



TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA

Rakennustekniikka

Ympäristörakentaminen

INSINÖÖRITYÖ

MAANALAISEN BETONIRAKENTAMISEN ERITYISPIIRTEET

Työn tekijä: Tommi Ryöppö
Työn valvoja: Tapio Siirto
Työn ohjaaja: Pekka Grönlund

Työ hyväksytty: __. __. 2007

Tapio Siirto
Lehtori



TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Tommi Ryyppö	
Työn nimi: Maanalaisen betonirakentamisen erityispiirteet	
Päivämäärä: 18.4.2007	Sivumäärä: 38 s. + 2 liitettä
Koulutusohjelma: Rakennustekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Ympäristörakentaminen
Työn valvoja: Tapio Siirto, Lehtori	
Työn ohjaaja: Pekka Grönlund, Kehityspäällikkö	
<p>Tässä insinööryössä tutkittiin maanalaisen betonirakentamisen erityispiirteitä. Eli asioita jotka poikkeavat maan päällisestä betonirakentamisesta ja vaikuttavat ratkaisevasti tuotannon onnistumiseen. Nämä asiat ovat tuotannossa mukana olevien toimihenkilöiden tiedossa. Maanalaisissa tiloissa yleistä ruiskubetonointia ei käsitellä tässä työssä.</p> <p>Maanalaisen betonirakentamisen erityispiirteitä kartoitettiin yrityksen 9 toimihenkilöltä. Työkokemus vaihteli haastateltavilla 10 vuodesta 40 vuoteen. Haastattelutuloksien lisänä oli työn tekijän oma työkokemus työntekijänä ja -johtajana kahdelta maanalaiselta rakennuskohteelta.</p> <p>Työn tarkoituksena oli koota yhteen maanalaisen betonirakentamisen erityispiirteet. Syy tähän oli, ettei yrityksessä ole uusille työnjohtajille kirjallista tukea vaan tietoa maanalaisen betonirakentamisen tuotannon erityispiirteistä on tullut vertaisilta ja esimiehiltä. Työntekijä on huomannut työkohteissa, ettei käytettyjä työmenetelmiä ole ollut esillä betonirakentamiseen liittyvissä opinnoissa. Insinöörintyön pohjalta on mahdollista tehdä tiivistetympi ohje yrityksen sisäiseen käyttöön.</p> <p>Maanalaisen betonirakentamisen erityispiirteitä ovat asiat, jotka muodostuvat maanalaisen tilan muodoista ja olosuhteista. Logistiikan toteutusta pidettiin taloudellisen tuloksen tekemisen suurimpana tekijänä. Logistiikkaan onkin kiinnitettävä huomiota ennakkosuunnittelusta tuotannon loppuun asti. Ympäristöolosuhteita pidettiin erinomaisina betonirakentamiselle. Olosuhteet pysyvät vakaina kunhan talven ja kesän äärimmäisten sääolojen vaikutukset huomioidaan suuaukkojen sulkemisella ja ilmanvaihdon suunnittelulla. Kallion rakoilusta ja pohjaveden ominaisuuksista riippuvaiset vuotovedet on hallittavissa pumppauksella ja luolan ilman kosteus on koneellisesti poistettavissa. Betonirakenteiden tuotannossa ratkaisevia tekijöitä ovat kalliopinnan oikeellinen sijainti ja työntekijöiden ammattitaito. Rakennustyön suunnitelmallinen eteneminen edellyttää huolellista aikataulun suunnittelua, jossa varataan aikaa myös työjärjestyksen muutoksille.</p>	
Avainsanat: Maanalainen, betonirakentaminen, betonointi	



Helsinki Polytechnic

ABSTRACT

Author: Tommi Ryyppö	Department: Civil Engineering
Title: Special Characteristics of Underground Concrete Constructions	
Date: 18.4.2007	Number of pages: 38 + 2
Instructor: Pekka Grönlund, B.Sc. (Civ. Eng.)	
Supervisor: Tapio Siirto, Lecture	
<p>This graduate study has examined the special characteristics of underground concrete constructions. Those characteristics are subjects that differ from normal constructing and play a crucial role in the production's success. The gunning of the concrete has usually been done underground, which is, however, outside the scope of the study.</p> <p>The surveys have been conducted by interviewing 9 clerks. The work experiences of the interviewed clerks vary from 10 years to 40 years. In addition, the literatures in the field of the concrete and underground mining were analysed. The writers own work experience from two underground building sites was used in the study, too.</p> <p>The purpose of this graduate study was to collect one the special characteristics of the underground concrete constructions. The reason was that there wasn't any guide to the new clerks. The information has to come from others through questions and conversations. The underground building methods have not been mentioned in the courses related to concrete constructions. This graduate study facilitates making a guide of the company's internal use.</p> <p>The special characteristics of the underground concrete constructions are things that are based on the form and the circumstances of the underground room. The execution of logistics is the biggest factor in financial results. Logistics must be checked and controlled from advanced planning to the end of the building. Environmental circumstances are regard as excellent in concrete building. Circumstances are stables as soon as the extreme weather conditions of seasons are controlled. Those can be managed when the tunnel ways are closed and ventilation has been planned. The water leakage is caused from crevasses of rock and underground water levels. It can be possessed by pumping. The air moisture can be eliminated by machine. The crucial factors of building concrete constructions are the location of rock surface and craftsmanship of the employees. The planned progress of construction presumes carefully planned time schedules, where have been charged time to variations of working order.</p>	
Key words: underground, concrete, constructions	

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	ERITYISPIIRTEEN MÄÄRITTELY	1
3	YMPÄRISTÖOLOSUHTEET	2
	3.1 Lämpötila	2
	3.2 Ilman virtaus ja hiukkaset	4
	3.3 Kosteus ja vesi	5
	3.4 Logistiikka	6
	3.4.1 Valaistus	8
4	AIKATAULU	9
	4.1 Työjärjestys	9
5	LOUHINNAN VAIKUTUS	10
	5.1 Päällekkäinen toiminta	11
	5.2 Ryöstö	13
	5.3 Kova	15
6	MUOTTITYÖ	16
	6.1 Rajapinnan tiiveys	19
	6.2 Muottipulppaus	20
	6.3 Pukkimuotti	21
7	RAUDOITUS	22
8	ANKKUROINTI	23

	8.1	Alakätiset	23
	8.2	Yläkätiset	24
9		BETONOINTI	26
	9.1	Rakennepaksuus	30
	9.2	Massa	27
	9.3	Tiivistys	28
	9.4	Sitoutuminen	28
	9.5	Valupaine	29
	9.6	Itsestään tiivistyvä betoni	30
10		LAADUNVARMISTUS	31
	10.1	Pinnat	31
	10.2	Läpimenot	32
		<i>10.2.1 Läpimenokappaleiden suojaus</i>	<i>33</i>
11		YHTEENVETO	35
		VIITELUETTELO	37
		LIITTEET	
		LIITE 1, Betonoinnin työ- ja laatusuunnitelma	
		LIITE 2 Betonitöiden laadunvarmistussuunnitelma	

1 JOHDANTO

Tämä insinööri työ on tehty YIT Rakennus OY:n Infrapalveluiden Alueelliset ja rakennustekniset palvelut -yksikölle. Tämä yksikkö rakentaa vaativia betonirakenteita niin maan alle kuin maan päällekin. Tällaisia kohteita ovat muun muassa väestönsuojat ja pysäköintiluolat sekä erilaiset yhdyskuntatekniikan maanalaiset rakenteet. Yhdyskuntatekniikan maanalaisia rakenteita ovat esimerkiksi jätevedenpuhdistamot ja yhteiskäyttötunnelit, joissa kulkee niin sähkö, kaukolämpö ja -kylmä sekä vesi että jätevesi.

Insinööri työn aihe syntyi, kun huomattiin, ettei maanalaisesta betonirakentamisesta ole kirjallisia teoksia eikä yrityksen toimintajärjestelmässä ole dokumenttimalleja ja muistioita, jotka auttaisivat uusia toimihenkilöitä maanalaisissa rakennuskohteissa. Tällä hetkellä yrityksen tietotaito onkin ihmisten mielissä. Tämän insinööri työn päämäärä onkin kerätä yhteen maanalaisen betonirakentamisen erityispiirteet lukuun ottamatta ruiskubetonointia. Työ perustuu insinööri työn tekijän omiin havaintoihin kahdella maanalaisella työkohteella, jotka olivat pysäköintihallina toimiva väestönsuoja Espoossa ja jätevedenpuhdistamo Turussa. Työ perustuu myös haastatteluihin, joita on tehty henkilöille, jotka ovat työskennelleet maanalaisten betonirakenteiden parissa parhaimmillaan lähes 40 vuotta. Työssä käsitellään asioita, jotka vaikuttavat maanalaisen betonirakenteen onnistumiseen suunnitelmien mukaisesti.

2 ERITYISPIIRTEEN MÄÄRITTELY

Erityispiirteellä tarkoitetaan jonkin asian yksityiskohtaa, joka tekee tarkasteltavasta asiasta normaalista poikkeavaksi. Tässä työssä erityispiirteellä tarkoitetaan asiaa mikä, tekee maanalaisesta betonirakentamisesta vaikeampaa tai poikkeavaa normaaliin maanpäälliseen betonirakentamiseen verrattuna, johon löytyy niin oppikirjoista kuin muistakin teoksista ohjeita ja menettelytapoja.

3 YMPÄRISTÖOLOSUHTEET

Tässä työssä ympäristöolosuhteilla tarkoitetaan niitä tekijöitä, jotka ovat ominaisia maanalaisissa tiloissa. Maanalaisiin tiloihin sää ei vaikuta suoraan. Maanalaisten tilojen ympäristöolosuhteet muodostuvat tilan muodosta, suuaukkojen ja kuilujen lukumäärästä sekä alueen geologisista olosuhteista. Viimeksi mainittuja ovat kallion lujuus ja rakoilu sekä pohjavesiolosuhteet. Näistä muodostuvat seuraavat tekijät: Lämpötila on yleensä lähes vakio verrattuna ulkoilman lämpötilan vaihteluun. Liikkuvan ilman aineita siirtävä vaikutus, veden vuotaminen sekä maanalaisen tilan muoto, joka usein tuo rajoitteita liikkumiseen ja tavaran siirtämiseen. Päivänvalon puute ja tilan muoto tekevät maanalaisesta tilasta pimeän.

3.1 Lämpötila

Maanalaisissa tiloissa lämpötila on yleensä vakio, noin 5-12 °C. Vuoden aikojen vaikutus luolaston lämpötilaan on hallittavissa. Helteillä ja pakkasilla ei juuri ole vaikutusta maan alla. Lämpötilan pysyminen vakiona edellyttää hallittua ilman vaihtoa luolastossa. Lämpötilan pysyminen vakiona pitää tuotannon tehokkaana ympäri vuoden. Vakiolämpötila helpottaa niin betonirakentamista kuin muutakin rakentamista. Talvella maanalaisten tilojen maanpinnalle johtavat kuilut ja tunnelit on syytä suojata, jottei lämmintä ilmaa tiheämpi pakkasilma painu alueen syvimpään paikkaan eli maanalaiseen tilaan. /4./

Suuaukoilla käytetään ilman lämmittämiseen yleensä polttoöljykäyttöisiä lämpöpuhaltimia. Polttoöljyn kulutus lämpöpuhaltimella on toistasataa litraa vuorokaudessa, joten pakkasten kestäessä kustannuksetkin kasvavat. Tämä tulee huomioida maanalaisten tilojen rakentamisessa. Talvella on myös huomioitava tuotaessa rakennekerrokseen maa-ainesten lämpötila, jonka on ehdittävä muuttua samaksi maanalaisen tilan kanssa ennen rakennekerroksien yhdistämistä. Kuvassa 1 nähdään louhinta- ja rakennustyön ovien ero. Rakennusaikana oviratkaisu voi olla tiiviimpi. /1,4./



Kuva 1. Auki olevat louhintaurakan aikaiset ovet on korvattu rakennusurakan ajaksi tiiviimmällä ratkaisulla /7/.

