

Hannu Häkkinen

# **Paikallavalurakenteiden erityispiirteet maanalaisen hankkeen sisävalmistusvaiheessa**

Opinnäytetyö

Kevät 2018

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: SeAMK Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Hannu Häkkinen

Työn nimi: Paikallavalurakenteiden erityispiirteet maanalaisen hankkeen sisävalmistusvaiheessa

Ohjaaja: Jorma Tuomisto

Vuosi: 2018

Sivumäärä: 43

---

Maanalainen rakentaminen pääkaupunkiseudulla on ollut kasvussa viime vuosina maanpäällisen rakennuskannan aiheuttamasta tilan puutteesta johtuen. Tilojen luonteesta tai käyttötarkoituksesta riippuen paikallavalurakentamista voi olla paljon.

Tämän työn tarkoituksena on tutkia maanalaisten tilojen ja erityisesti paikallavalurakentamiseen liittyviä erityistekijöitä ja tuottaa dokumentti, jota voidaan hyödyntää tarjousvaiheessa, hankinnassa sekä työn- ja työturvallisuuden suunnittelussa. Tätä varten eri menettelyjä tutkittiin usean maanalaisen projektin aikana. Näitä menettelyjä ja menetelmiä verrattiin sekä keskenään, että maan päällä käytössä olevien kanssa.

Työn tuloksena joidenkin menetelmien yksityiskohtiin haettiin vaihtoehtoja ja menetelmiä muutettiin. Samalla pystyttiin tunnistamaan projektista toiseen toistuvia erityispiirteitä, jotka tulee ottaa huomioon maanalaiseen hankkeen eri vaiheissa.

Avainsanat: maanalainen rakentaminen, paikallavalurakenteet,

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Hannu Häkkinen

Title of thesis: Characteristics of concrete constructions at an underground site

Supervisor: Jorma Tuomisto

Year: 2018

Number of pages: 43

---

Underground construction has been growing in Helsinki metropolitan area during the last few years because of the lack of free space on the ground. Considering the nature of the underground premises, the usage of concrete at an underground site can be fairly extensive.

The aim of this thesis was not to make a list of all the work phases at the underground site, but to pinpoint the characteristics involved in this kind of project and to create a checklist that can be used in procurement and when planning onsite procedures and safety. To do so it was necessary to study the used procedures at several ongoing underground sites and to compare these procedures with each other and also with the procedures that are used at the sites on the ground.

During the process of this thesis some details of certain procedures were rethought, and the characteristics that were repeating from project to project were identified so that they could be taken under a closer consideration in different phases at an underground site.

Keywords: underground construction, concrete construction

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ.....	2
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	5
1 JOHDANTO.....	7
2 OLOSUHTEET MAANALAISELLA TYÖMAALLA.....	8
2.1 Lämpötila.....	8
2.2 Kosteus.....	8
3 TYÖTURVALLISUUS.....	9
3.1 Räjätystyö.....	10
3.2 Putoamissuojaus ja telinetyöt.....	11
3.3 Paloturvallisuus.....	13
3.4 Ensiapu.....	14
3.5 Pelastautuminen.....	15
3.6 Liikenne.....	16
3.7 Vierailijat.....	16
4 TYÖMAATEKNIikka.....	17
4.1 Valaistus.....	17
4.2 Vesi.....	17
4.3 Ilmanvaihto.....	18
4.4 Lämmitys.....	18
5 LOGISTIIKKA.....	19
6 SUUNNITTELU JA TYÖJÄRJESTYS.....	21
7 LOUHINTA.....	22
7.1 Tärinä ja raja-arvot.....	22
7.2 Poraus-räjätys-menetelmä.....	22
7.3 Kallion ja kiven rikkominen hydraulisella iskuvasaralla.....	23
7.4 Kallion ja kiven rikkominen hydraulisella kiilalla.....	23
7.5 Etanadynamiitti.....	23

8	KALLION LUJITUS .....	25
8.1	Kalliopultitus .....	25
8.2	Ruiskubetonointi.....	26
9	MUOTTITYÖT.....	29
9.1	Järjestelmämuotit .....	29
9.2	Muottityöt kappaletavarasta .....	30
9.3	Holvimuottityöt.....	32
10	RAUDOITUSTYÖT .....	33
11	BETONOINTI.....	36
11.1	Betonin rasitusluokat .....	36
11.2	Betonointi maanalaisissa tiloissa .....	39
12	YHTEENVETO.....	42
13	LÄHTEET.....	43

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Työtunnelin sisäänkäynti.....	19
Kuva 2. Riittävästi tilaa, muun muassa kurottajan käytölle .....	20
Kuva 3. Ajoneuvoliikenne mahdotonta.....	20
Kuva 4. Kallion lujitusta sekä pulttaamalla että ruiskubetonoimalla .....	25
Kuva 5. Kuivaseosmenetelmään tarvittavaa kalustoa. Samaa laitteistoa voidaan käyttää myös märkäseosmenetelmässä. (Petrow 2014.).....	26
Kuva 6. Esimerkki märkäseosmenetelmään käytettävästä kalustosta. (Petrow 2014.).....	27
Kuva 7. Kalliopinta salaojitettu ja verkotettu ruiskubetonointia varten.....	28
Kuva 8. Doka Frami Xlife järjestelmäasteikko. (Doka 2018.) .....	30
Kuva 9. Seinämuotti kappaletavarasta.....	31
Kuva 10. VSS-rakenteen raudoitus on valmis ja laudoitus aloitettu .....	31
Kuva 11. Pysäköintihallin holvimuottityö käynnissä .....	32
Kuva 12. VSS-rakenteiden raudoitusta .....	33
Kuva 13. Pysäköintihallin raudoituksia ja jännepunoksia .....	34
Kuva 14. Pysäköintihallin jälkijännitettyä holvia .....	35
Kuva 15. Yksinkertaistettu valintakaavio rasitusluokille X0, XC, XD, XS ja XF. (BY 68 2016.).....	36
Kuva 16. Holvin valu käynnissä .....	40
Kuva 17. Hinattava pumppu käytössä ahtaimmissa paikoissa.....	40
Kuva 18. VSS-rakenteita.....	41

Taulukko 1. Usein esiintyviä rasitusluokkayhdistelmiä.....	38
--	----

# 1 JOHDANTO

Kaupunkialueiden ja kasvukeskuksien maanalainen rakentaminen on lisääntynyt johtuen maanpäällisen, olemassa olevan rakennuskannan aiheuttamasta tilan puutteesta. Maan alle sijoitettavia tiloja voivat olla esimerkiksi erilaiset liikenneväylät, väestönsuojat ja pysäköintilaitokset. Maanalainen rakentaminen poikkeaa jonkin verran maanpäällisestä rakentamisesta ja tässä insinööriyössä onkin tarkoitus tarkastella näitä erityispiirteitä ja tuottaa dokumentti, jota voidaan hyödyntää sekä tarjousvaiheessa, että työsuunnittelussa.

Tässä työssä on käytetty esimerkkeinä kokemuksia aikaisemmista maanalaisista projekteista, joissa insinööriyön tekijä on toiminut työnjohtajana ja työsuojelupäällikkönä. Työ perustuu paljolti tekijänsä omiin kokemuksiin ja havaintoihin, mutta myös haastatteluihin ja keskusteluihin, joita käytiin projektissa erinäisissä tehtävissä mukana olleiden kanssa. Kokemusta työn tekijällä on kertynyt paikallavalurakentamiseen liittyen rakennusmiehen ja rakennusammattimiehen tehtävistä vuosituhannen vaihteen alkupuolelta vuoteen 2010, jonka jälkeen insinööriyön tekijä on toiminut työmailla työnjohtotehtävissä.

Sisävalmistusvaiheen alkaessa louhintaurakoitsija on yleensä tehnyt pääosan louhinnasta ja kallion lujituksesta, joten en käsittele niitä tässä työssä koko laajuudessaan. Myöskään esi- tai jälki-injektointia ei tässä työssä erityisemmin käsitellä.



## 2 OLOSUHTEET MAANALAISILLA TYÖMAALLA

### 2.1 Lämpötila

Ulkopuolella vallitsevat sääolosuhteet eivät suoraan pääse vaikuttamaan maanalaisiin tiloihin, vaan lämpötila on lähes vakio vuodenajasta riippumatta. Talvella ilmanvaihto on pidettävä hallinnassa, sillä kylmä ilma pyrkii laskeutumaan alaspäin, maanalaisiin tiloihin ja lämmin ilma nousemaan ylöspäin. Tämä johtaa kaikkien pystykuilujen, ajotunnelien ja työtunnelien sekä kaikkien muiden maanpinnalle yhteydessä olevien suuaukkojen suojaamiseen ja eristämiseen, sekä lämmittimien käyttöön liikennöidyillä suuaukoilla ja kulkuväylillä.

### 2.2 Kosteus

Kosteus ja vesi ovat yleensä aina läsnä maanalaisia tiloja rakennettaessa. Pohjaveden lisäksi maanalaisiin tiloihin voi päästä valumaan sadevettä kuilujen ja tunnelien suuaukkojen kautta, mikä aiheuttaa jatkuvan pumppauksen tarpeen työmaalla tulvimisen välttämiseksi. Vuotovedet kerääntyvät työmaalla syvimpiin kohtiin, mistä seuraa ongelmia varsinkin perustusvaiheessa, kun anturapohjat täyttyvät vedellä. Kivipöly ja vesi yhdessä muodostavat liejua, joka sotkee kalliopintoja perustusten alla, kalliotartuntoja ja raudoituksia, sekä kuormittaa tai jopa särkee oppopumppuja.

