esimerkiksi HIAB-kuormausnostureita on mahdollista hyödyntää ahtaisakin tiloissa
- ✓ Kartoita pelastusjärjestelyt ja huolehdi poistumisteiden esteettömyydestä

---

## MAANALAISET BETONIRAKENTEET

---

- ✓ Huomioi, että kallionvastaiset seinät pyrkivät halkeilemaan normaaleja seiniä enemmän
  - ohjaussaumat

### BETONIMUOTIT

- ✓ Valitse sopiva muottikalusto
  - kallionvastaisissa rakenteissa tavallisimmin kappaletavarasta tehty puinen lauta- tai levymuotti, tai
  - järjestelmämuotti
    - vaatii riittävästi nostotilaa
    - edellyttää hyvää muottisuunnitelmaa ja mittamiehen tarkkuutta
    - kalliopintojen ja muotin liitoskohdat on kuitenkin tehtävä kappale-tavarasta
- ✓ Huomioi kalliopinnan eheyttäminen kalliota vasten rakennettavaa lautamuottia käytettäessä
  - ruiskubetonointi ja/tai
  - kalliopulttaus/-ankkurointi

## BETONIN VALINTA, RAUDOITUS JA BETONOINTI

- ✓ Varmista betonivalinta; betonin notkeus ja raekoko
  - betonimassan tulisi olla sellaista, joka voi täyttää kaikki kallion kolot
  - eri betonit sopivat erilaisiin rakenteisiin
- ✓ Huolehdi muottipintojen kastelusta tai öljyämisestä ennen betonoinnin aloittamista
- ✓ Varmista raudoituksen riittävä suojaetäisyys muotin pinnasta
- ✓ Huomioi betonimassan tiivistäminen
  - betonimassaa ei tule valaa liian korkealta etäisyydeltä tai
  - kerralla liian paksua kerrosta
  - sauvatäryttimen käyttö kohtisuorassa betonipintaan nähden
    - kallionvastaisissa rakenteissa edellyttää usein valuluukkuja
- ✓ Seuraa ja täydennä työmaan omaa betonisuunnitelmaa ja -pöytäkirjaa

---

## LOPUKSI

---

Vaikka maanalainen rakentaminen vaatii tiettyjen erityispiirteiden huolellista huomioonottoa, ei maanalaisia rakentamisolosuhteita kuitenkaan ole syytä pelästyä. Loppujen lopuksi maan alla rakentaminen on peruspiirteiltään varsin samanlaista kuin maanpäällisenkin rakentaminen. Kokeneempien kollegoiden neuvoa kannattaa kysyä rohkeasti.

*”Jos et ole ennen maan alla ollut, niin älä pelästy olosuhteita. Ei se ole sen kummallisempaa rakentamista sit kuitenkaan.”*

Jari Kanerva, vastaava työnjohtaja, YIT

## Lähteet

- B4 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2000. Helsinki: Ympäristöministeriön asetus betonirakenteista. 5. [Viitattu: 29.10.2018]. <https://www.finlex.fi/data/normit/6364/B4.pdf>
- Betoniteollisuus ry. 2018. Betonin ominaisuudet ja käyttö. [Viitattu: 25.10.2018]. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-ominaisuudet-ja-kaytto/>
- Betoniteollisuus ry. 2018. Muottijärjestelmät. [Viitattu 26.10.2018] <http://www.valmisbetoni.fi/toteutus/muotit/Muottij%C3%A4rjestelm%C3%A4t>
- Betoniteollisuus ry. 2018. Betonointi. [Viitattu: 26.10.2018]. <https://betoni.com/koti-betonista/rakennustapavaihtoehdot/paikallavalu/betonointi/>
- Hytti, K. 2018 YIT Rakennus Oy. Rakennusalan työnjohtajan haastattelu. 31.10.2018.
- Kanerva, J. 2018 YIT Rakennus Oy. Rakennusalan työnjohtajan haastattelu. 31.10.2018.
- Kauranne, K. 1986. Kalliorakentaminen Suomessa. Helsinki: Rakentajain Kustannus Oy. 12-13.
- Kivilaakso, E., Tarkkala J., Narvi S., Neuvonen, M., Mikkola, J., Hynynen, M-L. & Laaksonen, J-P. 2006. Maanalaisen toimintojen yleinen turvallisuusselvitys. Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto. 8, 17.
- Lampi, J. 2017. Maanalainen rakentaminen rakennetun ympäristön täydentäjänä. Rakentajain kalenteri 2017. Rakennustietosäätiö RTS sr, Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry ja Rakennustieto Oy. 137.
- Lehtinen, M., Nurmi, P. & Rämö, T. 1998. Suomen kallioperä: 3000 vuosimiljoonaa. Suomen Geologinen Seura ry. 95.
- Lehtonen, J. 1986. Kalliorakentaminen Suomessa. Helsinki: Rakentajain Kustannus Oy. 140.
- Lumme, P., Mattila, P., Vuorinen, P. & Ålander, C. 1996. Teollinen betonirakentaminen. Rakennustieto Oy. 90-91.
- Moilanen, R., Tasala, M. & Virtainlahti, S. 2005. Hiljainen tieto näkyväksi. Helsinki: Edita Ilmarinen. 28.
- Oksanen, J. 1986. Kalliorakentaminen Suomessa. Helsinki: Rakentajain Kustannus Oy. 13-14.
- Ratu 0397, Lautamuottityö [Viitattu: 22.10.2018]. <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.metropolia.fi/resource/juha/content/17554#page=1>
- Ratu 06-3023, Muottikaluston valinta ja käyttö [Viitattu: 22.10.2018]. <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.metropolia.fi/resource/juha/content/17700#page=1>
- Ratu S-1234. 2017. Olosuhteiden vaikutus rakentamisessa [Viitattu: 23.10.2018]. <https://kortistot.rakennustieto.fi/resource/juha/content/22151#page=2>
- Ritola, J. & Vuopio, J. 2002. Kalliotilojen vesitiiviyyden hallinta. VTT. 11-14.
- Roinisto, J. 2010. Kalliotilat kokemus - suunnittelu – toteutus. Helsinki: Artpoint
- RT 91-10655, Kalliotilat [Viitattu: 23.10.2018]. <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.metropolia.fi/resource/juha/content/2925#page=1>
- Rönkä, K., Ritola, J., Rauhala, K. 1997. Maanalaiset tilat maankäytön suunnittelussa. Helsinki: Oy Edita Ab.
- Suomen Betoniyhdistys ry. 2009. Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. 5. uudistettu painos. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy. 19.
- Suomen Betoniyhdistys ry. 2013. Betonirakentamisen laatuohjeet 2013 by 47. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy. 96.
- Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL r.y. 1987. Kalliotilojen rakennusohjeet. Helsinki: 31.
- YIT. 2018. Kalliorakentaminen ja kaivokset. [Viitattu 1.11.2018.] <https://www.yit.fi/infrapalvelut/kalliorakentaminen>