Kalliopinnan lämpötila on yleensä alhaisempi kuin ilman lämpötila, sillä yleisesti jo parin metrin syvyydessä routarajan alapuolella maan lämpötila vastaa perinteistä maakellarin lämpötilaa, joka on ympäri vuoden 4 - 6 °C. Louhitut tilat pyritään louhimaan vähintään noin 10 metriä paksun kalliokerroksen alle. Tällöin ympäröivän kallion lämpötila on suhteellisen stabiili. Maanalaisissa tiloissa ympäröivä kallio on massaltaan erittäin suuri verrattuna betonirakenteisiin, jotka sijoittuvat maan alle. Tällöin kallion vastaisissa valuissa ja varsinkin silloin kun suurin pinta on kalliota vasten, kalliolla on betonimassaa jäähdyttävä vaikutus. /3,4./

3.2 Ilman virtaus ja hiukkaset

Maanalaisista tiloista on yleensä useampi yhteys maanpinnalle. Tällaisia ovat ajo- ja työtunnelit, hissikuilut ja muut pystykuilut. Maan alle virtaukset syntyvät kuilujen ja ajotunneleiden suuaukkojen ilmanpaine-eroista sekä maanalaisen ja -päällisen ilman lämpötilaeroista. Lämmin ilma pyrkii aina ylöspäin kylmemmän ilmakerroksen päälle. Talvella maanalaisen tilan ilma pyrkii lämpimämpänä ylöspäin ja kylmempi ulkoilma laskeutumaan alaspäin. Ilmanvirtaamisen huomaa parhaiten tunneleiden ja kuilujen suuaukoilla, joissa auringon paisteessa voi havaita huomattavia määriä ilman mukana leijuvia hiukkasia. /4./

Maanalaisen tilan ollessa laaja jäävät ajoneuvojen pakokaasut leijumaan katon rajaan. Maanalaisien tilojen katot ovat kaaren muotoon louhittuja, jolloin louhinta jättää kattoon erikokoisia koloja. Maanalaisissa tiloissa on havaittavissa työpäivän päätteeksi pakokaasujen muodostama pilvikerros. Tämä on yleistä pitkien betonivalujen yhteydessä. Ilmanpaine-erot ja ilman lämpötilaerot suuaukkojen luona eivät yleensä takaa riittävää ilmanvaihtoa maanalaiseen tilaan, ongelma pyritään hoitamaan koneellisella ilmanvaihdolla. Betonin siirto betoniautosta muottiin tapahtuu lähes aina pumppaamalla ja maanalaisissa tiloissa ajoneuvojen polttoaineena on diesel. Ajoneuvojen pakokaasuissa on dieselistä johtuen hiukkasia. Betonivalujen aikana onkin tärkeää, että ilma pääsee vaihtumaan luolastossa, jotta työskentelyolosuhteet pysyvät terveyttä vaarantamattomina. Paikallaan olevien koneiden pakokaasujen hallintaan on mahdollista käyttää pakokaasujen keräämistä ja johtamista pois työkohteelta. Pakokaasujen johtaminen edellyttää kuitenkin kiinteitä linjoja, joiden rakentaminen edellyttää työkonetta paikallaan pysyvyyttä pidempiä aikoja. /4./

3.3 Kosteus ja vesi

Maanalaisen tilan vesivuotojen määrä riippuu paljolti siitä, kuinka rakoilevaa ympäröivä kallio on ja minkälaiset ovat pohjavesiolosuhteet. Yleensä maanalaiseen tilaan tulee aina jostakin vettä, joka kerääntyy kaivantoihin ja syvimpiin kohtiin. Kuvassa 2 vuotovedet valuvat seinäsalaajista ja tunnelin pohjaa pitkin. Kivipölyn kanssa vesi muodostaa myös liejua.



Kuva 2. Vuotovedet virtaavat kuvassa puhtaalla kalliolla, joka kiiltää /7/.

Maanalaisissa tiloissa onkin huolehdittava jatkuvasta pumppauksesta vuotovesien takia. Jatkuva veden läsnä olo aiheuttaa ilman kosteuden kasvua, joka voi aiheuttaa ongelmia betonirakenteiden pintojen pinnoitukselle. Kesällä ilman suhteellinen kosteus tuottaa ongelmia. Ongelma syntyy siitä, kun koneellisella ilmanvaihdolla puhalletaan ulkoilmaa maanalaiseen tilaan. Lämpimän ulkoilman joutuessa viileämpään tilaan ilman kastepiste laskee. Ilman saavuttaessa kastepisteen ja ilman kosteuden ollessa sopiva, ilman kosteus tiivistyy pisaroiksi eli kondensoituu. Suhteellisen kosteuden kasvu ilmenee tiivistyvänä vetenä maanalaisen tilan katossa. Kattoon tiivistyvä vesi alkaa jossain vaiheessa tippua tipoitain, jolloin mahdollisesti alla olevaan betonirakenteeseen, kuten betonilaattaan kohdistuu kosteusrasitusta. Korkealta tippuva vesi kuluttaa ajan myötä betonipintaa. /4./

Kosteat olosuhteet luovat myös hyvät kasvuolosuhteet erilaisille bakteereille ja sienille. Esimerkiksi sahatavara homehtuu erittäin nopeasti, jos se kastuu. Suhteellisen kosteuden liiallisen kasvun ongelma ratkaistaankin koneellisella ilman kuivauksella, joka samalla alentaa pinnoitettavien pintojen kosteutta. Ilman kosteuden hallintaan on myös käytetty maanalaisen tilan varustamista lämmitysputkistolla. Lämmittämällä maanalaisen tilan ilma ulkoilmaa lämpimämmäksi saadaan aikaan ilman kierto. Tämä on kustannusten kuitenkin mahdollista vain silloin, jos lämmitysenergia on ilmaista. /4./

Louhintatyön aikana lujitetaan rakoilevaa kalliota injektoimalla, joka samalla estää veden tippumisen louhittavaan tilaan. Ennen kalliopintojen ruiskubetonointia asennetaan seinäsalojitus, joka ohjaa vuotovedet tilan pohjalle. Rakoileva kallio tuottaa ongelmia myös rakennus aikana, jos injektointityö ei ole ollut riittävää tai rakoileva kallio ei ole vaatinut lujitusta injektoimalla. Veden tippuminen maanalaiseen tilaan on estettävissä jälki-injektoinnilla tai vuotokohtien pinnallisilla peittämisillä. Tällöin tosin vuotokohdalla on taipumusta vain siirtyä eikä lakata.

3.4 Logistiikka

Logistiikkaa hankaloittavia tekijöitä maan alle mentäessä ovat tilojen rajallisuus, muoto ja valaistus. Maanalaiset tilat louhitaan pääasiassa käytönaikaiseen tilavuuteen, mutta pitkissä tunneleissa louhintaurakoitsija voi laajentaa tunnelin poikkileikkausta isommaksi, jotta louheen kuormaaminen tapahtuu nopeammin. Tunneleiden louhinta etenee usein useampaan kuin yhteen suuntaan yhtä aikaa. Rakennettaessa tunnelia sitä voidaan lähteä louhimaan kahdesta suunnasta. Maanalaisessa tilassa ollessa useampi suuaukko tai maanalainen tilan sisältäessä rinnakkaisia tai risteäviä tunneleita, louhinta etenee maan alla useammassa kohdassa, yleensä kahdessa kohteessa tunnelien perillä, jolloin käytetään ilmausta ”*kahden perän louhinta*”. Rakennustyöt voivat myös edetä useammalla suunnalla, mikäli käytössä on useampi suuaukko tai luolia on rinnakkain. Työn eteneminen on kuitenkin tapauskohtaista maanalaisissa tiloissa. /4./

Maanalaisten tilojen tarkoitus on siirtää jokin toiminta maan päältä maan alle, jotta maan päälle saadaan taloudellisesti tehokkaampaa toimintaa. Tällöin maan päälle jää vain maanalaisen tilan ajotunnelin suuaukko näkyviin. Logistiikan kannalta tärkeää on saada myös riittävästi tilaa maan päällä sijaitsevalla työmaatukikohta alueelle. Ongelma syntyykin rakennettaessa lisätilaa kaupunkialueilla. Tukikohta alueelle mahtuukin huonoimmassa tapauksessa vain työmaan sosiaalitulat. /4,9 s.246./

Maanalaisten tilojen logistiikan kannalta on hyvä olla useampia suuaukkoja maanpäälle. Useampi ajotunneli lisää työjärjestyksen joustavuutta ja samalla takaa useamman kulku- ja tavarantoimitusreitit työkohteelle. Ratkaiseva tekijä on myös ajotunnelin pituus maanpäältä työkohteelle maan alla, joka voi olla mitä vain 0 ja useamman tuhannen metrin välillä. Käytännössä ajotunnelin pituus on 1 metristä 1 kilometriin. /4./

Tavaraa työmaalle tilattaessa on ilmoitettava tavarantoimittajalle toimitusosoitteen sijaitsevan maan alla. Tällä toimenpiteellä voidaan karsia ne ajoneuvojen kuljettajat ja ajoneuvot, jotka eivät kykene toimittamaan tilattua tavaraa työpisteelle asti. Rajoittavia tekijöitä voivat olla klaustrofobia, heikko hämäränäkö tai pelko siitä, ettei yleisesti luja suomalainen kalliolaatu kestä vaan romahtaa päälle. Rakennusvaiheen logistiikka onkin suunniteltava ennakkoon, ettei tule tilanteita joissa tavaraa ei mahdu tai pystytä kuljettamaan perille. Tämä korostuu kun rakenteilla on useammat rakennusosat. Tällaisia ovat betonirakenteiden rakenteiden lisäksi, LVIS-työt, jotka käsittävät lämmitykseen, veden johtamiseen, ilmanvaihtoon ja sähköistykseen liittyvät työt. Nämä LVIS-työt sisältävät töitä, joissa asennetaan kattoon ja seinille rakenteita, jotka sisältävät erikokoisia putkia, johtoja ja kaapeleita ja näiden kannatteluun tarvittavia kannakkeita, palkkeja ja hyllyjä. LVIS-rakenteiden käytönaikainen toiminta tarvitsee myös isompia koneita, kuten erilaisia pumppuja ja muuntajia. Suuremmat LVIS-koneet sijoittuvat niille rakennettuihin tiloihin, joita ovat muuntamot ja pumppaamot. LVIS-rakenteiden perille saaminen, jotta ne valmistuvat muiden töiden kanssa yhtä aikaa, edellyttää pääurakoitsijalta huolellista aikataulun ja työjärjestysten suunnittelua, mikä korostuu rajallisimmissa luolastoissa, esimerkiksi luolassa, jossa on yksi ajotunneli. Kuvassa 3 ilmastointikanavien osia on asennettuna ja odottamassa asennusta. /4./



Kuva 3. Ilmastointirakenteiden osia hallin lattialla ja yhteiskannakkeilla /7/.

3.4.1 Valaistus

Maanalaisissa tiloissa työskentely edellyttää aina vähintään työkohteen valaisemisen. Työturvallisuutta saadaan parannettua henkilökohtaisilla valaisimilla ja kulkureittien valaisemisella. Henkilökohtaisilla valaisimilla voidaan luolasta poistua turvallisesti esimerkiksi sähkökatkon aikana. Valaistuilla kulkureiteillä ajoneuvojen liikkuminen on helpompaa, koska tällöin kuljettajat havaitsevat myös ajoneuvon valaiseman alueen ulkopuolelle. Myös jalankulku on turvallisempaa valaistulla reitillä. Työnaikainen valaistus kannattaa toteuttaa käytönaikaisena valaistuksena, mikäli siihen on mahdollisuus työjärjestyksen ja rakennusajan puitteissa.