### 3 TYÖTURVALLISUUS

Suomessa työsuojelutoiminnan perustana on työturvallisuuslaki (738/2002). Tämän lisäksi, työturvallisuuslain nojalla, on annettu valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta, joka sisältää rakennusalaan koskevia määräyksiä. (Hietavirta ym. 2015, 8.)

Soveltamisala valtioneuvoston asetukselle rakennustyön turvallisuudesta määritellään seuraavasti:

Tätä asetusta sovelletaan maan alla ja päällä sekä vedessä tapahtuvaan rakennuksen ja muun rakennelman uudis- ja korjausrakentamiseen ja kunnossapitoon sekä näihin liittyvään asennustyöhön, purkamiseen, maa- ja vesirakentamiseen sekä rakentamista koskevaan suunnitteluun. Lisäksi asetusta sovelletaan näitä töitä koskevan rakennushankkeen valmisteluun ja suunnitteluun. (A 205/2009, 1 §.)

Työturvallisuus on tämän päivän rakennustyömaalla olennainen osa työskentelyä. Työsuojelun toteuttaminen aloitetaan ennen rakennustöitä tekemällä työmaata koskeva riskikartoitus ja turvallisuusohje tai -suunnitelma. Rakennusurakan alkaessa työmaalle valitaan lain edellyttämä työsuojelupäällikkö, jonka tehtävänä on työsuojelutoiminnan käynnistäminen ja ylläpitäminen, sekä työntekijöiden keskuudesta työsuojeluvaltuutettu, joka toimii työntekijöiden yhteysmiehenä työsuojeluun liittyvissä asioissa. Jokainen työmaalle tuleva työntekijä käy läpi työmaakohtaisen perehdyttämisen, jossa työmaa ja toteuttava organisaatio esitellään ja työturvallisuuden pelisäännöt erityistekijöineen kerrataan.

Seuraavissa kohdissa on tarkasteltu ongelmakohtia liittyen työturvallisuuden toteuttamiseen maanalaisessa hankkeessa.

### 3.1 Räjätystyö

A 644/2011, 3 § Turvallisuussuunnitelma.

Työnantajan on räjäytys- ja louhintatyötä varten tehtävä työturvallisuuslain (738/2002) 10 §:n 1 momentissa tarkoitetun työn ja työympäristön vaarojen selvittämisen ja arvioinnin perusteella työpaikka- ja työvaihekohtaisesti tarkentuva kirjallinen turvallisuussuunnitelma.

A 644/2011, 4 § Turvallisuussuunnitelman toteuttaminen ja seuranta.

Turvallisuussuunnitelma ja siihen sisältyvät ohjeet on tehtävä ymmärrettävässä muodossa ja käsiteltävä asianomaisten työntekijöiden kanssa. Ohjeiden tulee olla niiden työntekijöiden saatavilla ja ymmärrettävissä, joita asia koskee. Työnantajan on ennen uuden työn tai työvaiheen alkua varmistettava, että työntekijä osaa noudattaa ohjeita.

Turvallisuussuunnitelman toteutumista tulee jatkuvasti seurata ja arvioida. Suunnitelma on pidettävä ajan tasalla.

Eriyistä tapaturman tai sairastumisen vaaraa aiheuttavaa työtä tai työvaihetta ei saa aloittaa ennen asianomaisen työnjohdon antamaa nimenomaista työmääräystä, jossa määritellään työn edellyttämät turvallisuustoimenpiteet.

A 644/2011, 5 § Räjätystysuunnittelu

Panostajan on tehtävä räjäytettävästä kentästä tai muusta räjäytyskohdeesta kirjallinen räjäytystysuunnitelma, joka sisältää tiedot porauksesta, räjähteestä ja sen määrästä, panostamisesta, sytytyksestä ja sytytysjärjestyksestä, peittämisestä, räjäytysajankohdasta, vaarallisesta alueesta ja varmistustoimenpiteistä sekä muista räjäyttämisen turvallisuuteen vaikuttavista tekijöistä.

Työn aikana havaituista turvallisuuteen vaikuttavista tekijöistä on tehtävä muutokset räjäytystysuunnitelmaan ja ilmoitettava niistä välittömästi asianomaisille työntekijöille.

Jos syystä tai toisesta rakennusurakan aikana joudutaan tekemään lisälouhintoja, olisi mahdollisuuksien mukaan käytettävä joitain muita menetelmiä kuin räjähteillä tapahtuvaa louhintaa. Räjähdytystyön turvallisuusriskejä aiheuttavat muun muassa räjäytyksestä aiheutuva ilmanpaine, räjäytyskaasut, pöly sekä kivenheitto, eli räjäytyshetkellä hallitsemattomasti lentävä kiviaines.

Räjähdyksen ajaksi luolasto on tyhjennettävä henkilöstöstä ja pidettävä tyhjennettynä, kunnes vaaralliset räjäytyskaasut sekä pöly on saatu tuuletettua työmaalta pois.

Räjähdyksen jälkeen räjäytystyön johtajan tehtävä on määrittää, milloin alueelle on turvallista mennä. Jos alueelle jää räjähtämättömiä panoksia, on ne purettava välittömästi. Mikäli niitä ei ole mahdollista purkaa heti, tulee tästä aiheutuva vaara, sekä tarvittavat toimenpiteet arvioida tapauskohtaisesti. (Vuolio & Halonen 2010, 430-431.)

Räjähdyksen jälkeen tila rusnataan, eli kalliopinnoilta poistetaan mahdollinen irtonainen kiviaines. Tarvittaessa tila lujitetaan kalliopultituksilla ja ruiskubetonoimalla. (Vuolio & Halonen 2010, 39-40.)

### **3.2 Putoamissuojaus ja telinetyöt**

Määräys putoamissuojauksesta valtioneuvoston asetuksen mukaisesti:

Sellaisten työtasojen ja kulkuteiden vapailta sivuilla, joilta voidaan pudota kahta metriä korkeammalta, sekä muulloinkin, milloin on olemassa erityinen tapaturman tai hukkumisen vaara, on oltava suojakaiteet tai suojarakenteet. Telineiden työtasot on varustettava kaiteilla, jos putoamiskorkeus on yli 2 metriä. Tehtäessä valutöitä yli 2 metrin korkeudella siirrettävän muotin yläreunasta, valua varten on järjestettävä kaitein suojattu työtasot. Portaat ja porrastasot on vapailta sivuiltaan varustettava koko pituudeltaan suojakaiteilla. Portaat, joissa ei tarvita suojakaidetta, on tarvittaessa varustettava erillisellä käsijohteella. (A 205/2009, 28 §.)

Työtelineitä koskeva määräys valtioneuvoston asetuksen mukaisesti:

Työntekijöille on järjestettävä tarpeelliset työ- ja suojatelineet kaikissa sellaisissa töissä, joita ei voida muuten turvallisesti tehdä.

Telineet on suunniteltava ja rakennettava siten, että niillä on riittävä lujuus, jäykkyys ja seisontavakavuus kaikissa pystytys- ja purkuvaiheissa sekä telineen käytön aikana. Telineet on perustettava siten, ettei haitallisia painumia ja siirtymiä synny. Telineissä on oltava asianmukaiset ja turvalliset työtasot ja kulkutiet.

Telineen lujuus osoitetaan riittäväksi standardien, elementtelineiden käyttöohjeiden tai muiden vastaavien asiakirjojen sisältämien kokonais- tai osaratkaisujen perusteella. Jos tällaisia kokonais- tai osaratkaisuja ei käytetä, on oltava asiantuntijan laatimat telineiden ja kulkurakenteiden lujuuslaskelmat ja piirustukset. Telineet ja niihin liittyvät laitteet on asennettava ja niitä on käytettävä suunnitelmien mukaisesti.

Telineiden suurin sallittu kuorma on ilmoitettava telineitä käyttäville esimerkiksi telinekortilla tai muulla vastaavalla tavalla. (A 205/2009, 51 §.)

Putoamissuojaukseen liittyvät vaarat ovat aika lailla samoja kuin maanpäällisessäkin hankkeessa. Telineitä voi, rakennettavasta kohteesta riippuen, olla paljon. Niistä merkittävimpänä ovat yleensä luolastoihin louhitut pystykuilut ja niiden telineet, jotka voivat olla useita kymmeniä metrejä korkeita. Luolastossa tilojen muoto voi asettaa haasteita moduulimittaisille telineosille ja tästä syystä tärkeimpien paikkojen telinetyöt tulisi suunnitella hyvin, jotta samoilta telineiltä voidaan tehdä useamman työvaiheen työt mahdollisimman vähillä muutoksilla ja ennen kaikkea mahdollisimman turvallisesti.

Putoamissuojauksen on oltava kaikissa vaiheissa täydellinen. Mikäli putoamista ei voida kaitein tai suojarakentein paikallisesti estää, on käytettävä muita keinoja, kuten esimerkiksi turvavaljaita.

