

Henri Soronen

Märkäruiskubetonoinnin työvaiheiden kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työnjohto

Mestarityö

15.5.2013

Tekijä(t) Otsikko	Henri Soronen Märkäruiskubetonoinnin työvaiheiden kehittäminen
Sivumäärä Aika	33 sivua + 1 liitettä 15.5.2013
Tutkinto	Rakennusmestari (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennusalan työnjohto
Suuntautumisvaihtoehto	Talonrakennustekniikka
Ohjaaja(t)	Työmaapäällikkö Pentti Nieminen Työmaapäällikkö Markku Okkonen Lehtori Juha Virtanen
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli analysoida maanalaisten louhittujen tilojen lopullisten lujitusten toteutumista märkäruiskubetonoinnin osalta ja siinä ilmeneviä ongelmia. Tavoitteena oli myös laatia työnjohtajan muistilista, joka auttaisi ratkaisemaan esiin tulleita ongelmia. Apuna työssä käytettiin ruiskubetonistandardeja ja alan kirjallisuutta. Kenttätutkimuksissa tutkittiin kahta valmistunutta työmaata ja haastateltiin alan ammattilaisia.</p> <p>Työssä käsitellään märkäruiskubetonointiin liittyviä työvaiheita niiden tapahtumajärjestyksessä siitä hetkestä, kun tila on saatu louhittua, siihen hetkeen, kunnes tila on valmis. Työvaiheiden esittelyt sisältävät niihin liittyviä työmenetelmiä ja laatuvaatimuksia. Lopullisen lujitustyön aloitusvaatimukset käsitellään ja kuvataan prosessia, miten ruiskubetonin ennakkokokeet tehdään.</p> <p>Opinnäytetyöstä selviää, että ruiskubetonoinnin eri työvaiheissa esiintyy virheitä, joihin esitettiin ratkaisut opinnäytetyössä. Pääosin virheet johtuivat huolimattomuudesta ja huonosta työnjohtamisesta. Parempi ohjeistus ja laadittu työhöje auttavat pienentämään virheiden riskiä ja on käyttökelpoinen apuväline itsessään, vaikkakin laatuvaatimukset pitää edelleen selvittää itse kulloisenkin työmaan rakennustyöselosteesta ja voimassa olevista standardeista.</p>	
Avainsanat	ruiskubetonointi, ruiskubetonin laadunvalvonta, ruiskubetonin ennakkokokeet.

Author(s) Title	Henri Soronen Development of shotcreting stages
Number of Pages Date	33 pages + 1 appendices 15 May 2013
Degree	Bachelor of Construction Management
Degree Programme	Degree Programme in Construction Site Management
Specialisation option	Construction Engineering
Instructor(s)	Pentti Nieminen, Sitemanager Markku Okkonen, Sitemanager Juha Virtanen, Lecturer
<p>The aim of this thesis was to inspect the execution of final consolidation with sprayed concrete in underground working sites and the problems concerning it. The aim was also to create a small helpful instructions list to help solve the problems that were found. The subject was studied with the aid of sprayed concrete standards and literature. Field research was done by inspecting two working sites and by auditioning several professional working people.</p> <p>All stages of work, that are connected with sprayed concrete work are introduced in chronological order, from the moment the actual blasting work is finished in the area, until the area's final consolidation is ready. The stages of work include quality control and working methods. Starting requirements of the final consolidation with sprayed concrete were introduced as well as the system how the used concrete recipes are being tested.</p> <p>The final thesis shows that many common problems exist. Solutions for these problems are presented in the introduction of different working stages. The majority of problems are caused by basic errors and supervision in the execution of work. Better instructions and a list developed will decrease the risk of errors in future and is a helpful manual in itself, but still different quality requirements need to be checked from the specifications and the sprayed concrete standards.</p>	
Keywords	shotcreting, quality control of sprayed concrete, testing of sprayed concrete.

Sisällys

Määritelmät

1	Johdanto	1
1.1	Yrityksen esittely	1
1.2	Tausta	1
1.3	Tavoitteet	2
1.4	Työn rajaus	2
1.5	Tutkimusmenetelmät	2
1.6	Case-kohteet	3
1.6.1	Louhintaurakka 9, Ruoholahti	3
1.6.2	Louhintaurakka 7, Koivusaari	3
2	Valmistelevat työt	4
2.1	Työvaiheen toteutussuunnitelmat	4
2.2	Ennakkokokeet	4
2.2.1	Ajoitus ja resurssit	5
2.2.2	Paikka	5
2.2.3	Koeruiskutusten kulku	5
2.2.4	Koekappaleiden säilytys ja kuljetus	6
2.2.5	Asemalla tehtävät testit ja raportti	7
2.3	Louhinnan työvaiheet	7
2.3.1	Rusnaus	8
2.3.2	Pesu	10
2.3.3	Varustelut	11
2.3.4	Salaojitus	12
2.3.5	Osa-alueen hyväksyntä	14
2.4	Materiaalit ja säilytys	15
2.5	Kalusto	16
2.6	Aloituspalaveri	17
3	Ruiskubetonointityö	18
3.1	Työturvallisuus	18
3.2	Työjärjestys	21
3.3	Massanlaadun valvonta	22
3.3.1	Massan lämpötila	23
3.3.2	Painumakoe	23