4 AIKATAULU

Rakennusvaiheen aikataulun suunnittelussa on huomioitava työjärjestys, ettei tule umpiperiä eli ”pussiteta” rakentamattomia töitä. Työmaan ollessa usean työnjohtajan työmaa tulee viikoittaisissa aikataulusuunnitelmissa huomioida toisten työnjohtajien työt. Tällaisia erityistä huomiota vaativia asioita ovat esimerkiksi betonointityöt. Normaalisti betonitöihin liittyvistä palveluista on sovittu ennen urakan alkua, jolloin betoninpumppaus ja betoni tulevat sovituilta toimittajilta. Maanalaisissa tiloissa käytettävä pumppauskaluston määrä on rajallista. Tällöin on työnjohtajien sovittava betonointiajankohdat, siten että kaikki betonoinnit onnistuvat ilman ylimääräisiä kustannuksia. /4./

Aikataulu tulee laatia siten, ettei koko työmaatoteutus kulje samaa kriittistä polkua, jossa työvaiheet ovat sidottuna toisiinsa, vaan työvaiheissa ja niiden riippuvuuksissa on joustavuutta, mikäli siihen on mahdollisuus. Aikataulua ei tule myöskään tehdä mahdollisimman tiiviiksi, sillä kallio-tiloissa on aina varauduttava pysähdyksiin. Kuten logistiikassa niin myös rakennustöiden aikataulutamisessa tulee huomioida muut urakoitsijat eli yleensä LVIS-urakoitsijat. Yleensä muiden urakoitsijoiden rakenteet liittyvät betonirakenteisiin. Näitä ovat läpimenot ja varaukset. On myös huomioitava, ettei betonirakenteilla suljeta reittiä tai paikkaa, missä toisten urakoitsijoiden on tarkoitus työskennellä. /4./

4.1 Työjärjestys

Maanalaisiin tiloihin rakentamista voisi kuvata pilvenpiirtämistä vaakatasoon. Tällöin työt tulee suunnitella välitavoitteet huomioiden ja siten, että kaikki rakenteet rakennetaan silloin kun on optimaalinen ajankohta. Ilman työvaiheiden oikeata ajoitusta voi rakenteen rakentaminen tai rakennusmateriaalien ja työvoiman perille saanti olla mahdotonta. Kohteiden toteutus on kuitenkin yleensä yksilöllistä riippuen rakennuttajan asettamista välitavoitteista ja maanalaisen tilan muodoista. /4./

Yleensä työjärjestys maanalaisissa tiloissa alkaa suuaukosta kauimpana sijaitsevasta kohdasta edetä kohti suuaukkoa. Esimerkiksi maanalaisissa pysäköintitilassa on pysäköintihalli(t), ajotunnelit ja pystykuilut, joihin sijoittuvat jalankulku liikenne ja ilmanvaihto. Tällöin työt alkavat pystykuilujen alapäistä. Pystykuilun ja hallitilan välillä on yleensä tunneli, joten kuilun alapään valmistuttua työt siirtyvät yhteystunneliin. Yhteystunnelista työt sitten etenevät halleihin ja lopulta kohti suuaukkoa. Kuilujen pystyrakenteet etenevät yleensä omaa tahtia, koska rakenteet ovat yleensä elementtirakenteita ja vaativat nosturia. Kuilujen rakentaminen pyritään tekemään lämpimänä vuodenaikana. /4./

Maanalaisten tilojen kallionpinnat on yleensä ruiskubetonoituja. Yleensä ne pinnoitetaan sementtipohjaisilla Murtet- tai Aquella-maalilla. Pinnoituksen jälkeen maanalaisen tilan valaistusolot paranevat harmaan pinna vaihtuessa valkoiseksi, sillä valkoinen väri absorboi valoa vähemmän kuin harmaa väri. Pinnoituksen toteutus tulee ajoittaa siten, että siitä ei ole muille rakenteille haittaa, kuten rakenteiden väärää pinnoitusta. Sementtipohjaiset maalit voivat tehdä rakennusmateriaaleista käyttökelvottomia. Näin käy esimerkiksi raudoitteille, jotka menettävät suunnitellun tartuntakyvyn valettavaan rakenteeseen, tullessaan pinnoitetuksi vastoin suunnitelmia. /15./

5 LOUHINNAN VAIKUTUS

Louhinnan vaikutus rakennustöihin voidaan käsittää kahdella tavalla. Ensimmäinen näkökanta on se, jos louhintatyöt ovat vielä käynnissä rakennustöiden alettua. Tämä johtuu yleensä siitä, että louhintaurakoitsija on aikataulustaan myöhässä. Toinen näkökanta on se, että louhintatyö on päättynyt suunnitellun aikataulun mukaan ja rakennustyöt ovat voineet alkaa, eikä niillä ole päällekkäistä toimintaa.

Rakennusteknisiä töitä maanalaisissa tiloissa aloitettaessa kalliopinta on näkyvässä katossa ja suurimmalta osia seiniä. Louhituista tiloista on myös poikkileikkaukset määräväleihin. Tunnelin pohja ja seinien alareunat ovat yleensä louheen peitossa. Louhintatyön työmenetelmistä johtuen kalliopinta ei vastaa täsmällisesti rakennesuunnittelijan piirtämää teoreettista kalliopintaa teräsbetonirakenteiden rakennekuvissa. Insinööriyön tekijä onkin kuullut

keskustelusta louhintatoleransseista rakennustöiden ja louhintatöiden työpäälliköiden kesken louhintatöitä tekevän todenneen ” *Mehän rikommeekin räjähdysaineella haurasta materiaalia, kalliota.*”

Rakennusurakan kustannusten hallittavuuden takia tulisi louhintaurakkaan lisätä nykyistä tarkempi louhintatyön valvonta ja mittaaminen. Erityisesti lattiakorkojen ja seinälinjojen toteutuminen suunnitellusti vaatii tarkkuutta. Jo pienikin ns. nokka eli alilouhittu kohta kalliopinnassa voi estää rakenteen, esimerkiksi elementtirakenteen tai muun valmisosan, maatumisen paikalleen. Tarkimmat mittaustiedot olisi mahdollista saada keilaamalla kalliopinnat. Keilaamalla saataisiin louhinnan tuloksen todellisena ja samalla myös mittatietoina. Tällöin säästyy aikaa, vaivaa ja rahaa niin rakennusurakoitsijalta, rakennuttajalta ja tilaajalta. Ennen rakennusurakan alkua tiedossa olevilla mittatiedoilla voisivat myös suunnittelemanuutokset ehtiä työmaalle keskeyttämättä työntekoa. Keilauksen ongelmana ovat kuitenkin kalliit kustannukset. Louhintaurakan valvonnan ja käytettävissä olevien mittaustietojen tärkeys korostuukin nykypäivänä, kun ei kustannusten pelossa käytetä vielä vakiintuneesti keilausta kalliopintojen mittaamiseen. Louhintaurakan tarkemmittauksiin tulisi merkitä yli- ja alilouhitut kohdat. Näillä tiedoilla rakennusurakoitsija pystyy varamaan ja ajoittamaan resurssit oikein. Louhintatöiden jälkeen rakennusurakoitsijan onkin varauduttava materiaali- ja työkustannuksissa sopimusten mukaisiin toleransseihin esimerkiksi alaspäin +400 mm toleranssiin ja sivuille +300 mm toleranssiin. Toleranssit tulee huomioida niin rakennustyön aikana kuin jo laskennassa ja tarjousvaiheessa. /4./

5.1 Päällekkäinen toiminta

Päällekkäisen toiminnan aikana louhinnan räjäytyksistä syntyy tärinää, pölyä, ilmanpainetta ja louhetta, jotka vaikuttavat ja jopa vaarantavat rakennustöitä. Räjäytyksen ja sen jälkeisen tuuletuksen ajaksi luolasto on tyhjennettävä. Nämä hetket sovitetaan yleensä normaalien työajan sisältämiin taukoihin, joten ne eivät teoriassa katkaise työn tekoa. Räjäytyksen yhteydessä kuitenkin vapautuu terveydelle haitallisia kaasuja, hiilimonoksidia ja typpioksideja riippuen räjähdyshetken happitasapainosta. Haitallisia kaasuja ja pölyä poistuu tuuletuksen aikana ja osa kivipölystä sitoutuu kosteuden kanssa muodostaen liejua tunneleiden pohjalle.

Ilmanpaine vaikuttaa räjähdysketkestä muutaman sekunnin ajan, mutta ellei siihen osaa varautua, se voi tulla yllätyksenä ja aiheuttaa vaaratilanteen. Räjähdyksessä syntyvä tärinä rakenteisiin on riippuvainen kallion laadusta, välimatkasta ja räjähdysaineen määrästä. Louhinnan ja rakennustöiden valvojien tulee olla tietoisia, jos louhintatöitä ja betonivaluja toteutetaan samana päivänä. Räjähdyksestä tuleva tärinä voidaan laskea samoin kuin betonin sitoutumisnopeus. Tällöin on hallittavissa tärinän vaikutus sitoutuvaan betonirakenteeseen, jos näin ei tehdä, voi tärinä vaurioittaa betonirakennetta pysyvästi. 12 tuntia voidaan pitää varoaikana, jolloin tärinästä ei ole vaaraa betonin sitoutumisella. Vaarallisen leikkisesti louhintaurakan ja rakennusurakan ollessa toiminnassa yhtä aikaa on kuultu sanottavan ”räjähdysketkestä tärinän antavan jälkiviivituksen betonirakenteelle”. Louhinta ja betonitöiden yhdenaikaisuutta tulee kuitenkin aina välttää. /12./

Räjähdyksestä syntyy louhetta, joka pitää poistaa, jotta rakennustöitä päästään tekemään. Louheen kuormaus ja kuljetus luolasta vaatii oman tilansa. Kuormaus tapahtuu normaalisti eri alueella kuin rakennustyöt, joten siitä ei ole muuta haittaa kuin koneiden pakokaasut. Louheen kuljetus tapahtuu mahdollisimman nopeasti, jotta louhintatyön seuraava vaihe pääsee alkamaan. Tämä johtaa siihen, että ajotunneleissa kulkee useita kuorma-autoja tunnissa. Samanaikaisesti kuormattavana on yksi kuorma-auto ja kuormausta odottaa vähintään yksi kuorma-auto, jolloin niiden käyttämä kulkutie on käytännössä varattu, eikä siellä voi toteuttaa rakennustöiden kuljetuksia.

Räjähdyshetkellä on vaarana kivenheitto eli kivi lentää ennakoimattoman pitkälle räjähdyspisteestä. Rakennusurakoitsijan kalusto ja henkilöstö ovatkin tällöin vaarassa. Esimerkiksi työnaikainen valaistus tai lopullinen valaistus, joka on asennettu rakennustyön alussa, ovat herkkiä räjähdysketkestä voimasta lentäville kiville, joiden ei tarvitse olla sormen päätä isompia, jotta valaisin vaurioituisi ja tulisi toimintakyvyttömäksi.

Louhintatyön kallionlujitusvaiheessa kallioon pultataan pultteja ja ruiskutetaan ruiskubetonikerros. Ruiskubetoni sisältää teräskuituja, joista voi olla haittaa kulkuneuvojen renkaille. Ruiskubetonoinnin aikana osa ruiskutettavasta massasta ei tartu kalliopintaan vaan kimpoaa ja putoaa alas. Myös tällöin ovat rakennusurakoitsijan kalusto ja henkilöstö vaarassa vahingoittua tai ainakin tulla ruiskubetonin päällystämiseksi. Ruiskubetonipäällyste ei ole suotavaa juuri minkään kappaleen päällä, kuten raudotteiden, jotka eivät ole enää

päälylystämisen jälkeen käyttökelpoisia. Ruiskubetonointi toteutetaan ns. märkämenetelmänä isoilla ruiskutus koneilla. Kuivaruiskutuksia tehtäessä tulee pölyämisen vaikutus muihin töihin huomioida. /11, 12./

5.2 Ryöstö

Ryöstöksi kutsutaan sitä kun louhinnassa on irronnut suunniteltua enemmän kalliota eli kalliota on ylilouhittu. Liialliseen kallion irtoamiseen vaikuttavia tekijöitä louhinnassa ovat poraus, kallion ja räjäytysaineen laatu. Louhinnan ryöstöt vaikuttavat rakennustöihin kasvattamalla materiaali- ja työmenekkiä. Ryöstön vaikutus suunnitelmiin vaikuttaa työn alussa kunnes suunnittelijoilta tulee ohjeet suunnitelma muutoksista ja lisäraudoituksista ylilouhintojen kohdalla.

Ryöstöjen kasvattava vaikutus on selvimmin havaittavissa perustuksissa. Maanalaisissa tiloissa tunneleiden ja luolien pohjat ovat louheen peitossa tasattuna tiettyyn tasoon. Maanalaisissa tiloissa perustukset tulevat kalliota vasten, joten työ on aloitettava kalliopinnan esiin kaivulla. Kalliopinnan paljastuttua on rakenne mitattava paikalleen mittamiehen toimesta, jolloin saadaan tarkemmat kalliopinnan sijainnista. Tällä varmistetaan tietojen dokumentointi sähköiseen muotoon ja se, että mahdolliset ylimääräiset kustannukset saadaan takaisin ja niistä pätevä todiste. Käytännössä tarkat ryöstöt lasketaan kuitenkin valetun betonimäärän tilavuuden ja rakenteen vaakaleikkauksen pinta-alan avulla.