### 3.3 Paloturvallisuus

Palovaaran torjunnasta määrätään valtioneuvoston asetuksessa muun muassa seuraavaa:

Rakennustyömaa ja rakennustyö tulee järjestää siten, että tulipalon vaara ennalta ehkäistään. Työjätteet ja muut työn kannalta tarpeettomat rakennustarvikkeet ja aineet, jotka voivat syttyä, on poistettava. (A 205/2009, 72 §.)

Rakennustyömaalla on oltava asianmukaiset palonsammutus- ja palohälytysvälineet sekä turvallisuuskilvet. Tarvittaessa vaarojen arvioinnin perusteella on selvitettävä, onko rakennustyömaalle hankittava palonhavaitsemislaitteet. Alkusammutuskaluston on oltava helposti käyttöön otettavissa. (A 205/2009, 72 §.)

Tulipalo maanalaisissa tiloissa on aina vakava turvallisuusriski. Varsinkin rakennusvaiheessa, jolloin lopullisia sammutus- ja tuuletusjärjestelmiä ei ole käytettävissä, eivätkä hätäpoistumistiet ole välttämättä valmiita, paloturvallisuuteen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Sammutuskalustoa on varattava työmaan kokoon nähden riittävästi ja kalusto tulee sijoittaa ja merkitä näkyvästi siten, että sen käyttöönotto on tulipalotilanteessa helppoa ja nopeaa. Lisäksi kaikki ajoneuvot, jotka liikkuvat työmaalla, tulisi varustaa sammuttimin tai sammutusjärjestelmin.

Palokuormaa työmaalle tulee suuria määriä muun muassa betonimuottikalustona käytetystä puutavarasta, sekä erilaisista pakkausmateriaaleista, jolloin jätehuollon toimivuus korostuu. Lisäksi työkoneiden polttoainesäiliöiden sijoitus tulee suunnitella huolellisesti ja tankkauspisteet tulee mahdollisuuksien mukaan järjestää ulkotiloihin. Palokuormaa syntyy myös erilaisista ajoneuvoista ja tästä syystä tulee välttää kaikkea ylimääräistä liikennettä maanalaiselle työmaalle.

### 3.4 Ensiapu

Ensiavusta ja pelastusvälineistä määrätään seuraavaa:

Rakennustyössä on oltava tarvittavat ensiapuvälineet ja tarpeellinen määrä ensiavun antamiseen perehdytettyjä henkilöitä. Ensiapuun tarkoitettu tila tulee sijoittaa siten, että siihen voidaan tarvittaessa helposti päästä paarien kanssa.

Ensiapuvälineiden riittävyys ja ominaisuudet sekä niiden säilytyspaikka on järjestettävä tapaturman tai sairastumisen varalta sekä seurattava niiden asianmukaisuutta. (A 205/2009, 74 §.)

Tämän lisäksi:

Erityisiä tapaturmavaaroja sisältävässä työssä on työntekijällä oltava tarvittavan ensiavun nopean saamisen varmistamiseksi näkö- ja kuulo-yhteys toiseen henkilöön joko jatkuvasti tai säännöllisesti toistuvien lyhyin väliajoin. Yhteydenpito voidaan järjestää myös viestintälaitteita käyttäen. (A 205/2009, 74 §.)

Määräysten mukaan työpaikalle on työn luonteen, olosuhteiden ja työntekijöiden lukumäärän sitä edellyttäessä nimettävä riittävä henkilöstö työmaan ensiapu- ja pelastustoimia varten. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että osa työntekijöistä ja työnjohdosta on saanut ensiapukoulutuksen ja että työmaalla on henkilöstön määrään nähden käytössä riittävä määrä oikeanlaisia ensiaputarvikkeita.

Koska työmaatukikohta on yleensä sijoitettu maan päälle ja matka työmaalta tukikohta-alueelle voi olla pitkäkin, on ensiapuvalmiutta syytä parantaa sijoittamalla ensiaputarvikkeita sopivin välein työmaalle. Ensiaputarvikkeiden sijainti tulisi merkitä työmaalla selvästi, jotta mahdollisen työtapaturman sattuessa se voidaan paikantaa nopeasti. Kiinteät, esimerkiksi luolan seinään kiinnitetyt ensiapupisteet olisi hyvä merkitä myös työmaan aluesuunnitelmaan, mistä niiden sijainti on helppo opetella muistamaan.

Avun hälyttäminen maanalaiselle työmaalle voi olla vaikeampaa kuin maanpäällisessä kohteessa johtuen paksusta kalliopeitteestä, joka ei yleensä päästä matkapuhelimen signaalia läpi. Tällöin avun hälyttäminen on suunniteltava muulla tavalla. Insinööriyön tekijä on ollut mukana hankkeissa, joissa luolastoihin oli sijoitettuna signaalinvahvistimia, joilla matkapuhelimen kuuluvuutta saatiin tuotua osaan maanalaisista tiloista.

Avun saaminen nopeasti tapahtumapaikalle on myös äärimmäisen tärkeää. Rakennettavasta kohteesta riippuen maanalaiset tilat voivat olla monimuotoisia, laajalle alalle levittäytyneitä tiloja, joita pelastushenkilökunta ei todennäköisesti tunne en-tuudestaan. Tällöin on huolehdittava, että pelastuslaitoksen käyttöön on hätätilanteessa saatavissa riittävä opastus joko kartan tai opastajan muodossa. Insinööriyön tekijä on ollut osallisena kohteissa, joissa tätä mahdollista pelastustoimintaa pyrittiin helpottamaan pitämällä kokouksia sekä työmaakierroksia pelastuslaitoksen kanssa ja järjestämällä pelastushenkilökunnan käyttöön työmaan karttoja, joihin tärkeimmät kulkureitit olivat selvästi merkittynä.

### **3.5 Pelastautuminen**

Vaaratilanteissa työntekijöiden on voitava poistua nopeasti ja mahdollisimman turvallisesti kaikista työpisteistä. Poistumis- ja pelastautumisreitit on pidettävä esteettöminä ja niiden on johdettava turvalliselle alueelle mahdollisimman suoraan. Uloskäytävien ja kulkureittien ovien tulee olla hätätilanteessa helposti avattavia.

Hätätilanteissa käytettävät uloskäytävät ja kulkureitit on tarvittaessa osoitettava asianmukaisin merkinnöin. (A 205/2009, 73 §.)

Työmaan pelastussuunnitelman tekemisen taustalla on tavoite saada työmaan oman henkilöstön toimin ja viranomaistoimin vähennettyä tapaturmia ja muita vaaratilanteita sekä normaalioloissa että poikkeusoloissa. Pelastussuunnitelmassa tulee olla yleisohjeistuksen lisäksi konkreettisia ohjeita siitä, kuinka juuri sillä kyseisellä työmaalla tulee poikkeustilanteessa toimia. Tärkeintä pelastussuunnitelmassa ei siis ole sen kirjallinen osuus, vaan nimenomaan se, että työmaan henkilöstö tietää



kuinka toimia vaaratilanteessa. Tästä syystä myös itse pelastautumista olisi hyvä harjoitella, varsinkin, jos kyseessä on hyvin monimuotoinen tai sokkeloinen tila. Ainoastaan harjoittelemalla saadaan toiminta poikkeusoloissa mahdollisimman tehokkaaksi. Tämä asia on syytä huomioida varsinkin silloin, jos työmaan henkilöstön vaihtuvuus on suuri.

### **3.6 Liikenne**

Jalankulkijoille ja tavaraliikenteelle tarkoitettuja kulkuteitä järjestettäessä on otettava huomioon käyttäjien määrä ja toiminnan luonne. Ajoneuvoliikenteelle tarkoitettujen ajotiet on järjestettävä siten, että näkemät ovat riittävät. (A 205/2009, 25 §.)

Maanalaisiin tiloihin tuodut ajoneuvot voivat aiheuttaa työturvallisuusriskin muille tiloissa työskenteleville, tuottavat pakokaasua sekä tuovat palokuormaa tiloihin. Tästä syystä ajoneuvoliikennettä maanalaisiin tiloihin tulee välttää. Tämä ei kuitenkaan ole aina mahdollista.

Maanalaisten tilojen muodosta sekä päivänvalon puutteesta johtuen riittävän näkemän järjestäminen ajoneuvoliikenteelle voi olla haastavaa. Tällöin ajonopeudet sovitetaan riittävän alhaiseksi. Ajoneuvoliikennettä voidaan mahdollisuuksien mukaan ohjata myös liikennevaloilla ja automatiikalla, liikennemerkein tai henkilöopastuksen keinoin.

### **3.7 Vierailijat**

Työmaan vierailijat perehdytetään työmaan oloihin riittävällä tavalla. Jos on syytä epäillä, että vierailija ei tunne työmaan olosuhteita, tai ei tiedä miten toimitaan vaaratilanteessa, on hänen mukaansa järjestettävä saattaja. Pakolliset henkilökohtaiset suojarusteet tulee löytyä myös vierailijoilta.