3.3.3	Kuitujen määrä ja seulonta	23
3.3.4	Massan hylkäys	24
3.4	Työnaikainen laadun valvonta	24
3.4.1	Ruiskutusetäisyys ja nopeus	25
3.4.2	Ruiskutuskulmat ja liike	25
3.4.3	Ruiskutuspaksuudet	26
3.4.4	Kerrosten kuivumisajat	27
3.5	Työnjälkeinen laadun valvonta	28
3.5.1	Valmiin betonirakenteen kelpoisuus	28
3.5.2	Vahvuusmittaukset	28
3.5.3	Tartuntalujuus	29
3.5.4	Ruiskubetonin vauriot	30
4	Jälkihoito	31
5	Yhteenveto	32
6	Lähteet	33

Liitteet

Liite 1. Tarkastuslista

Määritelmät

Hukkaroiskeeksi kutsutaan ruiskubetonin sitä osaa, joka ei tartu ruiskutettavalle pinnalle, vaan sinkoutuu siitä pois.

Itselleluovutus on tilanne, jossa valmistunut osa-alue luovutetaan itselle, samoin kuin se luovutettaisiin tilaajalle. Kaikki vaiheet käydään siis läpi, jotta itse luovutustilaisuudessa kaikki olisi oikeasti valmista.

Kuituruiskubetonilla tarkoitetaan ruiskubetoniamon, johon on lisätty teräs- tms. kuituja.

Kuivaseosmenetelmässä vesi sekoitetaan kuivaseosmassaan ruiskun suuttimessa.

Märkäseosmenetelmässä käytetään valmiiksi sekoitettua betonimassaa.

Normikoe on koe, jossa käytetään hyväksytyjä betonin testausmenetelmästandardien mukaisia koekappaleita, testausmenetelmiä ja olosuhteita.

Rakennekoe on koe, jossa käytetään hyväksytyjä betonin testausmenetelmästandardien mukaisia rakennekoekappaleita, testausmenetelmiä ja olosuhteita.

Ruiskubetonisaloja on ruiskubetonoitavaan pintaan asennettu salaoja, jota pitkin johdetaan ruiskubetonikerroksen taakse johtuva vesi pois.

Rusnaus on työtä, jossa irtonaisia kiviä poistetaan louhitulta alueelta joko koneellisesti tai käsin.

Varusteluilla tarkoitetaan maanalaisella louhintatyömaalla tuuletus-, vesi-, ja sähkölinjoja.

Tuore betoni on betonia ennen sitoutumista

Työnaikainen ruiskubetonointi tarkoittaa louhintatyön aikana tehtävää ruiskubetonointia.

Täyttöruiskutuksella tarkoitetaan onkaloiden tai tyhjätilojen täyttämistä ruiskubetoniamassalla siten, että rakenne toimii suunnitellulla tavalla.

1 Johdanto

1.1 Yrityksen esittely

Lemminkäinen Infra Oy toimii infrarakentamisen kaikilla osa-alueilla kaikkialla Suomessa ja Itämeren alueella. Kallionrakentamisessa Lemminkäinen tekee mm. varastoja, paikoitushalleja, väestönsuojia ja erilaisia tunneleita. Lemminkäinen on johtava kalliorakentaja sekä Suomessa että Ruotsissa. Perinteisen louhinnan, kallion tiivistyksen ja vahvistuksen lisäksi Lemminkäinen tarjoaa myös kokonaisvaltaista palvelua suunnittelun ohjauksesta aina valmiin urakan sisustustöihin.

1.2 Tausta

Ruiskubetonoimalla voidaan lujittaa kalliota ja maata, korjata vanhoja betonirakenteita ja tietenkin valmistaa erilaisia betonirakenteita. Ruiskubetonointia voidaan myös käyttää yksipuolisten muottien avulla tapahtuvassa betonointityössä. Nykyaikaisten lisäaineiden avulla voidaan valmistaa myös erikoiskohteita, kuten vesialtaita ja tunneleita.

Maanalaisessa rakentamisessa ruiskubetonia käytetään sekä turvaruiskutuksiin louhintojen aikana, että lopullisten tilojen lujittamiseksi. Maanalaisissa tiloissa märkäruiskubetonointi on nykyään suositumpi menetelmä kuin kuivaruiskubetonointi. Molempia menetelmiä kuitenkin käytetään kohteesta riippuen. Ahtaissa kuiluissa käytetään kuivaruiskubetonointia, jos tila ei riitä märkäruiskubetonointiin kehitettyjen laitteiden tehokkaaseen käyttöön.