Kalliopinnan ja perustuksen yläpinnan korkeuseron kasvaessa muotin korkeus kasvaa, jolloin muotin valmistuksen työmäärä ja materiaalmäärä kasvaa suunniteltua suuremmaksi. Kalliotartuntana käytettävän pultin pituus kasvaa myös. Raudoituksen osalta kasvua tulee mikäli suunnitelmat vaativat kalliopinnan mukaisen raudoituksen. Betonointityössä valettavan betonin määrä kasvaessa myös työhön käytettävä aika kasvaa kahdesta syystä. Ensimmäkin huomattava ryöstö kasvattaa rakennekorkeutta, jolloin betonoitaessa valupaine kasvaa liian suureksi mikäli nousunopeutta ja pumppausnopeutta ei pienennetä. Nousunopeuden rajoitus pidentää työaika. Rakennekorkeuden kasvu luonnollisesti kasvattaa betonin määrää ja betonoimisaikaa. Kuvan 4 anturan suunniteltu rakennekorkeus on ollut 500 mm, joka todellisuudessa vaihtelee satoja millimetrejä.



Kuva 4. Kalliopinta on vaihteleva anturan kohdalla 7/.

5.3 Kova

Kovat ilmenevät kalliopinnoissa louhimatta jääneinä kohtina eli alilouhintana. Pienikin uloke kalliossa, joka tulee rakenteen tielle voi pysäyttää työt. Kovista onkin enemmän haittaa kuin ryöstöistä, sillä ryöstöistä selvittää yleensä kasvavilla materiaalin ja työn kustannusten korvauksella ja ilman huomattavaa aikataulun muutosta tai työvaiheen viivästystä. Teräsbetonirakenteen valmistuminen alilouhittuun kohtaan vaatii yleensä kovan poistoa ja harvemmin suunnitelmien muuttamista. Alilouhitun kohdan poistaminen viivästyttää aina rakenteen valmistumista. Kovien poistoon on käytössä louhinta räjäyttämällä tai piikkaus hydraulivasaralla. Kova voi aiheuttaa myös työjärjestyksen muutoksen ja aikataulu viiveen. Kovat aiheuttavat tällöin urakoitsijalle ylimääräisiä työtunteja, jolloin ei ole tuotantoa tapahtunut. /4./

Yleisin kohta jossa kovia esiintyy, ovat kanaalit. Kanaaleja ei yleensä pystytä tarkemittaamaan louhinnan aikana. Kanaalit sijaitsevat tunneleiden pohjalla. Jos ne räjäytyksen jälkeen kaivettaisiin auki mittaamista varten, muu työskentely pysähtyisi kulkutien katkettua. Kuvassa 5 poistetaan kovia kanaalin pohjalta hydraulisella vasaralla eli ”rammeroidaan”. /4,12./



Kuva 5. Kanaalin syventämistä hydraulivasaralla /7/.

6 MUOTTITYÖ

Muottityö ja muottimateriaalit maanalaisessa betonirakentamisessa ovat samankaltaisia maanpäällisen betonirakentamisen kanssa. Kallion vastaisissa teräsbetonirakenteissa muottivaihtoehdot ovat samat kuin muissakin teräsbetonirakenteissa. Lisänä on muotin ja kallion liitoskohta, joka on tehtävä sahatavarasta. Kuvassa 6 järjestelmämuotti on yhdistetty kalliopintaan sahatavamuotilla. Tämä johtuu kallionpinnan epätasaisuudesta.



Kuva 6 Järjestelmämuotin ja kalliopinnan väli on yhdistetty tiiviiksi sahatavaralla /6/.

Betonirakenteen muotin rajoituessa jokaiselta sivultaan kalliopintaan, kuten tunnelin katkaisevat rakenteet, muottimateriaali on sahatavara. Paine- ja kaasutiiviiden seinien muottiin eräs haastateltavista esitti käytettävän henkilövoimin siirrettäviä järjestelmämuotteja kokoa 1m*0,5m, jolloin sahatavaralla tarvitsi kiertää vain reunat. Tällöin todennäköisesti sahatavaran käyttö vähenisi ja työ nopeutuisi. Ongelma tällä hetkellä on vain se, ettei kyseistä muottijärjestelmää ole markkinoilla. Kalliopinnan suuntaisissa rakenteissa muottiratkaisuna on käytettävissä järjestelmämuotteja, jotka siinäkin mielessä ovat toimiva ratkaisu, että ne ovat tukevampia kuin sahatavamuotit. Töiden suunnittelussa onkin suunniteltava tarkasti minkälaista muottikalustoa voi käyttää ja mihin. Samalla tulee huomioida muottien välivarastointi ja kierrätys valukohteelta toiselle. Järjestelmämuottien käytössä on

huolehdittava myös siitä, että muotit saadaan kuljetettua kohteeseen ja resursseihin on varattu nostokapasiteettia, sillä järjestelmämuotit eivät normaalisti ole henkilövoimin siirrettävissä. /4./

Sahatavaramuottien valmistuksessa kalliopinnan ja muotin välisen sauman tiiveys osoittaa rakennusammattimiehen ammattitaidon, joka ei ole itsestään selvyys vaan tulee kokemuksen kautta. Ammattitaidon jälkeä on havaittavissa kuvassa 7. Ammattitaidon puutetta havaitaan puolestaan kuvassa 8, kun kirvesmiehet ovat olleet ensimmäisiä kertoja töissä kallionvastaisten muottien kanssa infrayksiköiden työmailla. /4./



Kuva 7. Tiivisliitos sahatavaramuotin ja kallion rajapinnassa /7/.



Kuva 8. Muotin ja kallion rajapinta on liian avoin /7/.

Kappalemuotin käytössä ja varsinkin sen purussa tulee huomioida kosteuden vaikutus, tietyissä olosuhteissa sahatavara homehtuu erittäin nopeasti ja aiheuttaa terveysriskejä. Tämän takia sahatavaramuotit puretaan jo vuorokauden kuluttua valusta. Betonin on kuitenkin saavutettava purkulujuus ennen kuin muotin purkuun ryhdytään. /4./

6.1 Rajapinnan tiiveys

Kallion ja betonirakenteen välisen pinnan tiiveys rakenteen ala- ja sivupinnoissa onnistuu yleensä. Yläpuoliset pinnat ja katonraja voivat jäädä vajaiksi. Tällöin rakenteen tiiveyden varmistamiseksi pitää jo ennen raudoitusta valmistautua mahdolliseen tiivistykseen. Raon tiivistykseen on vaihtoehtoina bentoniitti ja injektoiminen. Bentoniitti asennetaan bentoniittinauhana kalliopintaan. Bentoniitin käyttö on yleensä esitetty suunnitelmissa veden tunkeutumisen pysäyttäjäksi. Kuvassa 9 on jätevedenpuhdistamon altaan seinän kallionvastaiseen pintaan asennettu bentoniittinauha kalliopinnan äärikohtiin.



Kuva 9 Vesitiiviin rakenteen kallionvastaisen pinnan tiivistys bentoniittinauhalla /6/.

Injektoinnilla tiivistäminen edellyttää injektointiletkujen asentamista niihin kohtiin, joihin mahdollinen rako voi syntyä tai suunnitelmat edellyttävät niiden asentamista. Tällainen kohta on kalliopinnassa syvin kohta. Injektointiletku tulee asentaa asennusohjeiden mukaan. Oikein asennettuna injektointiletku vuotaa injektointimassaa tasaisesti paineen kasvaessa injektointityön aikana. Injektointiletkujen asennuksessa tulee myös varmistaa syöttöletkujen sijainti rakenteen ulkopinnassa. Syöttöletkujen tulee olla riittävän pitkät ja kiinnitettynä myös rakenteen ulkopuolelle, jotta ne eivät joudu rakenteen sisään.

6.2 Muottipulttaus

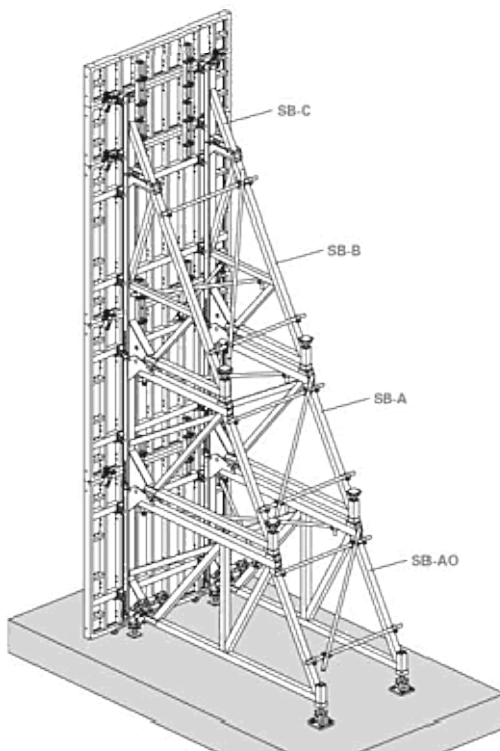
Muottipulttauksen merkitys kasvaa kun käytetään isompia järjestelmämuotteja. Kallion vastaisten seinien muottipulttaus eli sidepulttien määrä on kaksinkertainen verrattuna kaksipuoliseen muottiin. Yleensä kappaletavaran muottipulttauksessa käytetään kalliota vasten tulevissa seinissä 10 mm harjaterästankoja ja järjestelmämuoteissa 15 mm Dywidag-terästankoja, jotka juotetaan vähintään 170 mm syvyiseen kallioon porattuun reikään kemiallisella ankkurilla, kuten Hilti Hit hy 150 -massalla, joka joissakin tapauksissa on ainoa tilaajan hyväksymä kemiallinen ankkurointimassa. Kuvassa 10 on Dywidag-tankoja kemiallisilla ankkureilla kalliossa. Muottipulttien porauksen yhteydessä poraustyötä tekevän henkilön on kiinnitettävä huomiota siihen, että tulevan muottipultin kohdalla kallio on ehjä. Kallion rikkonaisuuden havaitsee poratessa porausäänestä, ja siitä, jos poran terä jää kiinni porareikään. Porausääni on matalampaa ja vaihtelevampaa rikkonaisuudessa kalliossa kuin ehjässä kalliossa. Ruiskubetonoitavaan pintaan muottipultteja asennettaessa tulee varmistua siitä, ettei muottipultti tule seinäsalaojan kohdalle, koska seinäsalaoja muodostaa tyhjän tilan kallion ja ruiskubetonikerroksen väliin. /4./



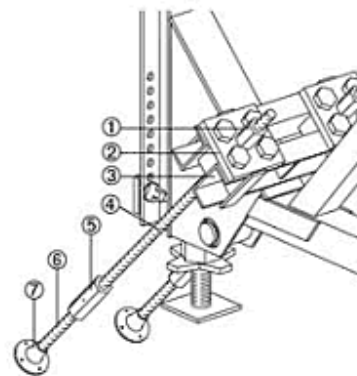
Kuva 10. Muottipulttausta kun sidepultti ei tavoita kalliopintaa /7/.

6.3 Pukkimuotti

Järjestelmämuottien tukemisessa on markkinoilla myös lähes pultiton tuenta ratkaisu niin sanottu pukkimuotti. Näitä käytetään, kun normaalien sidepulttien käyttö ei ole mahdollista valettaessa olemassa olevaa seinää, kalliota tai muuta rakennetta vasten. Tuet yltyvät maksimissaan 8,75 m:n korkeuteen ja eri osien yhdisteleminen tapahtuu kätevästi ilman lisäosia. Kuvan 11 kaltainen muotin tuentasysteemi on kevyt, ilman nosturia käsiteltävä tukipukki, jolla voidaan tukea 2,7 m korkean seinän toispuoleista valua. /4,5./



Kuva 11. Pukkimuotti tasaisella alustalla /5/.



Kuva 12. Pukkimuotin alareunan pulttaus /5/.