## 4 TYÖMAATEKNIikka

### 4.1 Valaistus

Päivänvalon puute tekee maanalaisesta työmaasta pimeään, minkä vuoksi valaisimien käyttö on pakollista kaikkina vuodenaikoina. Yleisvalaistus on yksinkertaisinta järjestää erilaisin ketjutettavien valaisimien avulla, joista osan on hyvä olla omalla virtalähteellä varustettuja mahdollisten sähkökatkosten varalta. Rakennustöiden edetessä sisätilat voivat muuttua sokkeloisemmaksi, jolloin yleisvalaistuksen uudelleensijoittelua voidaan joutua tekemään useaan kertaan. Työpisteissä, joissa yleisvalaistus ei ole riittävä, käytetään lisäksi suunnattavia kohdevalaisimia. Näiden lisäksi jokaisen maanalaisissa tiloissa työskentelevän henkilökohtaiseen varustukseen tulee kuulua käsivalaisin.

Maanalaisen kohteen valaistus on syytä huomioida jo tarjousvaiheessa. Laaja-alaisen, monimuotoisen tilan yleisvalaistuksen tarvikkeet, rakentaminen ja ylläpito voivat muodostaa merkittäviä kustannuksia.

### 4.2 Vesi

Vettä maanalaisella työmaalla on jossain muodossa käytännössä aina. Vettä tulee työmaalle pohjaveden valuessa kallionraoista sekä mahdollisina valumina suuaukoilta ja kuilujen yläpäistä. Jatkuva veden ulospumppauksen järjestäminen on siis välttämätöntä. Pumppaus voidaan järjestää esimerkiksi siirtämällä pienemmillä uppopumpuilla vesi työpisteiltä työtunnelin alapäähän lietealtaaseen, josta se nostetaan isommalla pumpulla maan pinnalle. Työpisteillä käytettävä pumppauskalusto siirtyy töiden edetessä.

Veden pumppaukseen tarvittavaa kalustoa voidaan, rakennettavasta kohteesta ja veden tulosta riippuen, tarvita paljon. Kaluston huolto, sekä pumppauksen ja pumpulinjojen ylläpito sitoo resursseja.

Ilman kosteus voi muodostua ongelmaksi varsinkin kohteen loppuvaiheessa, jolloin esimerkiksi erinäisten maalien ja muiden pinnoitteiden kiinnittyvyys voi heikentyä. Tällöin ilman kosteutta hallitaan tarvittaessa erilaisilla kosteudenpoistajilla.

### **4.3 Ilmanvaihto**

Ilmanvaihdon tarve on työmaakohtainen, riippuen kohteen muodosta ja yhteyksistä maan pinnalle sekä työmaan sisällä olevien työvaiheiden ja työkonoiden aiheuttamasta pölystä ja pakokaasusta. Happipitoisuus hengitysilmassa on oltava minimissään 18 %, mikä voidaan tarvittaessa todeta erilaisilla mittalaitteilla. Mikäli ilma ei riittävästi vaihdu suuaukkojen tai kuilujen kautta painovoimaisesti, on työmaalle järjestettävä tarvittava ilmanvaihto.

### **4.4 Lämmitys**

Maanalaisen sijainnin puolesta olosuhteet paikallavalurakentamiselle ovat yleensä hyvät, lämpötilan ollessa vuodenajasta riippumatta 6-12 celsiusasteen välissä, jolloin varsinaista lämmitystä ei tarvita. Talvella kylmä ilma laskeutuu maanalaiselle työmaalle lähinnä erilaisten avoimien suuaukkojen ja pystykuilujen kautta. Tätä kylmän ilman liikettä voidaan hallita esimerkiksi puhaltamalla lämmintä ilmaa työmaan sisältä kohti avoinna olevaa ajotunnelin tai kuilun suuaukkoa. Kohteesta ja sääoloista riippuen, näiden puhaltimien polttoaineen kulutus voi olla merkittävä ja pitkäkestoisen työmaan aikana muodostaa merkittäviä kustannuksia.

## 5 LOGISTIIKKA



Kuva 1. Työtunnelin sisäänkäynti

### Toimitukset / kuormien purku

Logistiikan toimivuus korostuu maan alle mentäessä. Varsinkin jos kohteeseen ei ole tavaraliikenteelle käytettävissä kuin yksi ajoväylä, kannattaa toimitukset jaksottaa niin, että hallitsemattomalla ajoneuvoliikenteellä ei saada koko työmaata jumiin. (Kuva 1.) Hyväksi havaittuja käytäntöjä logistisesti haastavilla työmailla on ollut esimerkiksi sähköisen logistiikkakalenterin käyttö, johon toimituksen vastaanottaja varaa itselleen toimitusajan, purkupaikan, sekä purkuun tarvittavan kaluston ja henkilöstön.

Alla, kuvissa 2 ja 3, kaksi esimerkkiä mahdollisesti käytettävissä olevasta tilasta.



Kuva 2. Riittävästi tilaa, muun muassa kurottajan käytölle



Kuva 3. Ajoneuvoliikenne mahdotonta

## 6 SUUNNITTELU JA TYÖJÄRJESTYS

Hyvä suunnittelu on tärkeätä maanalaisessa rakentamisessa. On äärimmäisen tärkeää, että suunnittelu on riittävästi edellä varsinaisia rakennustöitä, jotta töitä pystytään suunnitelmallisesti ja järjestelmällisesti viemään eteenpäin. Riittämätön suunnittelun taso ei jätä tarpeeksi aikaa reagoida mahdollisiin ongelmiin, joita työmaalla töiden edetessä kohdataan, mikä taas tuo vain lisää paineita jo valmiiksi tiukkaan aikatauluun. Riittämättömän suunnittelun vuoksi työjärjestystä joudutaan koko ajan muuttamaan, mistä voi seurata työn tehottomuutta sekä lisä- ja muutostöitä. Tehottomuudesta, sekä lisä- ja muutostöistä voi taas seurata viiveitä aikatauluun, sekä merkittäviä lisäkustannuksia.

Työjärjestys on hyvä suunnitella maanalaisessa kohteessa siten, että työt päästään toteuttamaan järjestyksessä perimmäisestä nurkasta aloittaen. Tällöin vältytään ns. ”umpiperältä”, jossa jokin tietty rakenne jää tekemättä ja jonka tekeminen voi olla jälkeenpäin äärimmäisen vaikeaa ja kallista. Kun urakoitsijalla on käytössään riittävät suunnitelmat rakenteista, työn suunnittelu ja aikatauluttaminen helpottuvat, mahdolliset materiaalilaukset voidaan tehdä hyvissä ajoin, sekä mahdollisten seuraavien työvaiheiden, erityisesti talotekniikka-asennusten, aloitus sekä eteneminen voidaan suunnitella hallitusti.

Joidenkin tehtävien aloittaminen voi olla riippuvainen toisen tehtävän valmiusasteesta tai valmistumisesta. Nämä riippuvuudet on hyvä selvittää, sillä ne voivat määrätä tai vaikuttaa tehtävien väliseen työjärjestykseen. (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus. 2011, 81.)

## 7 LOUHINTA

### 7.1 Tärinä ja raja-arvot

Tukholmassa 1940 ja 1950-luvuilla tehtyjen mittauksien tulosten pohjalta luotiin perusta myös Suomessa käytettäviin mittausmenetelmiin ja raja-arvoihin. Tehdyssä tutkimuksessa tultiin siihen tulokseen, että paras tapa kuvata tärinän voimakkuutta on mitata heilahdusnopeutta ( $v$ ), mm/s. Tähän tutkimukseen perustuu myös nykyisin Suomessa käytössä oleva mittausmenetelmä, ns. kolmekomponenttimittaus. (Vuolio & Halonen 2017, 163-167.)

Louhintapaikan ympäristö ja ympäristössä olevat rakenteet ja rakennukset, sekä mahdolliset tärinälle erityisen herkäät laitteet asettavat käytännön rajoitukset käytettäville louhintamenetelmille. Jos herkkiä laitteita joudutaan tärinäeristämään tai kuljettamaan pois louhintapaikan läheisyydestä tai jos muutoin ympäristön toiminnot, kuten esimerkiksi sairaalan läheisyys, asettavat erityisvaatimuksia ja jos työmaalla tapahtuva louhinta on pääasiassa kovaksi jääneiden paikallisten kohtien louhintaa, räjäyttämällä tapahtuva louhinta ei ehkä ole kustannustehokkainta. Lisäksi työmaa on aina räjäytysten ajaksi tyhjennettävä, sekä räjäytyksen jälkeen tuuletettava, jolloin tuotanto voi olla pysähdyksissä pitkiäkin aikoja. (Vuolio & Halonen 2017, 161-171.)

Myös muut työvaiheet voivat olla tärinää aiheuttavien töiden esteenä ja toisinpäin. Tärinä voi aiheuttaa kovettumisen alkuvaiheessa betonirakenteissa ja kalliopulttitusten juotoslaastissa halkeamia sekä betoniterästen ja kalliopulttien heikentynyttä tartuntaa. (RIL 253-2010 2010, 27-29.)