Ruiskubetonointiin on Suomessa käytössä kaksi tekniikkaa: märkäruiskutus ja kuivaruiskutus. Märkäruiskubetonoinnissa valmis betonimassa toimitetaan työkohteeseen esimerkiksi betoniautolla ja syötetään ruiskutuslaitteistoon. Betoni pumpataan massaletkua pitkin suuttimelle, josta se ruiskutetaan kohteeseen paineilman avulla. Lisäaine lisätään massan joukkoon vasta suuttimessa. Se on edullisin ja nopein kalliopintojen betonointimenetelmä, eikä se välttämättä vaadi muotteja tai erillistä raudoituista. Kuivaruiskutustekniikalla betonimassa pumpataan massaletkua pitkin ilmanpaineen avulla suuttimelle, jossa vesi lisätään.

Lopullinen ruiskubetonointi päästään yleensä aloittamaan varsin myöhäisessä vaiheessa, jonka johdosta lopullisen ruiskutuksen aikataulu saattaa muodostua tiukaksi.

Työsuunnittelussa ja toteutuksessa tapahtuvat virheet aiheuttavat tuotannon katkoksia ja aikatauluviiveitä. Huollon- ja ennakoivien korjauksien puute lisää riskiä työkoneiden rikkoutumiseen ja toimintahäiriöihin. Työn toteutuksessa tapahtuvat virheet aiheuttavat laadullisen ja taloudellisen riskin, joka tulee pahimmillaan esiin lopullisen rakenteen laadunvalvonnan yhteydessä. Käytännössä tämä tarkoittaa virheiden paljastumista kuukauden viiveellä testikappaleiden testaamiseen kuluvan ajan takia (28 päivää). Ongelmiin on osattava puuttua ajoissa ja itse työvaihe ymmärrettävä, jotta työstä tulee kannattavaa ja työn jäljestä suunnitelmien mukaista.

1.3 Tavoitteet

Mestarityön tavoitteena on löytää ja tunnistaa lopullisten lujitustöiden virheitä ja käydä tuotantoprosessi läpi osa-alueittain siten, että ongelmakohtiin olisi jokin ratkaisumalli ja työvaihe saataisiin tehtyä taloudellisesti sovitussa aikataulussa ja noudattaen laadulle asetettuja vaatimuksia. Tavoitteena on myös auttaa työnjohtajaa suunnittelemaan ja johtamaan lopullisen ruiskubetonoinnin ja siihen liittyvien työvaiheiden työn toteutusta.

1.4 Työn rajaus

Opinnäytetyössä keskitytään märkäruiskubetonointiin ja siihen liittyviin työvaiheisiin valmistelevista työvaiheista valmiiseen pintaan. Aihetta käsitellään työnjohtajan näkökulmasta. Kuivaruiskutekniikalla toteutettuja työvaiheita ei käsitellä. Myöskään betonin osa-aineisiin tai lujuudenkehitykseen ei oteta tarkasti kantaa.

1.5 Tutkimusmenetelmät

Työssä käytetään apuna omaa kokemusta, alan kirjallisuutta ja voimassa olevia standardeja. Lisäksi tutkitaan toteutunutta ja vielä työn alla olevaa työkohtetta. Haastatteleamalla alan ammattilaisia työn suorittajista heidän esimiehiinsä ja valvojiin, pyritään saamaan kattava kokonaiskuva tilanteesta ja märkäruiskubetonointiin liittyvistä ongelmista.

1.6 Case-kohteet

1.6.1 Louhintaurakka 9, Ruoholahti

Louhintaurakka 9 välille Ruoholahti - Salmisaari louhittiin 2 vierekkäistä metrotunnelia, huoltotunneli sekä ajotunnelin laajennus. Yhteensä louhittavaa massaa oli n. 81 000 m³ ja ruiskubetonimäärä 4 500 m³. Projektiin kuului myös olemassa olevan metron kääntöraiteen suojausrakenteet sekä kuilulouhintaa. Rakennuttajana toimii Sweco PM Oy ja pääurakoitsijana Lemminkäinen Infra Oy. Projektin tilasi Länsimetro Oy. Urakkahinta oli 10 miljoonaa euroa. Rakentaminen alkoi talvella 2009 ja valmistui kesällä 2011.

1.6.2 Louhintaurakka 7, Koivusaari

Louhintaurakka 7:ssä louhitaan koivusaareen kaksi vierekkäistä ratatunnelia ja asema. Louhittavaa massaa on 160 000 m³ ja ruiskubetonia 5 500m³. Urakassa louhintaa suoritetaan meren alla sekä tehdään metroaseman sisäänkäynnit alueelle, missä meri rajataan porapaalukaivannoilla ja maavalleilla. Rakennuttajana toimii Sweco PM oy ja pääurakoitsijana Lemminkäinen Infra Oy. Tilaajana Länsimetro Oy. Urakkahinta 21,7 miljoonaa euroa. Rakentaminen alkoi syksyllä 2011 ja sen piti loppua helmikuussa 2013. Projekti jatkuu toistaiseksi erityisesti metroaseman sisäänkäyntien rakentamisen yhteydessä tulleiden lisäysten ja muutosten takia.