Myös tämä muottijärjestelmä vaatii pulttauksen, mikä tapahtuu muotinalareunaan kuvan 12 tavoin. Tällaista ei kuitenkaan ole käytetty, johtuen sen tilan tarpeesta ja pohjamaan tasaisuus vaatimuksesta. Rakenteissa, joissa side- eli muottipultit eivät saa tulla suoraan rakenteen läpi, voidaan käyttää muottipulteissa vesilukkoja. Vesilukot estävät veden tunkeutumisen pulttia pitkin läpi rakenteen. Maanalaisissa tiloissa käytetään järjestelmämuottia, kun nosturityölle on riittävästi tilaa ja rakenteet ovat isoja. /4,5./

7 RAUDOITUS

Raudoituksissa pyritään yleensä käyttämään tehtaalla esivalmistettuja raudoitteita. Raudoituksen korvaamista kuitubetonilla on myös aina tehtävä, mikäli siihen on mahdollisuus. Maanvaraiset lattiat ovat yleinen kohde kuitubetonille. Ne rakenteet, joissa raudoitus myötäilee kalliopintaa edellyttävät terästen valmistuksen työmaalla. Tällöin olisi toivottavaa, että suunnitelmissa olisi huomioitu rakenteiden toistuvuus esimerkiksi siinä, että hakaraudoitetyyppejä olisi mahdollisemman vähän ja ne kelpaisivat useaan teräsbetonirakenteeseen, joita kohteessa esiintyy. Tällöin voitaisiin vähentää terästen hävikkiä ja työturvallisuuskin paranisi. Monet rakenteet voidaan suunnitelmien mukaan raudoittaa esivalmistetuilla raudoitteilla, mutta kalliopinnan monimuotoisuus edellyttää usein työmaalla valmistettuja raudoitteita. Maanalaisissa tiloissa sijaitsevat väestönsuojat omaavat paine- ja kaasutiiviitä rakenteita, joissa raudoitus on erittäin tiukka, kuten kuvassa 13.



Kuva 13 //. Raudoitustyö on käynnissä, raudoittaja raudoituksen sisällä oikeassa yläkulmassa.

8 ANKKUROINTI

Ankkuroinnilla voidaan tarkoittaa joko teräsbetonirakenteen ankkurointia kallioon tai valumuotin ankkurointia eli muotin pulttausta kallioon valun ajaksi. Kalliotartunnoilla pyritään kiinnittämään ja pitämään teräsbetonirakenne kiinni alustassaan, betonia ja kallionpinnan välisen tartunnan lisäksi. Kalliotartunnat eli tartuntapultit ovat normaalisti kuumasinkittyä ja passivoitua tai sinkittämätöntä ns. mustaa harjaterästä A500HW tankopaksuuksilla Ø20, Ø25 tai Ø32 yleisimpänä Ø25. /4,14 s.8-9./

Porauksessa reikäsyvyudeksi tulisi tavoitella sitä mitta, jolla ankkuripultin tulee tarttua kallion sisässä. Ankkuripultit kiinnitetään kallion porattuihin reikiin juottamalla. Juottamiseen käytetään veden, 0-2 mm hiekan ns. fillerihiekan ja sementin, kuten pikasementin CEM I 52,5 R seosta. Juotosmassan portlandsementin ja hiekan sekoitussuhde on paino-osin 1:1. Vesi-sementtisuhteelle on kirjallisuudessa annettu arvo pienempi kuin 0,6, mutta rakennuselostuksissa määrätään käytettävän vettä mahdollisimman vähän. Juotoslaastin notkeuden määritelmäksi on esitetty, että laastin tulee täyttää ja pysyä pystysuorassa reiässä pultin kanssa. /10 s.24-25, 14 s.8-9./

Kaikki reiät tulee myös pestä porauspölystä ennen juottamista tartunnan onnistumiseksi. Reikien huuhtelu onnistuu työntämällä letku porareikään. Huuhtelun yhteydessä voidaan varmistaa reiän avoimuus ja syvyys. Alaspäin suuntautuvia porareikiä kutsutaan alakätisiksi ja ylöspäin suuntautuvia yläkätisiksi. Kätisyysmittarina voisi pitää kellotaulu, jolloin kello 12.00 on suoraan ylöspäin ja kello 6.00 suoraan alaspäin. Tällöin kello 3.00 ja kello 9.00 välinen alue on alakätistä aluetta, yläkätisten suunta on sitten kello 9.00 ja kello 3.00 välinen alue. /4, 10 s.24-25./

8.1 Alakätiset

Tartunnan varmistamiseksi ylimääräinen maa-aines ja vesi tulee poistaa ennen juottamista. Veden ja maa-ainesten poisto porareistä onnistuu yleensä paine-ilmalla puhaltamalla. Tällöin mahdollisesti reiässä oleva vesi nousee pois reiästä. Alakätisten pulttien juottaminen onnistuu

ns. lusikkavaluna eli juotosmassana käytettävä betoni kaadetaan porareikään, jonne pulitti sitten työnnetään yhdellä tasaisella työnnöllä. Kaadettaessa alakätisiin reikiin juotosmassana olevaa betonia, tulee betonimassan virrata reikään reiän halkaisijaa ohuempana virtana. /4./

Toinen vaihtoehto reiän täyttymiselle on käyttää kaatosuppiloa ja letkua, joka mahtuu ja ulottuu reiän pohjalle asti. Tällöin suoraan reiän pohjalle menevä juotosmassa syrjäyttää tiheämpänä kevyemmän veden. Alakätisten massan notkeudella ei ole muuta rajoitusta kuin se, että se valuu reiän pohjalle asti. Useasti näkee työntekijöiden käyttävän betonimassaa notkeusluokalla vetelää. Jos työmaalla on myös yläkätisiä tai vaakapultteja asennettavana on mielekkäämpää ja sujuvampaa juottaa alakätiset pumppaamalla massa porareikiin letkun avulla. /4./

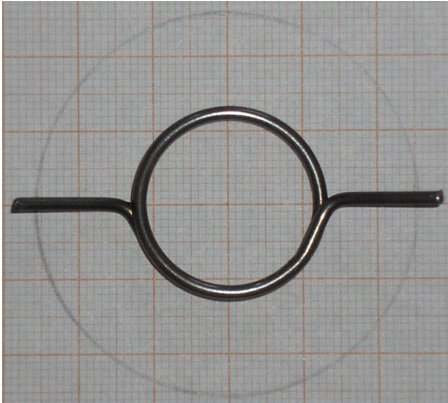
Alakätisten ankkuripulttien juottamiseen riittää normaalisti yksi rakennusmies, betonin valmistukseen tarvittavat välineet sekä massan reikään saamiseen tarvittavat välineet eli ämpäri, kaatosuppilo ja letku tai kastelukannu. /4./

8.2 Yläkätiset

Yläkätiset reiät vaativat huomattavasti enemmän huomiota kuin alakätiset reiät. Reikien sijaitessa seinillä ja katossa tarvitaan reiän luokse pääsemiseen nostoväline tai telineet. Nostovälineenä toimivin ratkaisu on kuukulkija, jolla ulottuu tulevan rakenteen paikan vierestäkin juottamaan ankkuripultit suoraan reiän alapuolelta. Työn valmistuttua voidaan saman tien ja jopa työnaikana siirtyä työpisteeltä mikäli siihen on tarvetta. Telineiden käytön ongelma on niiden pysyvyys ja niiden siirtäminen on työlästä.

Juotosmassan saattaminen porareikään tapahtuu pumppaamalla juotosbetoni tasoiteruiskulla tai vastaavalla laitteella reikään. Reikää ei kannata täyttää kokonaan juotosmassalla, sillä tartuntatankoa työnnettäessä reikään ylimääräinen massa valuu pois reiästä, joko maahan, nostolaitteeseen tai työntekijän päälle. Juotosmassaa tulee olla koko reiän mitan matkalla ja suuaukolla pieni purse, jotta nähdään että reikä on täynnä. Yläkätisten pulttien asentaminen vaatii kahden työntekijän panoksen. Toinen työntekijä valmistaa massaa ja toinen asentaa pultit. /4./

Tartuntapultti pysyy reiässä joko puukiilan tai pulttausjousen eli keskitysrousen avulla kunnes juotosmassa on kovettunut. Puukiilat tulee poistaa juotosmassan kovettua betonirakenteeseen kuulumattomana eloperäisenä materiaalina. Pulttausjousen käytössä tulee huomioida niiden oikea koko sekä se, että pulttausjouset laitetaan tarvittaviin tartuntapultteihin ennen kuin itse juottamis- ja asennustyö alkaa. Tärkeää on asettaa pulttausjousi oikeaan kohtaan tartuntapultissa siten, että pulttausjousi tulee sijoittumaan porareissä noin 20 cm kalliopinnasta. Pulttausjousen tarkoitus on myös asettaa harjateräs keskelle porareikää. Pulttausjousi keskittää harjateräksen reiän keskelle ”viiksiensä” avulla. Pulttausjousi on kuvassa 14, jossa on kuvattu pulttausjousi kuvitteellisen 51 mm porareian keskellä. /4./

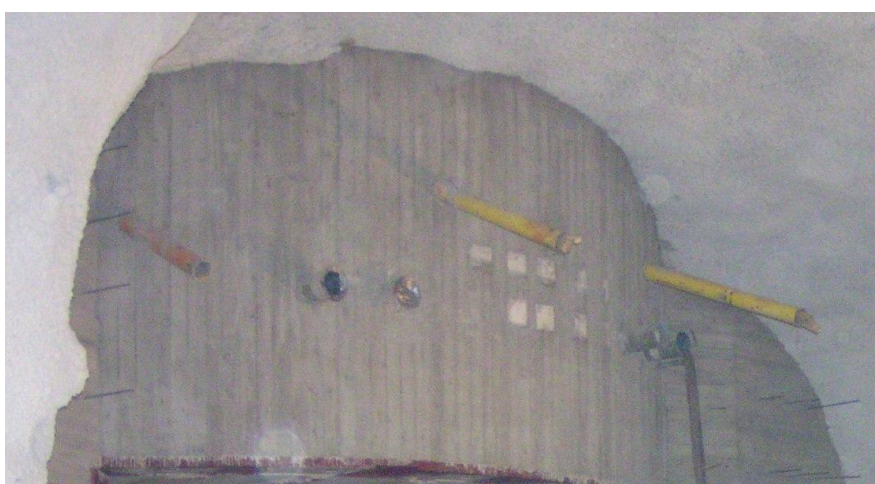


Kuva 14. Pulttaus- eli keskitysrous, työmaalla tutummin ”satiainen”. /8./

Mikäli tartuntapulttien asennuksen yhteydessä havaitaan porareistä valuvan vuotovettä, tulisi porareikään asentaa injektointiletku, jonka kautta betonirakenteen valmistuttua voidaan mahdollisesti vielä vuotava vesi tukkia injektoimalla umpeen. Tämä toimenpide on syytä tehdä silloin kun juotosmassakin huuhtoutuu veden mukana pois.

9 BETONOINTI

Betonointi maanalaisissa tiloissa perustuu samoihin työtapoihin ja -välineisiin kuin maanpäälläkin. Poikkeavuuden betonointiin maan alla tuo se, että tilaa on rajoitetusti käytössä ja etäisyys betonoitavan rakenteen ja betoniauton välillä voi olla pitkä ja mutkikas. Betonin perille saaminen voi joskus vaatia pumppauslinjojen rakentamista. Tällaisia tapauksia voi olla, esimerkiksi työjärjestyksen muuttumisen takia valmiiden rakenteiden taakse jääneet rakenteet, joiden luokse ei pystytä siirtämään betonia tavallisesti käytetyin keinoin. Kattoon asti ulottuvien muottien täyttyminen täydellisesti vaatii valuputkia, jotka vievät valumuotin sisällä katon korkeimpiin kohtiin. Kuvassa 15 kolme valuputkea kohti seinän ylintä kohtaa. Insinööriyön tekijä on havainnut parhaaksi keinoksi havaita muotin täyttymisestä muotin yläreunasta kauttaaltaan pursuavan betonin. Tässä vaiheessa tulee pumppauspaineen olla mahdollisimman alhainen. /4./



Kuva 15. Valuputket muotinpurun jälkeen rakenteessa/7/.

Valun päätyttyä irrotetaan valuputkista betonipumpun letku. Tällöin putkesta valuu betonia, joten valuputki on tukittava. Tähän tukkimiseen on käytetty routamattorullaa, jonka halkaisija on valuputken sisämitta ja pituus parikymmentä senttiä sekä yhtä suorakaiteen mallista sahatavaraa, joka mahtuu putkeen että muutamaa kiilan mallista sahatavara kappaletta. Putken tukkimiseen käytetty sahatavara on 100mm*50mm ja valmistettu ennen valun päättymistä. Letkun irrotuksen jälkeen on välittömästi routamattorulla sullottava sahatavarakappaleilla ja lekalla valuputken muotin tasalle asti, jottei valumuotti pääsee tyhjenemään. Toinen toimiva

tapa on leikata metallinen valuputki lähes puoliksi, johon laitetaan jäykkä metallilevy estämään betonin valumisen pois muotista.