### 7.2 Poraus-räjäytys-menetelmä

Räjäyttäminen on yleisesti ottaen paras keino suomalaisen kovan peruskallion rikkomiseen. Käytettävä porauskalusto, sekä räjähteet määritellään louhittavan alan mukaan tapauskohtaisesti, mutta karkeasti työvaiheet etenevät järjestyksessä:

- Määritetään reikäsyvyys tai katkon pituus, sekä reiän halkaisija ja porataan reiät räjäytettävään kohtaan
- panostetaan porareivät räjähdysaineella ja peitetään mikäli tarpeellista
- räjäytetään kenttä
- tuuletetaan louhittava tila
- kuljetetaan irtolouhe pois
- rusnataan, eli poistetaan kalliopinnoilta irtonainen kiviaines
- tehdään tarvittavat lujitus- ja injektointityöt. (Vuolio & Halonen 2010, 26, 217.)

### **7.3 Kallion ja kiven rikkominen hydraulisella iskuvasaralla**

Louhintatöihin soveltuva hydraulinen iskuvasara on yleensä asennettu kaivinkoneen puomiin. Vasara käyttää kaivinkoneen hydraulijärjestelmää. Kiveä rikkova elementti vasarassa on sen terä, johon laitteen sisällä oleva mäntä iskee. Menetelmä soveltuu pienempiin louhintakohteisiin ja esimerkiksi kohteisiin, joissa on rikkonaista kalliota. Rajoittavia tekijöitä maanalaisessa kohteessa voivat olla tilojen muoto ja koko, sekä vasaroimisesta aiheutuva värinä. (Vuolio & Halonen 2010, 413-414.)

### **7.4 Kallion ja kiven rikkominen hydraulisella kiilalla**

Kalliota tai kiveä voi rikkoa myös kiilaamalla. Kiilaa varten kallioon tai kiveen porataan reikä. Reiän halkaisijan ja syvyyden määrää käytettävä kiilatyypin. Hydraulinen paine puristaa kiilamaista mäntää eteenpäin, joka pakottaa kiilakenkiä avautumaan sivusuuntaan. Kiilakenkien avautumisesta aiheutuva jännitys halkaisee kiven. Menetelmä sopii, muun muassa vähäisen värinän vuoksi, hyvin kohteisiin, joissa esimerkiksi räjäyttäminen ei ole mahdollista. (Vuolio & Halonen 2010, 414.)

### **7.5 Etanadynamiitti**

Etanadynamiitin toiminta perustuu paisuvaan massaun, ja sen luomaan paineeseen, joka halkaisee kiven. Etanadynamiitti tarvitsee kohtalaisen tihein välein olevat



porausreiät, johon massa kaadetaan. Murtumiseen tarvittava aika voi vaihdella muutamasta tunnista muutamaan päivään, riippuen valmistajasta sekä olosuhteista. Etanadynamiitin etuja on muun muassa, että se on lähestulkoon tärinätöntä, eikä vaadi käyttäjältään mitään lupia.

## 8 KALLION LUJITUS

### 8.1 Kalliopultitus



Kuva 4. Kallion lujitusta sekä pulttaamalla että ruiskubetonoimalla

Kalliota lujitetaan ennen louhinnan aloitusta, jolloin tehdään suunnittelijan määrittelemiін kohtiin ennakkopultitus. Ennakkopultitus voidaan tehdä esimerkiksi työtunnelin tai kuilun suuaukoille. Tällä estetään aukkojen reunoilla tapahtuvat sortumat.

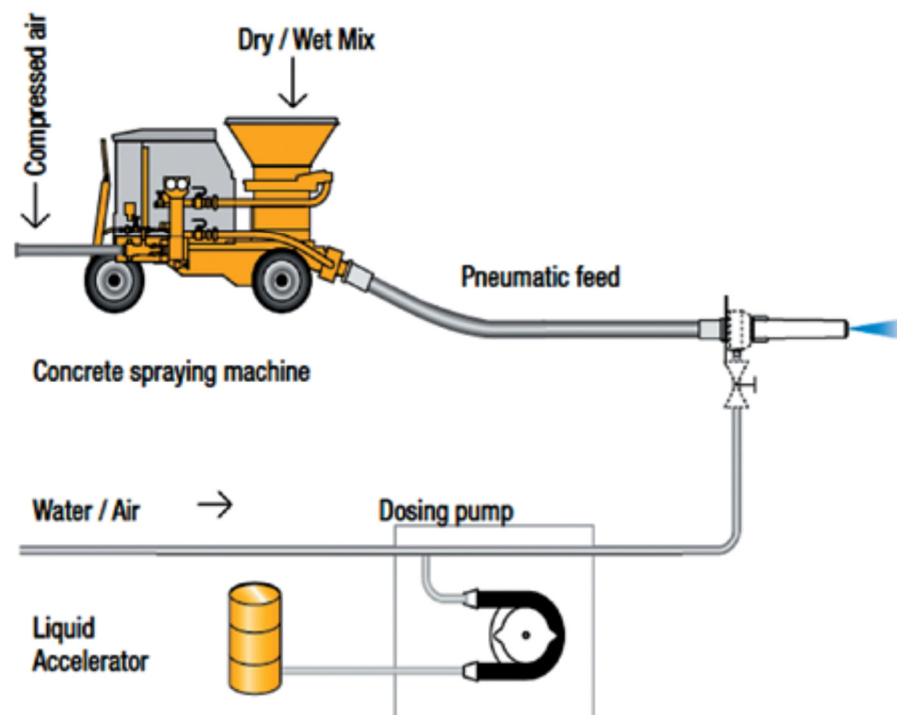
Tunnelin louhinnan edetessä tehdään, tarpeen mukaan, työnaikaista pultitusta. Tarve työnaikaisille pultituksille tulee, kun on epäily kallion pysyvyydestä ja louhintatöiden jatkaminen sitä vaatii. Työnaikainen pultitus voi joissain tapauksissa jäädä myös lopulliseksi. Tämän hyväksyy suunnittelija.

Louhintatöiden jälkeen tilaan tehdään vielä lopullinen pultitus erillisen suunnitelman mukaisesti. Yleisin Suomessa lopulliseen lujitukseen käytetty pultti on juotettu harjateräspultti. (RIL 266-2014 2014, 7-9.)

## 8.2 Ruiskubetonointi

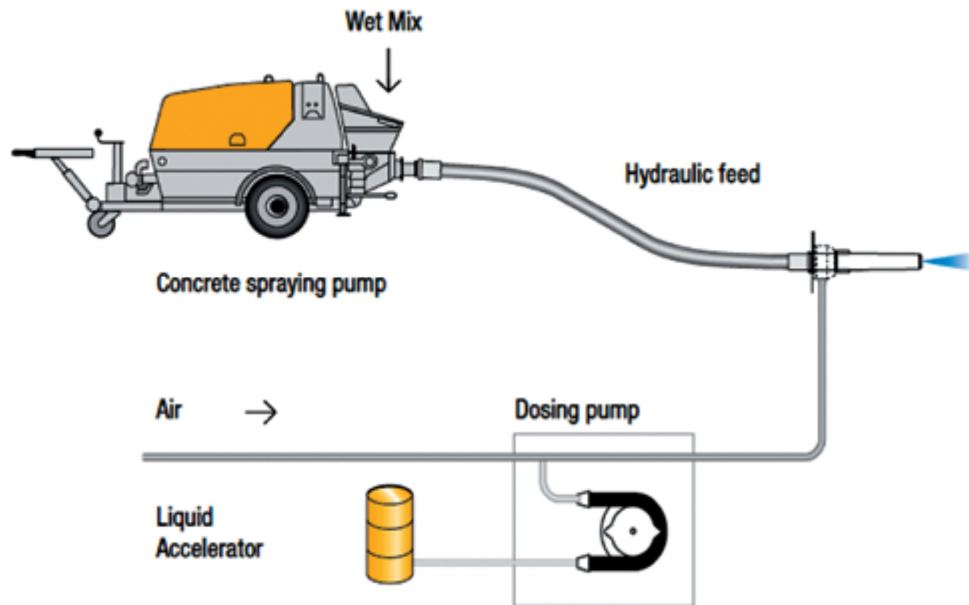
Ruiskubetonointimenetelmiä ovat kuivaseosmenetelmä ja märkäseosmenetelmä.

Kuivaseosmenetelmässä paineilmalla johdetaan letkua pitkin sementin ja runkoai-  
neen seos ruiskusuuttimeen, jossa siihen sekoitetaan vesi ennen ruiskuttamista be-  
tonoitavaan kohteeseen. (Petrow 2014.)



Kuva 5. Kuivaseosmenetelmään tarvittavaa kalustoa. Samaa laitteistoa voidaan käyttää myös märkäseosmenetelmässä. (Petrow 2014.)

Märkäseosmenetelmässä vesi, sementti ja runkoaine sekoitetaan valmiiksi massaksi, jonka jälkeen massa pumpataan letkua pitkin ruiskusuuttimelle, josta se paineilman avulla ruiskutetaan betonoitavaan kohteeseen. (Petrow 2014.)



Kuva 6. Esimerkki märkäseosmenetelmään käytettävästä kalustosta. (Petrow 2014.)

Ruiskubetonia käytetään maanalaisissa tiloissa kalliopulttusten tapaan lujituksena. Ruiskubetonilla saadaan sidottua kalliopintojen irrallinen tai rikkonainen kiviaines kiinni niin, että se ei pääse putoamaan. Molemmissa menetelmissä lisäaineena voidaan käyttää esimerkiksi kiihdytintä, jolla betonin sitoutumisaikaa saadaan nopeutettua ja näin ollen odotusajat jäävät lyhyemmiksi. Molemmissa menetelmissä voidaan myös käyttää kuituja, joilla varsinaisen raudoituksen tarvetta kohteessa voidaan vähentää. (Petrow 2014.)