2 Valmistelevat työt

Ruiskubetonointiin hyvin valmistautuminen on tärkeää, jotta itse työvaihe sujuisi mahdollisimman häiriöttömästi ja ilman turhia katkoksia tuotannossa. Ruiskutuksessa on useita riskejä, jotka toteutuessaan saattavat viivyttää tuotantoa useitakin päiviä. Esimerkiksi jos salaojittaminen ei pysy aikataulussa, on vaarana että ruiskubetonointikalusto joutuu seisomaan odottaessaan uuden työkohteen valmistumista. Kaluston rikkoutumisesta seuraavat katkokset ovat tavallisia, odotettavissa olevia häiriöitä. Niihin varaudutaan varaamalla usein tarvittavia osia työmaalle, jotta rikkoutumisien aiheuttamien katkokkien aika saadaan minimoitua tuotannossa. Ennen ruiskubetonitöiden alkamista laaditaan työ- ja laatusuunnitelmat työvaiheille, jotka käydään läpi työntekijöiden kanssa aloituspalaverissa ja allekirjoitetaan. Miehistön, myös aliurakoitsijoiden, pitää olla perehdytetty työmaalle.

2.1 Työvaiheen toteutussuunnitelmat

Ennen töihin ryhtymistä laaditaan työvaiheen toteutussuunnitelma jokaiselle työvaiheelle. Siinä käsitellään työn aloitusedellytykset, lähtötiedot, toteutusajankohta ja työajat, resurssit, materiaalit, työjärjestys ja –menetelmät, jälkihoito, laadunvarmistus, työturvallisuus ja ympäristö sekä dokumentointi. Työvaiheen toteutussuunnitelma laaditaan rakennustyöselostuksessa esitettyjen vaatimusten mukaan.

2.2 Ennakkokokeet

Ennakkokokeiden tarkoitus on testata käytettävät reseptit siten, että suunnitelmien vaatimat ominaisuudet tulevat täytettyä. Reseptit laaditaan yhteistyössä betoniaseman kanssa. Tätä ennen on varmistettu, että betoniaseman toimittama runkoaineen rakeisuuskäyrä on ohjealueella. Työmaalle laaditaan ennakkokoesuunnitelma, joka perustuu suunnitelmissa ja työselosteessa annettuihin vaatimuksiin.

Koeruiskutukset tulee tehdä samalla henkilökunnalla, materiaaleilla, laitteilla ja ruiskutusmenetelmällä kuin tuotannon aikana. Koeruiskutukset eivät ole tarpeellisia, jos on pitkäaikainen kokemus samanlaisesta ruiskutuslaitteistosta ja samasta henkilökunnasta. Betonin suunnittelu on tehtävä uudelleen, jos tapahtuu merkittäviä muutoksia osa-aineissa, koostumuksessa, henkilökunnassa tai laitteissa, kuten alla on esitetty:

- muutoksia korkeampaan vesi-sementtisuhteeseen.
- kiviaineksen tyyppiin tai tavarantoimittajan muutos
- kiviaineksen suurimman raekoon muutos

- lisä- tai seosaineiden muutos
- sementin tyyppin, luokan tai tavarantoimittajan muutos
- kuitutyyppin tai tavarantoimittajan muutos.
(SFS-EN 14487-1, 19).

2.2.1 Ajoitus ja resurssit

Koeruiskutuksille suunnitellaan aika ja paikka sekä laaditaan aikataulu. Aikataulun teossa tulee huomioida, että koeruiskutus vaatii pidemmän ajan verrattuna normaaliin ruiskutukseen. Tehtävään täytyy varata riittävästi resursseja. Tuloksien pitää olla käytävissä ennen lopullisten ruiskubetonointitöiden aloittamista.

Tarkistetaan kaluston toimivuus ja käydään ennakkokoesuunnitelma läpi työntekijöiden kanssa. Varataan ennakkokoesuunnitelman mukaiset massat suunnitelluille päiville.

Hankitaan tarvittava määrä koelaatta muotteja työmaalle. Muotit ovat kooltaan 500 x 500 x 120 mm ja niiden pitää olla vettä imemättömästä materiaalista tehtyjä. Muotit käsitellään muottiöljyllä tai kostutetaan vedellä ennen ruiskutusta. Kuitujen pesuun tai kellutukseen varataan astiat, siivilä ja tarvittaessa magneetti, mikäli käytettävässä massassa on teräskuituja. Lisäksi tarvitaan lapio, vaaka kuitujen punnitsemista varten, painumakartio, alusta, mitta, rakennusmuovia sekä lämpömittari betonin lämpötilan mittaukseen.