Työnjohtajan tehtävänä on ennen betonointia arvioida todellinen betonimäärä. Arvio tulee ilmoittaa betonin toimittajalle, jotta betoniasema pystyy varamaan raaka-aineita. Yleisesti esimerkiksi kallion vastaisissa perustuksissa tarvittavan betonin määrä selviää arvioimalla keskimääräisen muotin korkeuden, jonka taas muotin valmistaneet rakennusammattimiehet pystyvät ilmoittamaan riittävän tarkasti. Keskimääräinen korkeus kerrotaan suunnitelmista saatavalla pinta-alalla, jolloin saadaan muotin tilavuus. Laudoitustyökunnat valmistavat yleensä urakalla muotin, jolloin muotin mitat ovat heillä hyvin tiedossa. /4./

9.1 Massa

Betonimassa ei sinänsä poikkea maan päällä käytettyihin massoihin nähden. Betonimassan valmistusresepteissä on kiinnitettävä huomiota betonin pumpattavuuteen. Massan notkeutena laattojen valuissa on 1S ja muissa rakenteissa 2S. Maksimi raekoko on yleensä #32mm, mutta tiheästä raudoituksesta ja pumppauksesta johtuen maksimi raekoko on yleensä #16mm. Pienemmällä maksimi raekoolla vältytään myös helpommin harvavaluilta, jos massan tiivistäminen on hankala toteuttaa. Pumpattavuudella vältetään myös pumppauslinjojen tukkeutuminen. Pumppauslinjojen avaaminen tapahtuu normaalisti suoristamalla puomi kohti taivasta. Pumpun suoristaminen maanalaisissa tiloissa on yleensä mahdotonta vapaan korkeuden ollessa rajallinen. /1,4,9./

Massan notkeus on riippuvainen pumppausmatkasta ja valettavasta rakenteesta. Pumppauslinjoja käytettäessä betonimassan runkoaineen maksimiraekoko tulee olla #16mm, jolloin massan pumpattavuus säilyy. Tiheästi raudoitetuissa rakenteissa, joiden tiivistys on hankalaa, massan leviävyys on ratkaisevassa asemassa. Massan notkeus määräytyykin valettavan kohteen mukaan ja siitä miten massa saadaan muottiin. Pumpattavuudesta onkin mainittava betonintoimittajalle ensimmäisissä valuissa uudella massalla. Paine- ja kaasutiiviissä rakenteissa massan onkin oltava hyvin leviävää. /4./

9.2 Tiivistys

Tiivistystyö tapahtuu tavallisen betonirakentamisen tapaan silloin kun tiivistystyön pääsee tekemään betonirakenteen päältä. Rakenteissa joiden muotti rajoittuu, joka sivulta kalliopintaan tai valmiiseen rakenteeseen, tiivistystyö tehdään erikseen muottiin tehdyistä valu- ja tiivistysaukoista. Muottitärytintä on kokeiltu, mutta paine- ja kaasutiiviiden seinien muottimateriaali, sahatavara, ei kestä muottitärytystä. Niinpä tiivistystä tehdään myös muottipintaa täryttämällä. Tähän työhön paras tiivistysväline olisi mekaaninen sauvatärytin, mutta niitä on nykyään huonosti saatavilla. Tämän takia muotin tärytykseen käytetään käsiپیikkauskoneita ja tärysauvoja. Tärysauvat eivät kestä pitkää muotin tärytystä ilman jäähdystystä vaan yli kuumenevat. Muotin tärytys tiivistää betonirakenteen ulkopinnan, mikä voi olla petollista, jos valun yhteydessä tiivistystyö tehdään liian harvakseltaan tai jätetään kokonaan tekemättä valuaukoista. Tällöin valupintaan voi pahimmassa tapauksessa syntynyt sementtiliimasta ulkokuori jättäen itse rakenteeseen harvavalukohtia tai jopa tyhjää tilaa /4/.

9.3 Sitoutuminen

Betonin sitoutuminen tapahtuu maan alaisissa betonirakenteissa yleensä normaaliin tapaan. Kallion vastaisissa seinärakenteissa pitää huomioida se, että vaikka ilma on 12-15°C niin kalliopinta on vain 7-8°C. Ulkoilman ollessa talvella maanalaista tilaa kylmempi on betonin sitoutumiseen ja lujoudenkehitykseen maanvaraisissa laatoissa huomioitava ulkoa tuotavien maa-aineksien lämpötilat. Kallion vastaisissa valuissa heikentävänä vaikutuksena on ilmennyt betonin sitoutumisen hidastuminen, mistä on seurannut valunaikainen valumuotin pullistuminen ja hajoaminen. Eräällä rakennustyömaalla betonin sitoutumisen hidastumisen syyksi rakennusurakoitsija ja betonin toimittaja epäilivät tehonotkistimen hidastavaa vaikutusta alhaisissa lämpötiloissa. Asiaan ei saatu täyttä varmuutta, sillä betonoinnin keskeytyksen syille ei löydetty vastuullisia taloudellisten vaateiden kasvettua osapuolten kesken. Rakennusurakoitsija epäili ohuessa ja korkeassa seinässä käyneen niin, että 20 °C asteisen 8 m³ betonierä levisi ohuessa seinässä leveälle alueelle, jolloin betoni oli suurella pinta-alalla vasten 7-8 °C kalliota, jonka massa suhteessa betonierään oli huomattavan suuri. Betonoinnin yhteydessä kallion suuri massa oli jäähdystännyt betonierää niin paljon, että

betonin tehonotkistena toiminut aine oli vaihtanut toimintaperiaatettaan ja alkanut toimia hidastimen, jolloin betoni sitoutuminen hidastui. Massan lämpötilan lasku johtui siitä, että viereiset materiaalit pyrkivät tasaamaan lämpötilan vakioksi materiaalien kesken. Valun jatkuttua normaalilla nousunopeudella on hitaammin sitoutuvaan betonierään kohdistunut liian suuri valupaine, jolloin muotti hajosi. /2,4./

Sitoutumisen seurantaan on käytettävissä hydrataatiolämmön kehittymisen seurantalaitteita, jotka tulee sijoittaa rakenteeseen rauditusvaiheessa. Kallionvastaisissa valuissa lämmönseuranta-anturat on syytä sijoittaa kallion ja betonin rajapintaan, jos pelkona on kallion jäädyttävä ja samalla sitoutumista heikentävä vaikutus. Lämmönseuranta eli sitoutumisen kehittymiseen on useita menetelmiä. Joissakin mittausanturit jäävät rakenteeseen ja toisissa mittausanturi on suojaputkessa ja poistettavissa. Rakenteen tiiveysvaatimuksista riippuen on harkittava minkälaista mittausmenetelmää käyttää.

9.4 Valupaine

Valupaineen huomioiminen maanalaisissa betonirakenteissa on yhtä tärkeää, ellei tärkeämpää kuin maan päällä tapahtuvassa betonirakentamisessa. Maan alla betonirakenteet ovat lähes aina rajoittuneina kalliopintaan. Valupaineen merkitys korostuu rakenteissa, joissa on vain yksi muottipinta toisen muottipinnan ollessa kalliopinta. Yleensä itse muotti kestää valupaineen. Kriittisimmät kohdat valupaineelle ovat muottilukot ja muottisiteet. Muottilukot saattavat löystyä tiivistystyön tärinästä, joten niitä tulee tarkkailla valun edetessä. Muottisiteiden eli muottipulttauksen määrä on kallionvastaisissa, yksipuolisissa muoteissa kaksinkertainen verrattuna kaksipuolisiin muotteihin. Muottisiteiden tulee olla kiristettynä riittävän kireälle, etteivät ne jouta jolloin muottipinnat etäännyvät toisistaan aiheuttaen rakenteen paksuuden kasvamista. Tällöin vaarana on varauksien ja läpimenojen peittyminen tai täytyminen betonilla. /4./

9.5 Rakennepaksuus

Kallionvastaisissa rakenteissa rakennepaksuus vaihtelee aina. Louhintatekniikasta johtuen on mahdollista, että pitkässä kallionvastaisessa seinärakenteessa toisaalla seinä mahtuu juuri ja juuri paikalleen ja toisaalla kalliopinta on ryöstänyt satojen millimetrien päähän. Rakennepaksuuden vaihtelu kasvattaa kutistumishalkeilun mahdollisuutta. Tämä johtuu rakennepaksuuksien lämmönkehityseroista ja veden haihtumisnopeuden eroista. Ohut rakenne lämpenee hydrataatiolämmön takia nopeammin kuin paksu rakenne. Halkeamaleveyden ja halkeama välin kasvaessa liian suuriksi on halkeamia tukittava, mikä kasvattaa kustannuksia. Kutistumishalkeilua voidaan ehkäistä lisäämällä rakenteeseen lisäteräksiä ja lisäämällä jälkihoitoa. Lisäterästen asentamiseen täytyy kuitenkin olla suunnittelijan ja rakennuttajan hyväksyntä.

9.6 Itsestään tiivistyvä betoni

Itsestään tiivistyvän betonin erikoisominaisuus on se, ettei sitä tiivistetä valun aikana vaan se tiivistyy itsestään. Tämä vähentää työmäärää ja mahdollistaa ahtaiden rakenteiden valamisen. Maanalaisissa rakenteissa itsestään tiivistyvä betoni olisi hyvä, jos rakenteet eivät olisi liian korkeita. Itsestään tiivistyvän betonin valaminen on kuitenkin tapahduttava ilman valutaukoja, jotta tiivistyminen tapahtuu. Tällöin esimerkiksi paine- ja kaasutiiviiden rakenteiden valaminen itsestään tiivistyvällä betonilla asettaisi kappaletavaramuotin kestävyuden koetukselle. Paine- ja kaasutiiviit rakenteet ulottuvat yleensä tunnelin pohjasta kattoon, jolloin korkeutta tulee useita metrejä. Muotin ollessa rajoittunut kalliopintaan ei muotti saavuta riittävää tiiviyttä IT-betonille. IT-betonin käytön ehto on se, että massan maksimirakekoot eivät mahdu muotin saumoista vaan kiilautuvat niihin. Eli #16 mm maksimirakeella kallionvastaaiset saumat eivät saa olla 16 mm leveämpiä. Tästä syystä itsestään tiivistyvää betonia ei käytetä maanalaisissa rakennuskohteissa seinärakenteissa. Matalissa ja tilavissa rakenteissa itsestään tiivistyvä betoni olisikin käyttökelpoinen, mutta massan käytön tämän hetkiset kustannukset ovat vakiintuneelle käytölle liian kalliit. Itsestään tiivistyvällä betonilla voitaisiin toteuttaa korkeita ja tiheästi raudoitettuja seinärakenteita. IT-betonilla voisi valaa ensimmäiset metrit, jonka jälkeen odotettaisiin hydrataatiolämmön lämpöpiikkiä, sitoutumisen alkamisen

merkkinä. Tämän jälkeen olisi mahdollista jatkaa valua normaalisti tiivistettävällä massalla. IT-betonilla saisi valettua korkean seinärakenteen vaikeasti tiivistettävät alueet. /4,13 s.96-97./

10 LAADUNVARMISTUS

Laadunvarmistus maanalaisissa rakenteissa ei sinänsä poikkea muusta rakentamisesta, joten valmistuvien rakenteiden laadun tulee olla sopimusasiakirjojen mukaisia. Liitteissä 1 ja 2 on malleja laadunvarmistus dokumenteissa. Laadunvarmistuskaavakkeiden avulla saavutetaan järjestelmällisesti haluttu tulos. Olosuhteet maan alla vaikuttavat laadun varmistamiseen. Huonossa valaistuksessa on vaikeampi todeta laatua, joten se lisää tarkkuuden ja huolellisuuden merkitystä laadunvarmistuksesta vastaavalle henkilölle. /4./

10.1 Pinnat

Betonipintojen onnistumiseen vaikuttavat muottimateriaalin laatu ja suunnitelmien asettamat vaatimukset. Muottimateriaalin pintaan on kiinnitettävä erityinen huomio, jos käytetään järjestelmämuotteja maan alla, jossa on usein hämärää, jolloin muottipinnan tasaisuutta ja puhtautta on vaikeampi havaita. Mikäli betonipinta tullaan pinnoittamaan, on muotin pintaan levitettävistä muottiöljyistä ja -vahoista, selvitettävä niiden kelpoisuus pinnoitteen alustassa. Muottien kiristys on oltava tasainen, jotta betonirakenteen pinnasta tulee suora. Paine- ja kaasutiiviissä rakenteissa, jotka katkaisevat tunnelin, käytetään tiivistystyössä pinnantärytystä, jolloin pinnasta tulee helposti hyvin tiivistynyt. Pintaa tärytettäessä tulee kuitenkin varoa, ettei yksittäistä lautaa tärytetä liikaa, jottei se irtoa koolauksesta ja painu rakenteeseen. Ilman kosteuden vaikutus pinnoitettaviin pintoihin on myös huomioitava. Liian kostean pinnan maalaaminen ei ole pitkäikäinen. Ilman kosteus on kuitenkin hallittavissa, kuten aikaisemmin on mainittu. /4./