Suurin osa ruiskubetonoinnista on yleensä sisävalmistusvaiheen alkaessa tehty, mutta esimerkiksi paine- tai kaasurakenteiden ympäristö, sekä muiden betonirakenteiden, joiden rakenteellinen toimivuus vaatii paljasta kalliopintaa vasten valamisen, tulevat tehtäviksi vasta näiden rakenteiden valmistuttua.



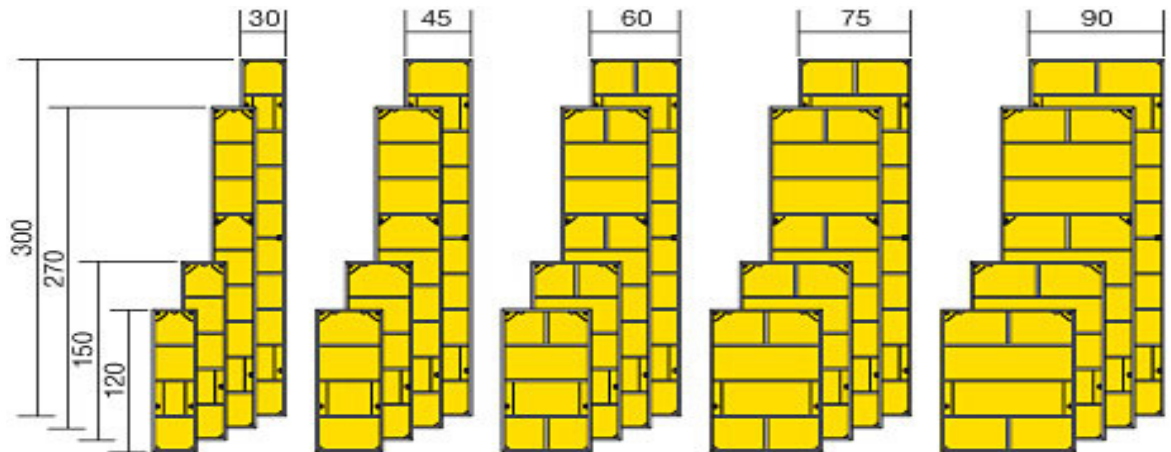
Kuva 7. Kalliopinta salaojitettu ja verkotettu ruiskubetonointia varten

## 9 MUOTTITYÖT

Muottityöt tulisi suunnitella hyvin maanalaisessa kohteessa. Suunnittelulla saadaan muottikierto toimimaan sujuvasti ja ylimääräinen kalusto saadaan pidettyä pois työmaalta. Jälleen kerran, maanalaisen tilan muoto asettaa rajoitteita käytettävälle muottikalustolle. Vaikka suurimpia rakenteita voitaisiinkin tehdä esimerkiksi järjestelmämuotein, liitokset kallioon ovat usein tehtävä kappaletavarasta kalliopinnan epätasaisuuden vuoksi. Muottikasetit tarvitsevat tilaa huolto- ja puhdistusta varten. Toisaalta taas puutavara- ja vanerimuoteista tulee paljon jätettä, joka on saatava työpisteiltä tavalla tai toisella pois.

### 9.1 Järjestelmämuotit

Mikäli työmaalla on rakenne, jonka muottityössä on paljon toistuvuutta, voi järjestelmämuottien käyttö olla perusteltua. Tällä tavoin voidaan päästä nopeampaan muottikiertoon. Järjestelmämuottien huolto, varastointi sekä muottikierrosta aiheutuvat siirrot voivat kuitenkin muodostua ongelmaksi ahtaissa tiloissa. Markkinoilla on tosin liikkeellä myös kevytrunkoisia, käsin liikuteltavia järjestelmämuotteja, jotka eivät yksittäisinä osina välttämättä vaadi konenostoja. Muottien valinta on kuitenkin työmaakohtaista. (BY 201 2011, 211-226.)



Kuva 8. Doka Frami Xlife järjestelmäasteikko. (Doka 2018.)

## 9.2 Muottityöt kappaletavarasta

Maanalaisissa tiloissa kappaletavarasta tehtäväksi jää yleensä vähintään rakenteiden, kuten anturoiden sekä seinien ja kallion väliset liitokset. Samoin holvimuottien reuna-alueiden muottilevyt on leikattava kallion pinnan muotojen mukaan.

Voi olla myös rakenteita, jotka ovat sijaintinsa puolesta niin vaikeassa paikassa, että muottitarvikkeiden paikalle vieminen koneellisesti on vaikeaa tai jopa mahdotonta. Tällöin muotit voidaan tehdä kappaletavarasta.

Anturat ovat myös usein kallionvaraisia koko matkaltaan, jolloin lauta- tai vanerimuottien teko on perusteltua. Samoin rakenteissa, jotka ovat seinäpinta-alaltaan pieniä ja rajoittuvat joka sivultaan kallioon, kappaletavaramuotit voivat olla paras vaihtoehto.

Tähän muottikaluston valintaan voi vaikuttaa myös suunnitelma-asiakirjoissa määritelly näkyviin jäävä pinta, joka voi olla esimerkiksi pystysuuntainen lautakuviointi.

Kappaletavaramuotteja käytettäessä jätehuollon toimivuus korostuu. Muotin puurista tulee reilusti puujätettä, joka olisi hyvä saada mahdollisimman pian pois työpisteeltä. (BY 201 2011, 211-226.)



Kuva 9. Seinämuotti kappaletavarasta



Kuva 10. VSS-rakenteen raudoitus on valmis ja laudoitus aloitettu



### 9.3 Holvimuottityöt

Holvimuotin tekemiseen on olemassa erilaisia vaihtoehtoja. Holvimuotti voidaan tehdä pöytämuoteilla tai kasettimuoteilla jotka voivat tosin vaatia koneellisia siirtoja ja joiden työstettävyys epätasaisilla reuna-alueilla ei ole kovin hyvä. Holvimuotin voi tehdä myös kokonaan kappaletavarasta. Tällöin muotin tuenta täytyy jollain tavalla mitoittaa. Muottitoimittajilla on myös erilaisia muottijärjestelmiä holvin muottitöitä varten. Tällaisia ovat esimerkiksi oheisessa kuvassa näkyvä järjestelmä, jossa yksittäisten asennustukien päällä on palkkirunko sekä palkkirungon päällä vanerilevy muottipintana. Tällainen muottijärjestelmä on myös hyvin muotoiltavissa epätasaisen kallioreunojen mukaan, tosin muottilevyjä joudutaan paljon sahaamaan ja näin ollen muottijärjestelmän toimittajalta lunastamaan. (BY 201 2011, 211-226.)



Kuva 11. Pysäköintihallin holvimuottityö käynnissä

## 10 RAUDOITUSTYÖT

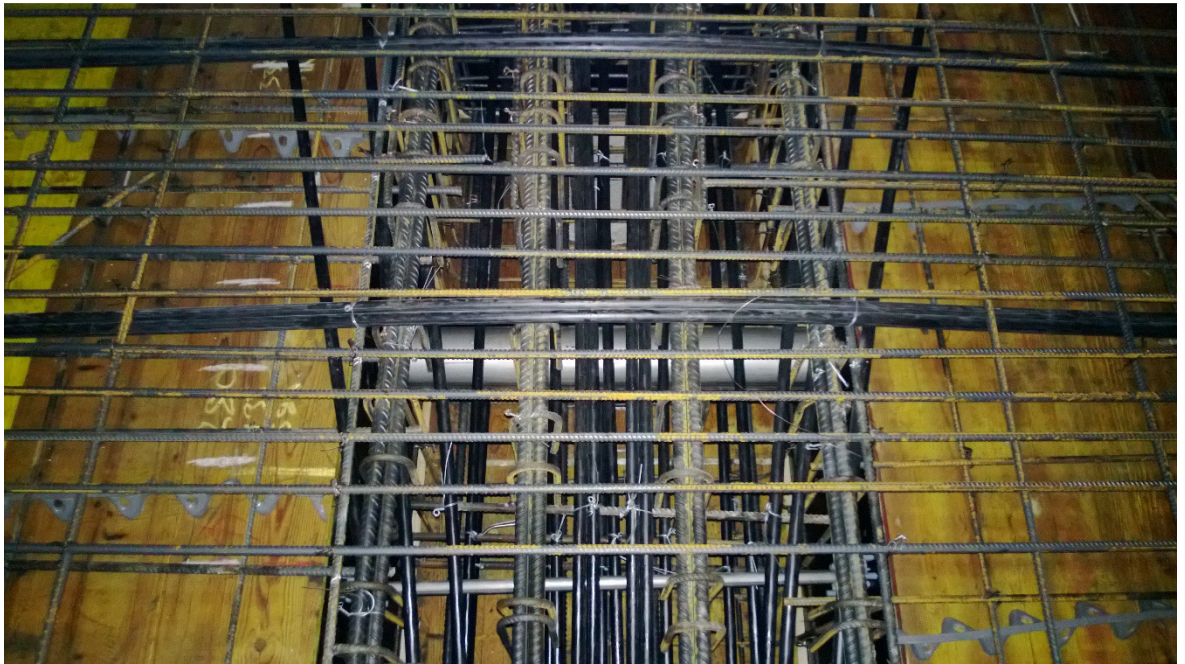
Betoni yksistään kestää melko hyvin puristusta. Mitoittamalla ja lisäämällä siihen raudoitus, saadaan rakenteen veto- ja leikkauslujuutta parannettua huomattavasti. Näin ollen oikein mitoitettulla rakenteella saadaan esimerkiksi jännevälejä kasvatettua huomattavasti. (BY 201 2011, 243.)