2.2.2 Paikka

Valitaan tunnelista paikka, jonka olosuhteet vastaavat lopullisten lujitustöiden olosuhteita ja eristetään se kartioin ja lippusiimoin. Pestään suunniteltu alue ja järjestetään vesipiste lähelle aiottua koealuetta.

2.2.3 Koeruiskutusten kulku

Asetetaan ruiskutettavien koe-erien laattamuotit omiin ryhmiinsä tukevasti seinää vasten nojalleen. Kun ollaan valmiita aloittamaan, tilataan asemalta 2 m³ kuorma jokaiselle testattavalle reseptille erikseen.

Massan saapuessa massasta otetaan ennakkokoesuunnitelman mukaiset testit. Määritetään notkeus painumatestillä sekä mitataan kuitupitoisuudet kuormasta. Tarkemmat kuvaukset näistä testeistä kohdassa 3.3 Massanlaadun valvonta.

Ennakkokoesuunnitelman mukaisten testien jälkeen massa pumpataan massaletkujen läpi, jotta varmistutaan massan tulevan läpi suuttimelle asti. Sitten kiinnitetään letku

suuttimeen ja aloitetaan ruiskutus suunniteltuihin kalliopintoihin. Massavirta säädetään tasaiseksi pintojen ruiskutuksen aikana ja sen jälkeen ruiskutetaan koelaatat. Koelaattojen ruiskutus suoritetaan samalla tekniikalla kuin seinän ruiskutuskin ylitruiskuttamalla kerroksittain. Ruiskutuksen aikana arvioidaan silmämääräisesti massan ruiskutettavuutta. Ruiskutuksen jälkeen seinästä otetaan näytteet kuitupitoisuuksien määrittämiseksi. Kuitupitoisuudet määritetään kuormasta ja rakenteesta. Rakenteeseen jää vähemmän kuituja johtuen kimpoilusta. Tämän johdosta valmistettavassa reseptissä on otettava huomioon kuitujen hävikki ruiskutustyön aikana. Muotteihin merkitään maalilla numero ja päivämäärä, ja ne suojataan rakennusmuovilla. Samat merkinnät tehdään ruiskubetonointipöytäkirjaan, mistä käy ilmi käytetty resepti, koelaatikoiden koko, koelaatikoiden numerot, painumatestin tulokset, massan lämpötila, kallion lämpötila, ruiskutetun erän kuormakirjan numero, sijainti ja mitatut kuitupitoisuudet.

Ruiskutetuista laatoista toimitetaan laboratorioon yksi laatta varhaislujuuden seurantaan varten kun se on saavuttanut 5 Mpa lujuuden. Puukkotestillä todetaan massan olevan tarpeeksi kovaa, kun se ei voimakkaasti työnnettynä enää uppoa betoniin. Varhaislujuuslaattaa ei poisteta muotista, vaan se toimitetaan asemalle muotteineen. Laattaa ei saa liikutella tai altistaa rasitukselle ennen kuin se on sitoutunut tarpeeksi. Varhaislujuuslaatan toimituksesta sovitaan aseman kanssa aikataulu.

2.2.4 Koekappaleiden säilytys ja kuljetus

Koelaatat suojataan rakennusmuovilla ja jälkihoidetaan säännöllisesti vedellä muoteissa oloajan. Jälkihoidon järjestelyt käydään työntekijöiden kanssa läpi ja valvotaan säännöllisesti, etteivät laatat pääse kuivumaan missään vaiheessa. Koekappaleet merkitään selvästi pysyvällä tavalla maalilla vahingoittamatta koekappaletta. Tämän lisäksi pidetään muistiinpanoja, jotta koekappaleiden tiedot kulkeutuvat varmasti oikein testaukseen saakka.

Koekappaleiden annetaan olla muoteissa vähintään 16 tunnin ajan, mutta ei pidempään kuin kolme päivää, suojattuna iskuilta tärinältä ja kuivumiselta 20 ± 5 °C lämpötilassa (tai 25 ± 2 °C kuumassa ilmastossa). Muotista poiston jälkeen koekappaleita säilytetään aivan testaukseen saakka vedessä, jonka lämpötila on 20 ± 2 °C tai kosteushuoneessa 20 ± 2 °C lämpötilassa ja ≥ 95 % suhteellisessa kosteudessa. (SFS-EN 12390-2).

Testiasemalla yleensä on olemassa vaaditunlaiset tilat koekappaleiden säilytykseen, mutta joissain tapauksissa laattoja säilytetään myös työmailla. Tällöin niille on järjestet-

tävä oma vaatimustenmukainen paikka, jossa laatat eivät pääse kuivumaan tai altistumaan rasituksille.