10.2 Lämpimenot

Lämpimenoja betonirakenteisiin valmistetaan ennen betonointia, jos niiden halkaisija ja rakenteen paksuus ovat niin suuria, ettei läpimenoa voi tehdä kovettuneeseen betoniin poraamalla. Tällöin vaihtoehtoina on asentaa läpimenokappale tai varaus betonirakenteeseen. Rakenteeseen jäävän läpimenon sijainti ja oikeellisuus on tarkistettava kaikista saatavilla olevista suunnitelmista. Varausten kohdalle eli niin sanottujen kottaraisten kohdalla varausmuotti on valmistettava niin, että se on myös purettavissa ilman betonirakenteen rikkomista. Varausmuotin voi valmistaa myös putkesta, jolloin muotin purettavuus on myös otettava huomioon, sillä betoni tarttuu liimautumallakin erittäin hyvin. Putkesta valmistetun varausmuotin purettavuutta voidaan helpottaa laittamalla varausmuotti muotin teko vaiheessa kolmeen osaan, jolloin purkuvaiheessa betonirakenne pysyy helpommin ehjänä. Lämpimenojen ja varausten sijainnit tulee varmistaa aina useammasta kuvasta. Esimerkiksi tunnelin katkaisevissa seinissä läpimenokappaleiden sijainti tulee tarkastaa niin pohjakuvasta kuin naamakuvastakin, jotta niiden sijainti tulee varmasti oikein. /4./

Paine- ja kaasutiiviissä rakenteissa läpimenokappaleet asennetaan jo ennen raudoitusta. Nämä läpimenokappaleet vaativat siten kalliossa kiinni olevia tukia, joiden tulee olla hitsaustyöhön kelpaavia eli yleisesti ne ovat ns. mustaa rautaa eli A500HW-harjateräs tankoja paksuudeltaan 25 mm. Lämpimenokappaleiden tukipulttien pituudesta ja sijainnista tulee ohjeistaa työntekijöitä, etteivät ne mene sekaisin raudoituksen tartuntapulttien kanssa, jotka ovat yleensä sinkittyjä harjaterästankoja. Kuvassa 16 läpimenot ja ovet on asennettu ennen raudoitusta. /4./



Kuva 16. Kuvassa on läpimenot, niiden asennusteräksset ja tartunta pultit asennettuna /7/.

10.2.1 Läpimenokappaleiden suojaus

Paine- ja kaasutiiviissä rakenteissa on läpimenokappaleita ja ovia, jotka täytyy suojata ennen muotitusta ja betonointia. Läpimenokappaleet ovat LVIS-rakenteiden reitit läpi paine- ja kaasutiiviiden rakenteiden läpi. Näin ollen läpimenokappaleista jää betonin pinnalle näkyviin laipat ja putkien päät. Laippojen ja putkien päissä on erinäisiä kohtia joihin LVIS-rakenteet kiinnittyvät. Osassa läpimenokappaleita on valmistajien asentamia muovitulppia ja -korkkeja, jotka estävät betonin tunkeutumisen kappaleeseen. Läpimenojen päissä sijaitsevat laipat jäävät näkyviin betonipinnan tasolle tai sen ulkopuolelle, joten ne täytyy suojata, ettei käy niin kuin kuvassa 17. /4./



Kuva 17. Lämpimenokappaleita ei ole suojattu kunnolla ennen valua. /7./

Suojaukseen on käytössä monia eri materiaaleja riippuen materiaalien muodoista ja sijainnista. Suojaukseen on käytetty muottiöljyn levittämistä, muovin kiinnittämistä ilmastointiteipin avulla ja kontakti muovin liimaamista. Onpa ovien betonipintojen vastaisia osia suojattu myös paksuilla työkoneiden nivelten rasvaukseen tarkoitetuilla rasvoilla. Muottiöljy on helppo levittää, mutta sen levityksessä tulee varoa, ettei rakenteen rauditus tule öljytyksi.

Öllyämisen ongelma on se, että öljy tulee levittää betonilta suojattaville pinnoille ennen muotitusta, jolloin öljy ehtii valua metallipinnalta pois ja myös pyyhkiytyä niin työntekijöiden vaatteisiin kuin muottimateriaaliinkin. Öljyn poistumiseen suojattaville pinnoille on myös riittävästi aikaa, sillä betonointityö saattaa olla vasta kahden tai useamman päivän päästä öljyamisestä.

Muovin kiinnittäminen ilmastointiteipillä on myös ongelmista. Lämpimenokappaleiden pinnat ovat työmaaolosuhteissa yleensä pölyisiä, joihin ilmastointiteipin liimapinta tarttuu erittäin huonosti. Ilmastointiteipin kiinnityksessä ongelmaksi muodostuu myös se, ettei teippiä saa vedettyä kulman yli, sillä läpimenokappaleet valmistetaan seinän paksuisiksi. Mikäli ilmastointiteippi yletettäisiin laipan reunan yli, osa ilmastointiteipistä jäisi valun sisään, mikä ei ole toivottua eikä pinnan laatuluokan mukaista. Pelkällä ilmastointiteipillä suojaaminen toimii ainoastaan pienemmissä läpimenokappaleissa ja niissäkin, jos suojattavat pinnat on puhdistettu pölystä teipin tartunnan varmistamiseksi.

11 YHTEENVETO

Tämä insinööri työ on tehty YIT Rakennus Oy:n infrapalveluiden alueelliset ja rakennustekniset infrapalvelut -yksikölle aiheesta maanalaisen betonirakentamisen erityispiirteistä. Erityispiirteinä haettiin niitä tekijöitä, jotka tekevät betonirakenteiden tuotannosta maanalaisissa rakennuskohteissa tavanomaisesta maan päällä tapahtuvasta betonirakentamisesta poikkeavaa. Työn tavoitteena oli koota yhteen yrityksen tuotannossa olevien toimihenkilöiden tiedot maanalaisen betonirakentamisen erityispiirteistä. Yrityksen sisäisessä käytössä ei ole asiasta kirjallista dokumenttia, eikä sellaista tullut vastaan muistakaan julkisista lähteistä.

Maanalaisen betonirakentamisen erityispiirteitä tutkittiin haastattelemalla yrityksen työmaatoiminnassa mukana olevia toimihenkilöitä. Erityispiirteitä eli tekijöitä, jotka hidastavat tuotantoa haettiin myös YIT Rakennus Oy:n urakoiman Turun seudun jäteveden puhdistamon työmaakokous pöytäkirjoista ja työnjohtopalaverien muistioista.

Maanalaisessa betonirakentamisessa on useita asioita, jotka tulee huomioida, jotta rakenteiden valmistaminen tapahtuu suunnitellusti. Ennakkosuunnittelulla voidaan vaikuttaa paljon tuotannon onnistumiseen. Aikatauluun tulee varata joustavuutta, jos työjärjestystä joudutaan muuttamaan. Työjärjestyksen suunnittelussa tulee pyrkiä siihen yleisperiaatteeseen, että työt aloitetaan suuaukon kauimmaisesta paikasta ja sieltä edetään peruuttamalla kohti suuaukkoa. Logistiikan suunnittelulla on myös suuri painoarvo, sillä se voi ratkaista taloudellisen menestyksen. Logistiikan suunnittelussa tulee huomioida maanalaisen tilan muoto ja työjärjestys. Tilan geometriasta tärkein tekijä on vapaa korkeus, joka ratkaisee sen miten rakentaminen tapahtuu. Kun korkeutta on tarpeeksi, tulee niin nosturin kuin esimerkiksi järjestelmämuottien ja valmisosien käyttö mahdolliseksi. Maanalaisissa tiloissa on myös se erityispiirre, että mittasuhteet vääristyvät helposti. Suunnitelmien tarkastelu ja paikan päällä käynti paljastavat minkälainen tila on käytössä.

Maanalaisen betonirakentamisen erityispiirteitä muodostavat ympäristöolosuhteet, jotka ovat keskimäärin suhteellisen vakiot verrattuna esimerkiksi maan päälliseen rakentamiseen. Maanalaisissa tiloissa vaikuttavina tekijöinä ovat tilan muoto ja suuaukkojen määrä. Tilan muoto ja suuaukkojen määrästä ovat riippuvaisia ilman vaihtuminen ja lämpötila, jotka

vaikuttavat myös ilman kosteuteen. Kosteutta maanalaiseen tilaan tulee myös kallion raoista. Kallion rakoilu on paikallista ja vaikuttaa myös louhinnan tulokseen, jolloin voi syntyä poikkeamia suunnitellusta kalliopinnasta. Kalliopinnan poikkeamia kutsutaan ylilouhinnassa ryöstöksi ja alilouhinnassa kovaksi. Ryöstöillä ja kovilla on suuri vaikutus betonirakenteiden valmistukseen. Ryöstöt kasvattavat menekkien määriä ja vaativat ylitysten kirjaamista, jotta niille löytyy maksaja. Ryöstöistä selvittää materiaalien ja kustannusten kasvavalla määrällä ja joskus suunnitelmien muutoksilla. Kovat tuovat enemmän ongelmia, koska töitä ei päästä aloittamaan. Kovat vaikuttavat työjärjestykseen ja lisäävät työtehtävien määrää ja viivästyttävät rakentamista. Kovien löytyessä ne pitää mitata ja suunnitelmat tarkastaa ja lopulta kovat poistetaan, kun vastuulliset ja kustannusten jako ovat selvinneet.

Rakenteen valmistuksessa tulee huomioida työntekijöiden ammattitaito kalliopinnan muodon huomioimisessa. Maanalaisissa tiloissa sijaitsevat rakenteet edellyttävät usein raudoitustyön tekijöiltä erityisammattitaitoa, koska rakenteiden raudoitus myötäilee kalliopintaa ja tällöin terästen taivutukset ja pituudet ovat yksilöllisiä. Muotin valmistuksessa erikoisosaamista tarvitaan muotin ja kalliopinnan rajalla, jottei betonimassa valu ulos valun yhteydessä. Kalliopinnan ja muotin liitos onkin aina tehtävä kappaletavarasta.

Valutyössä voidaan joutua käyttämään valuputkia ja -aukkoja sekä muottipinnan tärytystä. Valuputkia ja -aukkoja käytetään silloin, kun muottisivut ovat rajoittuneet ympäröiviin rakenteisiin, yleensä kallioon. Valuputkien avulla pystytään pumppaamaan betoni muotin korkeimpaan kohtaan, jolloin saadaan muotti helpommin täyteen. Valuaukkojen avulla saadaan massaa tiivistettyä muottipinnan tärytyksen lisäksi normaalilla tiivistyskalustolla. Niiden avulla pystytään myös rajoittamaan betonimassan pudotuskorkeutta ja seuraamaan nousunopeutta. Betonimassaan on myös kiinnitettävä huomiota, jotta se on pumpattavaa ja täyttää muotin. Pumpattavuus ja leviävyys ovat säädeltävissä muuttamalla suurinta raekokoa ja notkeutta. Itsetiivistyvän betonin käyttö ei ole toimivaa maanalaisissa tiloissa, joissa on paljon kallion vastaisia rakenteita. Kallion vastaisten rakenteiden muotin tiiveyttä ei saada riittäväksi IT-betonille.