Teräsbetonirakenteen mitoituksen tekee rakennesuunnittelija, joka mitoituksen pohjalta piirtää rakenteesta rakennesuunnitelman. Suunnitelmissa esitetään muun muassa käytettävät teräslaadut ja tankokoot, raudoitteiden sijainti ja jatkospituudet sekä suojapeitteen paksuus. Teräsbetonirakenteen toimivuuden kannalta on tärkeää, että rakenne valmistetaan suunnitelma-asiakirjojen mukaan. Rakennesuunnittelija tekee yleensä myös raudoituksen valmistuttua erillisen tarkastuksen, jossa raudoituksen suunnitelmanmukaisuus todetaan, kirjataan ja rakenteen betonointi voidaan aloittaa. (BY 201 2011, 250-256.)

Raudoitteet voidaan valmistaa pitkistä tangoista leikkaamalla ja taivuttamalla kokonaan työmaalla, tai tilata ne valmiina osina tehtaalta. Työmaan tilan tarve, sekä raudoitettavan rakenteen erityispiirteet huomioon ottaen, osan raudoitteista voi jättää työmaalla valmistettavaksi ja osa tilataan tehtaalta. (BY 65 2016, 58-59.)



Kuva 12. VSS-rakenteiden raudoitusta



Kuva 13. Pysäköintihallin raudoituksia ja jännepunoksia

Perinteisen raudoituksen lisäksi, rakenteen toiminnan tai käyttötarkoituksen niin vaatiessa, rakenteet voidaan tehdä myös jälkijännitettyinä. Tällaiset rakenteet voivat olla esimerkiksi pysäköintihallien holvit. Rakennesuunnittelija määrittää käytettävien jänneiden tyypit ja ominaisuudet, sekä jännitysvoiman. Jännepunokset asennetaan rakennesuunnitelmassa esitetystä järjestyksessä. Punoksien ankkureina voi olla esimerkiksi erilaiset passiiviankkurit, jotka jäävät rakenteen sisään valun jälkeen, sekä aktiiviankkurit jotka jäävät betonoidun rakenteen reuna-alueille näkyviin. Kun rakenne on saavuttanut rakennesuunnittelijan määrittämän riittävän lujuuden valun jälkeen, punokset jännitetään aktiiviankkuripäistä jännittämiseen tarkoitetulla tunnikilla ja punosten venymä mitataan ja merkitään pöytäkirjaan. Rakennesuunnittelija tarkastaa pöytäkirjan, hyväksyy venymät sekä antaa luvan punosten häntien katkaisuun. Tämän jälkeen punosvaraus valetaan täyteen esimerkiksi juotosbetonilla ja muotit voidaan yleensä purkaa. (BY 65 2016, 81-86.)

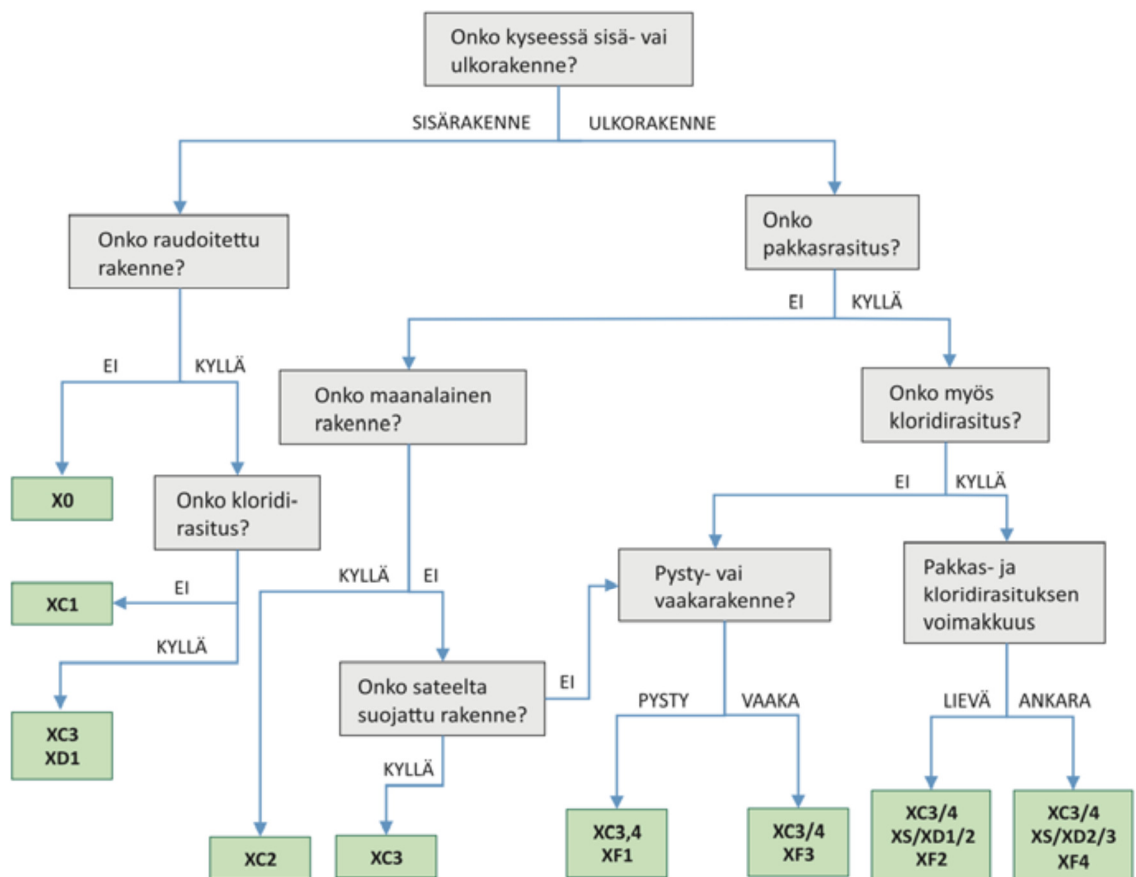


Kuva 14. Pysäköintihallin jälkijännitettyä holvia

## 11 BETONOINTI

### 11.1 Betonin rasitusluokat

Rakennesuunnittelija määrittelee käyttöön tulevan rakenteen ympäristössä vallitsevat olosuhteet, joille rakenne tulee valmistuttuaan altistumaan. Olosuhteiden perusteella suunnittelija valitsee käytettävän betonin rasitusluokat. Tällä menettelyllä vältetään rakenteiden ylimitoitusta, joka voi heikentää betonin muita ominaisuuksia ja lisätä rakentamiskustannuksia. (BY 68 2016, 13.)



Kuva 15. Yksinkertaistettu valintakaavio rasitusluokille X0, XC, XD, XS ja XF. (BY 68 2016.)

Betonirakenteiden rasitusluokat ovat X0, XC, XD, XS, XF ja XA. Alla lyhyt kuvaus luokista.

Rakenteet, joiden käyttöikään ympäristöolosuhteet, kuten kastuminen tai jäätyminen, eivät pääse vaikuttamaan, voidaan suunnitella luokkaan XC0. (BY 68 2016, 13.)

Luokkaan XC suunnitellut rakenteet ovat alttiina karbonatisoitumisen vaikutuksista aiheutuvalle raudoituksen korroosiolle. Sementin ja veden välisen reaktion, hydrataation, synnyttämä kalsiumhydroksidi tekee betonista emäksistä. Emäksisyys auttaa terästä muodostamaan pinnalleen oksidikalvon, joka suojaa terästä korroosiolta. Karbonatisoituessaan betonin pH-arvo laskee ilman hiilidioksidin vaikutuksesta ja raudoituksen kemiallinen suoja häviää. Korroosio on mahdollinen, kun karbonatisoitunut vyöhyke ylittää raudoitteisiin asti. (BY 68 2016, 13-14.)

Kloridien aiheuttamalle korroosioriskille altistuvat rakenteet suunnitellaan luokkiin XD ja XS. Vaikka edellä mainittu karbonatisoituminen ei vielä raudoitteiden kemialliseen suojaan haitallisesti vaikuttaisikaan, kloridit voivat rakenteeseen tunkeutua käynnistää raudoitusten korroosion. Esimerkiksi tiesuoloille tai muille jäänsulatusaineille altistuvat sekä muun muassa uimahallin sisärakenteet kuuluvat luokkaan XD. Meriveden läheisyydessä tai kosketuksessa olevat rakenteet kuuluvat rasitusluokkaan XS. (BY 68 2016, 18-19.)