Koekappaleiden kuljetuksessa vältetään kosteuden haihtumista ja poikkeamia vaaditusta lämpötilasta kaikissa kuljetuksen vaiheissa esimerkiksi pakkaamalla kovettuneet koekappaleet märkään hiekkaan, sahanpuruun, kankaaseen tai sulkemalla muovipussiin, jossa on vettä. (SFS-EN 12390-2).

2.2.5 Asemalla tehtävät testit ja raportti

Laatoista tehtäväksi vaaditut testit löytyvät standardista SFS-EN 14487-1 sivulta 20. Tuloksista tehdään raportti, josta käy ilmi näytteen tunnistustiedot, koekappaleiden valmistuspäivämäärä, kellonaika, laattojen tekotapa, tiedot koekappaleiden säilytyksestä ennen muottien purkua ja purun jälkeen, vastuuhenkilöt ja muuta tietoa jos on tarpeellista. Ennakkokokeiden perusteella valitaan vaatimukset täyttävä resepti.

2.3 Louhinnan työvaiheet

Louhinnan edetessä louhittuja kalliotiloja tarkemmitataan. Mittaustulosten perusteella varmistetaan, että tila on louhittu suunnitelmien vaatimiin mittoihin. Lujitustyöt seuraavat mahdollisimman lähellä louhittavan tilan perää. Töiden edistyessä pultituksesta täydennetään seurantakarttaa ja kerätään työvaihesuunnitelman mukaiset dokumentit kansioon.

Louhittuun tilaan mahdollisesti jääneitä vuotoja jälki-injektoidaan tarvittaessa ja tehdyistä toimenpiteistä kerätään dokumentit omaan kansioonsa. Injektoinnilla pyritään tiivistämään kalliota vesivuotojen poistamiseksi pumpaamalla kallioon injektointisementtiä tai kemiallisia aineita.

Jälkirusnauksen ja pesun jälkeen alue itselleluovutetaan. Itselleluovutuksessa varmistetaan, että alue on tarkemmitattu, lujitus ja tiivistystyöt tehty suunnitelmien mukaisesti ja näistä on olemassa pöytäkirjat, sekä vaaditut laadunvarmistusasiakirjat. Alue saatetaan kartoittaa, jolloin on varmistettava, että myös tämä työvaihe on tehty ennen kuin kalliota aletaan peittämään.

Salaojitetaan alue suunnitelmien mukaisesti ja lopuksi tarkemmitataan ojien paikat. Itseluovutuksen jälkeen samat asiat käydään urakoitsijan ja valvojan kanssa yhdessä läpi ja tarvittaessa hyväksytetään tilaajalla, ennen kuin annetaan lupa lopulliselle ruiskubetonoinnille.

2.3.1 Rusnaus

Ennen salaojitusta alue rusnataan. Rusnaukselle on laadittava oma työvaiheen toteutussuunnitelmansa ja työmiehet perehdytettävä. Rusnauksen tarkoitus on poistaa louhitusta tilasta irtonaiset kivet eli komut. Tällä varmistetaan, että seuraavat työvaiheet voidaan toteuttaa turvallisemmin, eikä esimerkiksi asennettavien salaojien alle jää vaarallisia irtolohkareita. Rusnausta toteutetaan tunnelissa koneellisesti ja käsin. Käytetty työtapa valitaan tilanteen mukaan. Samaa aluetta saatetaan rusnata useain otteeseen, koska louhintatyön aiheuttama kallion tärinä saattaa irrottaa lisää kiviä jo valmiiksi rusnatultakin alueelta. Ajatus on käydä rusnattava alue systemaattisesti läpi siten, ettei työntekijöille tai kalustolle aiheudu vaaraa. Rusnattava alue eristetään lippusii-moin. Työ aloitetaan turvalliselta alueelta ja varmistetaan aina ennen seuraavan kiven pudottamista, ettei kiven pudottamisella aiheuteta vaaraa. Rusnaamattomalla alueella kulku on kiellettyä, mutta silti tarkkaillaan jatkuvasti, ettei vaara-alueella ole ketään. Irroitettava kivi saattaa vapauttaa muitakin kiviä lähietäisyydeltä. Rusnaustyötä tekevän onkin tarkkailtava ympäristöään katselemalla ja kuuntelemalla, mikäli muut kivet ovat irti tai pölyä varisee odottamattomista paikoista. Irtonainen kivi kumisee ontosti, kun sitä koputetaan. Rusnaus vaatii erityistä tarkkaavaisuutta turvaruiskutetun ja paljaan kallion rajapinnoilla, koska ruiskutetun pinnan alle ei näe, mitä siellä tapahtuu ja reunoiltaan mahdollisesti vaurioitunut betoni ei välttämättä jaksa pidellä kivikuormaa.