VIITELUETTELO

- /1/ Turun seudun jäteveden puhdistamon betonipöytäkirjat aikaväliltä 22.5.2006-28.2.2007.
- /2/ YIT Rakennus OY:n Turun seudun jäteveden puhdistamon työmaan työmaakokouspöytäkirjat 22.5.2006 - 23.3.2007
- /3/ Facta tietosanakirjan kotisivut [WWW-dokumentti]
<<http://www.facta.fi/?aid=56344&search=true>>, luettu 12.1.2007
- /4/ Yit rakennus Oy:n 9 toimihenkilön haastattelut 24.1.2007-27.2.2007
- /5/ Peri Suomi kotisivut [WWW-dokumentti] <<http://www.perisuomi.fi/tuet.html>>, luettu 15.3.2007
- /6/ YIT Rakennus Oy:n Turun seudun jäteveden puhdistamon kuvatiedostokansio 9-11.1.07
- /7/ YIT Rakennus Oy:n yhteisväestösuoja 3 kuvatiedosto.
- /8/ YIT Rakennus Oy:n postitse toimittaman pulttausjousi, josta on kotona otettu kuva 22.3.2007.
- /9/ Turun seudun jäteveden puhdistamon rakennesuunnitelmat.
- /10/ RIL 154-1 Tunneli- ja kalliorakennus I, 1987, Otapaino, Espoo
- /11/ YIT Rakennus Oy:n Turun seudun jäteveden puhdistamon työjohtopalaverimuistiot
- /12/ Vuolio Raimo, Räjätystekniikan luentomuistio, 2007
- /13/ Betonikeskus ry, ITB: itsetiivistyvä betoni, 2004, Suomen betonitieto, Helsinki
- /14/ Senaattikiinteistöt, Yhteisväestönsuoja 3:n Rakennusselostus, Senaattikiinteistöt, 2004

/15/ Kalliotilojen vesitiiveyden hallinta [WWW-dokumentti],
<http://virtual.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2147.pdf>, luettu 30.3.2007

BETONOINNIN TYÖ- JA LAATUSUUNNITELMA

<u>BETONOINTIKOHDE</u>			
<u>Työmaa:</u>	_____	<u>Rakenneosa:</u>	_____
<u>Osoite:</u>	_____	<u>Teor. betonimäärä:</u>	_____
<u>Vast. työnjohtaja:</u>	_____	<u>Liittyvät rakenteet:</u>	_____

<u>BETONIMASSAN OMINAISUUDET</u>					
<u>Betonimassan toimittaja:</u>	_____				
<u>Lujuus- ja rakenneluokka:</u>	_____				
<u>Sementti:</u>	_____				
<u>Suurin raekoko:</u>	_____	<u>Lisäaineet:</u>	_____		
<u>Notkeus:</u>	_____	<u>Seosaineet:</u>	_____		
<u>Vesitiiveys</u>	ei	<input type="checkbox"/>	on	<input type="checkbox"/>	
<u>Pakkasenkestävyys:</u>	ei	<input type="checkbox"/>	on	<input type="checkbox"/>	<u>Mikä?</u> _____
<u>Muut tiedot:</u>	_____				

BETONOINTIKALUSTO									
<u>Hihnakuljetin</u>	<input type="checkbox"/>		<u>Tärysauvat</u>	<input type="checkbox"/>	__ kpl		<u>Vastaanottosiilo</u>	<input type="checkbox"/>	__ kpl
<u>Pumi</u>	<input type="checkbox"/>		<u>Tärypalkki</u>	<input type="checkbox"/>	__ kpl		<u>Nostoastia</u>	<input type="checkbox"/>	__ kpl
<u>Betonipumppu</u>	<input type="checkbox"/>	__ kpl	<u>Hiertokone</u>	<input type="checkbox"/>	__ kpl				
<u>Muu kalusto:</u>	_____								

TYÖNJOHTO JA TYÖVOIMA				
<u>Betonityönjohtaja:</u>	_____		<u>1-lk:n betonityönjohtaja:</u>	_____
<u>Työvuorot:</u>	klo _____		klo _____	
<u>Resurssit / työvuoro:</u>	<u>- vastaanotto</u>	_____	<u>- tunkkaaja(liuku)</u>	_____
	<u>- tiivistys</u>	_____	<u>- nosturikuski</u>	_____
	<u>- pinnan teko/hierto</u>	_____	<u>- muita</u>	_____
	<u>- jälkihoito</u>	_____		_____
	<u>- remontti</u>	_____		_____
		_____		_____

AIKATAULU					
<u>Betonointipäivä:</u>	_____	<u>Betonointi alkaa:</u>	_____	<u>Betonointi päättyy:</u>	_____
<u>Betonimassan toimitusaikataulu:</u>	_____	<u>krm/tunti</u>	_____	<u>minuutin välein</u>	
<u>Valunopeus:</u>		_____	<u>m³/h</u>		
<u>Nousunopeus:</u>	<input type="checkbox"/> <u>seinä</u>	_____	<u>m/h</u>		
	<input type="checkbox"/> <u>pilari</u>	_____	<u>m/h</u>		
	<input type="checkbox"/> <u>muu</u>	_____	<u>m/h</u>	_____	

<u>VALMISTELU JA ALOITUSEDELLYTYKSET</u>			
<input type="checkbox"/>	<u>Kulkureitin varmistus</u>	<input type="checkbox"/>	<u>Varausten ja valuun asenn.laitteiden tarkastus</u>
<input type="checkbox"/>	<u>Betonointikaluston kunnan varmistus</u>	<input type="checkbox"/>	<u>Muottien kastelu/puhdistus</u>
<input type="checkbox"/>	<u>Varakaluston varmistus</u>	<input type="checkbox"/>	<u>Muottien höyrytys</u>
<input type="checkbox"/>	<u>Raudoituksen tarkastus</u>	<input type="checkbox"/>	<u>Säätiedustelu</u>
<input type="checkbox"/>	<u>Laudoituksen tarkastus</u>	<input type="checkbox"/>	<u>Työvaiheen aloituspalaverin pito</u>
<input type="checkbox"/>	_____	<input type="checkbox"/>	_____

<u>VARAUTUMINEN HÄIRIÖIHIN</u>	
<u>Katkos betonin toimituksessa:</u>	_____
<u>Sähkökatkos:</u>	_____
<u>Kaluston rikkoutuminen:</u>	_____
<u>Muotituksen pettäminen valun aikana:</u>	_____
<u>Työturvallisuus ja varautuminen hätätapauksiin:</u>	_____

BETONOINTITYÖ				
<u>Betonin siirto valukohteeseen:</u>				
<input type="checkbox"/> Betonipumpulla	<input type="checkbox"/> Pumilla	<input type="checkbox"/> Bet.autosta rännillä	<input type="checkbox"/> Nostoastia+nosturi	<input type="checkbox"/> Bet.autosta
<input type="checkbox"/> Muu tapa				
<u>Betonin tiivistäminen:</u>				
<input type="checkbox"/> Sauvatärytys	<input type="checkbox"/> Tärypalkki	<input type="checkbox"/> Muottitärytys	<input type="checkbox"/> Muu	_____
<u>Työsaumat:</u>				
<input type="checkbox"/> Saumanauha	<input type="checkbox"/> Jälki-inj.letku	<input type="checkbox"/> Saumanauha+jälki-inj.letku	<input type="checkbox"/> Muu	_____
<u>Betonipinta:</u>				
<input type="checkbox"/> Raakavalu	<input type="checkbox"/> Puuhierto	<input type="checkbox"/> Teräshierto	<input type="checkbox"/> Muu	_____
<u>Muuta asiaa:</u>				

JÄLKIHOITO JA SUOJAUS

<input type="checkbox"/> Jälkihoitoaine	<input type="checkbox"/> Kastelu vedellä	<input type="checkbox"/> Muovipeite	<input type="checkbox"/> Pressutus	<input type="checkbox"/> Lämmöneristys	<input type="checkbox"/> Lämmitys
Huomautuksia: _____					

LUJUUSKEHITYKSEN SEURANTA

<input type="checkbox"/> Lämpötilaseuranta	<input type="checkbox"/> Olosuhdekoekpl	<input type="checkbox"/> Normikoekpl	<input type="checkbox"/> Rakennekoekpl	<input type="checkbox"/> Kimmovasaratestaus
Huomautuksia: _____				

LAADUNVARMISTUSTyönaikainen laadunvarmistus

<input type="checkbox"/> Muotin painumatarkkailu valun aikana	<input type="checkbox"/> Betonimassan ilmamäärän mittaus
<input type="checkbox"/> Betonimassan lämpötilaseuranta	<input type="checkbox"/> _____

Jälkimittaukset ja tarkastukset

<input type="checkbox"/> Valmiin rakenteen tarkemittaus	<input type="checkbox"/> Betonin puristuslujuus	<input type="checkbox"/> P-luku
<input type="checkbox"/> Betonipinta muottia vasten	<input type="checkbox"/> Halkeamat betonipinnassa	<input type="checkbox"/> _____

Huomautuksia:	_____
---------------	-------

Laatinut: / 20 _____ Tarkastanut: / 20 _____

YIT		BETONITÖIDEN LAADUNVARMISTUSSUUNNITELMA	
YLEISTIEDOT			
Työnro:			
Työmaan nimi:		Puhelin:	
Laatija:		Puhelin:	
Tilaaaja:		Puhelin:	
Valutyönjohtaja:		Puhelin:	
1-luokan bet.rak. työnjohtaja:		Puhelin:	
Tilaaajan valvoja:		Puhelin:	
VALETTAVA KOHDE			
Kuvaus:			
Piirustukset nro:			
Rakennusosa:	Rasti	Rasti	Muu:
	Antura <input type="checkbox"/>	Mv. laatta <input type="checkbox"/>	
	Perusmuuri/sokkeli <input type="checkbox"/>	Pilari <input type="checkbox"/>	
	Seinä <input type="checkbox"/>	Holvi <input type="checkbox"/>	
ENNEN BETONOINTIA TEHTÄVÄT TOIMET JA TARKASTUKSET			
Muotti:	Tuenta:	Suuruus:	Tartuntaosat:
	Puhtaus:	Mitat:	Muut:
Raudoitus:	Kpl-määrä/jako:	Dimensiot:	Teräslaatu: Rasti
	Jatkokset yms.:	Korokkeet:	A 500 HW
	Sidonta:	Suojaetäisyys mm:	B 500 K
			Muu:
Betonin lujuus- ja laatuiluokka:			Suurin raekoko mm:
Varmistetaan:	Suunnitelmista	Kuormakirjoista	Koekappalein:
Erityisvaatimukset:	Vesitiiveys:	Pakkasenkest.:	Muu:
Varmistetaan:	Suunnitelmista	Kuormakirjoista	Koekappalein:
Notkeus:		sVB	
Varmistetaan:	Kuormakirjoista	Silmämääräisesti	Mitaten:
Betonitehdas:			Puhelin:
Siirtokalusto:	Pumppu	Saumapumppu	Puomiauto
	Torninosturi	Hihnakuuljetin	Muu:
	Autonosturi	Ränni	
Tiiv.menetelmä:	Tärysauva	Tärypalkki	Muu:
Varautuminen häiriöihin:	Sähköhäiriöt:		Puhelin:
	Varapumppu, nosturi yms.:		Puhelin:
	Vara-asema:		Puhelin:
TYÖSUORITUS			
Muottityö:			
Muottilaji:	Lauta tms.	Vaneri	Järjestelmämuotti
			Kuppiholvi
Pinnan laatuiluokka:	1	2	3
Työkunta (hlöä):	Kirvesmies:	Mittamies:	Rakennusmies:
Välkkeet & pultit:	Vesitiiviit:	Laippa/tulppaus:	Muoviputki
			Puu
Pulttimateriaali	Pyöröteräs 10mm	Alumiini 10mm	Muottijärjestelmän tangot
Raudoitustyö:			
Varmistetaan:	Kuormakirjoista	Ainestodistuksella	Sulatuserälapusta
			Teräksen merkinnöistä
Sidontatyö:	Sidontalanka	Sidosten määrä:	Paikallaanpysyvyys:
Työkunta (hlöä):	Raudoittaji:	Rakennusmies:	
Betonointityö:			
Betonimäärä:		m3	Valunopeus:
Kerrospaksuus:	200 mm	250 mm	300 mm
Nousunopeus:	0,30 m/h	0,50 m/h	0,75 m/h
			Muu: mm
Työkunta (hlöä):	Pumppari:	Letkumies:	Hiertäjä:
	Nosturinkulj.:	Vibramies:	Muita:
Pinnan käsittely:	Raakavalu	Puuhierto	Teräshierto
			Imubetonointi
Jälkihoito:	Vesi+peitto	Jälkihoitoaine	Muu:
Pystyrak. jälkitäytyys:	0,5 h valusta	1 h valusta	2 h valusta
Lämmitys ja suojaus:			
Muottien purku:	Kun jäätymislujuus on saavutettu	Kun lujuus on	% nimellislujuudesta
Jälkituenta:	Holvien jälkituenta: terästopat, 1 tolppa /	m2	Aika: vrk
VALULUPA			
Olemme tarkastaneet kyseisen rakenteen betonointiin liittyvät asiat, ja valulupa on myönnetty.			
Aika ja paikka:			
Betonityönjohtajan allekirjoitus:			
Työmaan valvojan allekirjoitus:			