Rakenteet, jotka ovat alttiina jäätymiselle ja sulamiselle, sekä samaan aikaan mahdollisesti myös jäänsulatusaineille, suunnitellaan rasitusluokkaan XF. (BY 68 2016, 20-21.)

Rasitusluokkaan XA kuuluvat erilaisille kemiallisille yhdisteille altistuvat, esimerkiksi tuotantolaitoksen sisätiloissa olevat betonirakenteet. (BY 68 2016, 23-25.)

Rakenteen sijainnin ja käyttötarkoituksen perusteella voidaan määritellä rakenteeseen kohdistuvat rasitukset ja näin ollen myös rasitusluokat. Rakenne voi kuulua useampaan rasitusluokkaan, jolloin muodostuu rasitusluokkayhdistelmä. (BY 68 2016, 29.)

Oheisessa taulukossa esimerkkejä useasti esiintyvistä rasitusluokkayhdistelmistä.

Taulukko 1. Usein esiintyviä rasitusluokkayhdistelmiä. (BY 68 2016, 31.)

Rasitusluokka-yhdistelmä	Selite
X0	Raudoittamattomat rakenteen kuivissa sisätiloissa
XC1	Raudoitetut rakenteet kuivissa sisätiloissa
XC2	Maanalaiset rakenteet, rakenne pysyy erittäin kosteana
XC3	Sateelta suojattu ulkorakenne, ei pakkasrasitusta (kosteuspitoisuus alhainen)
XC3; XF1	Sateelta suojattu pystyrakenne, pakkasrasitus
XC3,4; XF1	Osittain sateelta suojattu pystyrakenne, pakkasrasitus
XC3,4, XF3	Sateelta osittain tai kokonaan suojaamaton vaakarakenne, pakkasrasitus
XC4, XF3	Sateelle altis suojaamaton vaakarakenne, pakkasrasitus
XC3; XD1	Kloridirasitetut rakenteet sisätiloissa
XC3; XF2; XD1	Sateelta suojattu, sateelta suojaamaton tai osittain sateelta suojattu rakenne, kloridirasitus ja lievä pakkas-suolarasitus. XD-luokka on vaativampi kuin XC-luokka ja siten XC-luokalla ei ole merkitystä
XC4; XF2; XD1	
XC3,4; XF2; XD1	
XC3; XF4; XD2	Sateelta suojattu, sateelta suojaamaton tai osittain sateelta suojattu rakenne, kloridirasitus ja ankara pakkas-suolarasitus. XD-luokka on vaativampi kuin XC-luokka ja siten XC-luokalla ei ole käytännössä merkitystä
XC4; XF4; XD2	
XC3,4; XF4; XD2	
XC2; XS2	Merivedenalainen rakenne
XC3,4; XF4; XS3	Merenrannalla, roiskevyöhykkeessä oleva rakenne

Kun raudoitustyö ja mahdollinen jännepunosten asennus on suunnittelijan toimesta tarkastettu ja hyväksytty, sekä muottityöt ovat valmistuneet, voidaan rakenteen betonointi aloittaa. Betonoinnista tehdään betonointisuunnitelma, missä työn kannalta keskeisimmät asiat ja vastuuhenkilöt käydään läpi. Rakennesuunnittelija määrittelee betonimassan ominaisuudet suunnitelma-asiakirjoissa ja mahdolliset muutokset massan ominaisuuksiin on hyväksyttävä suunnittelijalla. (BY 201 2011, 209-211.)

## 11.2 Betonointi maanalaisissa tiloissa

Betonimassan kuljetuskaluston valintaan vaikuttaa betonin ominaisuudet ja ennen kaikkea työmaan ominaisuudet. Maanalaisella työmaalla voi olla rajoitteita esimerkiksi ajoneuvojen korkeuteen, tai betonipumpun jakelupuomin avautumiseen liittyen. (BY 201 2011, 306-307.)

Mikäli autobetonipumppu tai sekoitussäiliöauto eivät mahdu ajamaan betonoitavan rakenteen lähelle, voidaan betonimassa kuljettaa kohteeseen muilla keinoilla. Tällaisia keinoja ovat esimerkiksi erilaiset hinattavat pumpput, johon betonimassa kuljetetaan sekoitussäiliöautoa pienemmällä dumperilla. Maanlaiseen tilaan on mahdollista myös rakentaa erillinen linjapumppausjärjestelmä. Tässä järjestelmässä betonimassa kuljetetaan pumppaamalla se maan pinnalta tunnelin sisälle rakennettua linjastoa pitkin kohteeseen. (BY 201 2011, 312-316.)

Betonointi suoritetaan kuljettamalla betonimassa muottiin tasaisina kerroksina ja tiivistämällä valettu kerros kohteeseen soveltuvalla täryttimellä. Betonointinopeus, valukerroksen korkeus, sekä tärytysaika määräytyvät betonoitavan kohteen ja betonimassan ominaisuuksien mukaan. (By 65 2016, 70-71.)

Maanalaisella työmaalla voi tilojen muodosta johtuen olla paljonkin rakenteita, jotka rajoittuvat joka sivultaan kalliopintoihin. Tällöin valutyö joudutaan tekemään painevaluna. Painevalussa betonimassa pumpataan muottiin kiinnitetyn valuyhteen läpi muotin sisälle ja tiivistetään muottiin jätettyjen tärytysaukkojen kautta tai muotitärytintä käyttäen.

Betonin lujuudenkehitystä voidaan arvioida laskemalla. Tähän arvioon vaikuttaa betonirakenteen sisälämpötila sekä betonin ominaisuudet. Sisälämpötilaa voidaan mitata tavallisin mittarein, tai erilaisten tallentimien avulla, jotka tallentavat betonin lämpötilan automaattisesti tietyin väliajoin. Rakenteen lujuudenkehitystä seuraamalla saadaan selville muun muassa jälkijännitettävien rakenteiden punoksien jännityshetki, sekä kantavien ja massiivisten rakenteiden muottien purkuajankohta. (BY 201 2011, 350-356.)





Kuva 16. Holvin valu käynnissä



Kuva 17. Hinattava pumppu käytössä ahtaimmissa paikoissa



Kuva 18. VSS-rakenteita

## 12 YHTEENVETO

Tässä työssä tehtävänäni oli siis selvittää maanalaiseen paikallavalurakentamiseen liittyviä erityispiirteitä. Rakentaminen maan alla poikkeaa jonkin verran maan päällä tehtävästä työstä. Tilojen muodot ja olosuhteet asettavat omat haasteensa työskentelyyn. Toisaalta taas osa olosuhde-eroista voidaan kääntää jopa eduksi, koska muun muassa vuodenajan vaihtelut eivät juuri suoraan vaikuta maanalaisiin tiloihin.

Käytettävät työtekniikat ja työkalut ovat pääpiirteittäin samanlaisia kuin maanpäälläkin, joskin jälleen kerran tilat itsessään voivat asettaa rajoituksia esimerkiksi betonipumpun koolle. Tämä tulee selvittää tapauskohtaisesti.

Työvaiheiden oikea järjestys korostuu maanalaisia tiloja rakennettaessa. Järjestelmällisesti etenevä hanke on selkeämpi johtaa, logistiikkaan liittyvät asiat ovat paremmin ennakoitavissa, sekä työturvallisuuden varmistaminen helpompaa. Yleensä järjestelmällisesti etenevä hanke vaikuttaa myös positiivisesti työmaan tulokseen.

Näitä erityispiirteitä maanalaiseen hankkeeseen lähdetessä on syytä puntaroida. Tällä tavoin voidaan kohteen erityispiirteiden tuomiin poikkeaviin kustannuksiin ainakin varautua, sekä luodaan edellytykset saattaa hanke loppuun tehokkaasti ja turvallisesti.

## 13 LÄHTEET

Hietavirta, J., Hokkanen, J., Niskanen, T., Patrikainen, H. & Päivärinta, K. 2015. Rakennustöiden turvallisuusmääräykset selityksineen 2015. 1. p. Vantaa: Rakennusalan kustantajat RAK.

A 205/2009. Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta.

Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus. 2011. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Vuolio, R. & Halonen, T. 2017. Räjätysopas. 4. p. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RIL 253-2010. Rakentamisen aiheuttamat tärinät. 2010. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu – opas suunnittelijoille 2016. 2016. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Vuolio, R. & Halonen, T. 2010. Räjätystyöt. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.

A 644/2011. Valtioneuvoston asetus räjäytys- ja louhintatyön turvallisuudesta.

RIL 266-2014. Kalliopultitusohje. 2014. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Petrow, S. 2014. Ruiskubetonointi ja sen mahdollisuudet. [Verkkolehtiartikkeli]. Betoni-lehti. [Viitattu 17.2.2018]. Saatavana: [http://betoni.com/wp-content/uploads/2015/08/BET1404\\_30-37.pdf](http://betoni.com/wp-content/uploads/2015/08/BET1404_30-37.pdf)

Doka. 9.2.2018. [Verkkosivu]. Selki. [Viitattu 9.2.2018]. Saatavana: <https://www.doka.com/fi/system-groups/doka-wall-systems/framed-formwork/frami-xlife/index>

BY 201 Betonitekniikan oppikirja. 2011. 6. p. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

BY 65 Betoninormit 2016. 2. p. Helsinki: BY-Koulutus Oy.