Jälkirusnaukseksi kutsutaan työvaihetta jossa irtokiviä pudotetaan jo aikaisemmin louhitulla alueella. Jälkirusnausta saatetaan edellyttää työselosteessa erilaisin kriteerein, mutta ilman niitäkin jatkuvan seurannan tuloksena jälkirusnausta tehdään aina tarpeen vaatiessa. Todella huonon kiven alueella rusnausta suoritetaan varovaisemmin, jos tarkoitus on seuraavaksi turvaruiskuttamalla lujittaa alue.

Koneellinen rusnaus

Tärkein käytössä oleva keino on rusnaus kaivinkoneella, joka on asiaankuuluvasti varustettu rusnapiikillä tai muilla tarkoitukseen sopivilla apuvälineillä. Kuvassa 1 näkyy kaivinkone töissä, varustettuna rusnapiikillä. Kauhaa tarvitaan irtokivien siirtämiseen pois ajouralta. Mikäli katosta putoaa suuria kiviä tai irtokivien määrä on suuri, kannattaa alue tyhjentää välillä lastauskoneella työvaiheen nopeuttamiseksi. Louhinnan kierrossa räjäytyksen ja kivenajon jälkeen on heti vuorossa koneellinen rusnaus, jossa käydään läpi louhittu tila juuri ammutun ja sitä edellisen katkon matkalta. Koneerusnausta voidaan käyttää myös jälkirusnauksessa tarpeen vaatiessa.



Kuva 1. Kaivinkone rusnaamassa perää lastauksen jälkeen. Kuva: Henri Luhtala.

Käsirusnaus

Käsin tehtävää rusnausta suoritetaan vain komukatoxella varustetussa henkilönostimessa, kuten kuvassa 2 esitetään. Kuiluissa, jonne tilanpuutteen vuoksi ei pääse tavanomaisilla nostimilla voidaan, käyttää myös koria tai alimak-järjestelmää. Koska henkilönostimella työmies pääsee lähemmäs kohdettaan, on mahdollista havaita irtokiviä paremmin kuin koneella tehdyssä rusnauksessa. Tarvittaessa heikoilla alueilla voidaan käyttää molempia rusnausmenetelmiä yhdessä.

Käsirusnauksessa käytetään apuna rusnakankea, joka on valmistettu kevyestä materiaalista, ja jonka toinen pää on varustettu terävällä talttapäällä ja toinen hiukan taivutulla päällä. Pitkän momenttivartensa ansiosta kangella on kätevä pudottaa katosta kiviä sijoittamalla kärki halkeamaan ja taivuttamalla kivi irti. Kangen käyttö tilanteessa voi itsessään olla turvallisuusriski, jos kivi pudotessaan kampeaa sen käyttäjän kädestä. Työvaihe vaatii kokemusta ja tarkkaavaisuutta.



Kuva 2. Kuvassa etualalla panostuksessa ja rusnauksessa käytettävä henkilönostin varustettuna komukatoksia Ruoholahden työmaalta. Taka-alalla porajumbo. Kuva: Timo Kotineva

2.3.2 Pesu

Alue pestään ennen salaojitusta. Pesulla poistetaan kallion pinnasta irtoainekset, rasvat ja pölyt. Vedenpaine voi irroittaa katosta kiviä, vaikka alue onkin jo tässä vaiheessa rusnattu. Tästä syystä kalliota pesevä työmies ei pese suoraan pänsä yläpuolelta, vaan käy pestävää aluetta läpi siten, etteivät tippuvat kivet aiheuta vaaraa. Tavannaisten suojavälineiden lisäksi työssä on käytettävä sadetakkaa kastumisen välttämiseksi.

Kalliota voi pestä suoraan vesijohtoverkkoon kytketyllä letkulla ennen salaojitusta. Paine ei kuitenkaan riitä takaamaan puhdasta kallion pintaa ruiskubetonointia varten, jolloin tarvitaan korkeapainepesua. Riittävä paine saavutetaan esimerkiksi ruiskurobotilla. Työvaiheeseen voidaan käyttää myös pesuautoa, jossa paineet riittävät katon huolelliseen pesuun ja jälkihoidon tarpeisiin.

Liian märkää kallion pintaa ei saa ruiskuttaa. Käytännössä tämä tarkoittaa valuvaa vettä tai kallion pinnan kiiltelyä. Ruiskutettava pinta ei saa olla myöskään kuiva.

Salaojitusyötä pesu auttaa siten, ettei naulojen tartuntareikiä porata irtonaiseen kiviainekseen, jolloin nauloilla kiinnitetty salaojan verkkokin on löyhästi kiinni. Mahdolliset ojien merkkaukset jäävät kallion pintaan paremmin näkyviin ja työtä tekevä mies näkee, mikäli jos jostain syystä alueelle on jäänyt vaarallisia irtokiviä.

Huolellisen pesun tarkoitus on myös parantaa ruiskubetonin tarttuvuutta kiven pintaan. Likakerrokset kallion ja tulevan ruiskubetonin välissä estävät betonin kunnollisen tartunnan ja heikentävät laatua. Aluetta pitää pestä uudestaan eri työvaiheiden välillä, koska tunnelinlouhinnasta syntyvä pöly kerääntyy uudestaan kallion pintaan ajan mittaan. Samaa aluetta saatetaan ruiskubetonoida useasti, jos tavoitellaan suuria vahvuuksia ja jokaisen ruiskutuskerran välissä on varmistuttava pintojen puhtaudesta ja kosteudesta. Jos kallion pinnassa on jostain syystä öljyä, sen pesuun on käytettävä liuottimia.

2.3.3 Varustelut

Turhiksi käyneet varustelut (vesi-, sähkö-, ja tuuletuslinjat) on hyvä purkaa pois salaojituksen ja ruiskutuksen edestä. Jos varusteluja ei voida siirtää tai purkaa, on niiden asennustapaa korjattava. Linjoja voi esimerkiksi laskea alemmas, jotta kallion ja varustelujen väliin jää riittävä väli työn tekemiseen. Seinillä kulkevat linjat lasketaan maahan ja suojataan esimerkiksi rakennusmuovilla. Alle asetetaan tuet linjojen pitämiseksi irti suorasta kosketuksesta maan kanssa. Kuvassa 3 nähdään, miten suojaus voidaan hoitaa. On muistettava, että jännitteellisiä sähkökaapeleita ei saa käsin koskettaa. Keskkukset ja putkien hanat suojataan erityisen huolellisesti ennen ruiskutusta. Tuuletusrättejä voi myös purkaa väliaikaisesti alueelta, jos tilanne niin sallii. Muutoin tällaisten kohtien taakse jää ruiskuttamaton juova, joka pitää myöhemmin ruiskuttaa.



Kuva 3. Ruiskutustyö käynnissä Ruoholahden työmaalla. Vasemmassa alakulmassa alaslaskettuja ja suojattuja sähkö ja -vesilinjoja. Kuva: Timo Kotineva

2.3.4 Salaojitus

Ennen salaojituksen aloitusta asennutetaan mallisalaoja, josta tarkastetaan naulojen tiheys, ojan tiiviys ja liitokset. Mallisalaoja toimii esimerkkinä kaikille muille tunneliin asennettaville ojille: niiden on vastattava vähintään samaa laatua.

Salaojien tarkoitus on siirtää vettä ruiskubetonin takana olevista vuotokohdista tunnelin pohjalla sijaitsevaan salaojakerrokseen. Ennen salaojitusta määritellään salaojien paikat ja maalataan ruiskubetonin rajat seinille. Ruiskubetonirajaa hyödynnetään salaojituksessa, jotta asennettavat salaojat yltyvät tarpeeksi alas. Salaojitettava alue tulisi mahdollisuuksien mukaan eristää ja järjestää kiertotie työrauhan takaamiseksi. Joskus salaojitettavalla alueella on epäedullisia pinnan muodostumia, jotka hankaloittavat salaojien oikeanlaista asennusta. Ensisijaisesti pyritään löytämään salaojalle hyvä reitti, jotta vesi pääsisi virtaamaan, eikä vesitaskuja pääsisi muodostumaan. On myös mahdollista asentaa ongelmalliseen kohtaan ”silta” soveliailla täytemateriaaleilla. Silan tarkoituksena on saada salaoja asennettua kaadon suhteen edullisesti.

Mikäli alueella on kohtuuttoman paljon ongelmallisia kohtia, voidaan nämä käydä myös erikseen täyttöruiuskubetonoimassa, jolloin halutut kohteet käydään ensin merkitsemässä.

Salaojamatot kiinnitetään yleensä paikoilleen verkottamalla ja naulaamalla. Salaojamatto koostuu vettä läpäisemättömästä solumuovisuikaleesta ja siihen ennakkoon kiinnitetystä reikäisestä muoviputkesta. Maton reunoissa on vahvikkeet rautalangasta ja reunukset varmistamassa veden ohjautumisen haluttuun suuntaan.

Matto asetetaan määritellylle reitille siten, ettei vesitaskuja synny, ja vesi pääsee vuotokohdasta valumaan putkea pitkin tunnelin reunalle. Mattoa joudutaan usein jatkaamaan, jolloin liitoskohdat on tehtävä siten, että vesi ei pääse valumaan liitoskohdista läpi. Matto pysyy kalliossa kiinni nauloilla. Ensin porataan kallioon reikiä, naulataan naulat pystyyn ja taivutetaan paikoilleen asetetun maton vahvistetun reunuksen yli siten, että matto kiinnittyy kallion pintaan tiiviisti. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että naulat asetellaan syvimpiin kohtiin kalliossa. Lopuksi verkotetaan matto, jotta yhdessä ruiuskubetonin kanssa myös salaojan kohdalla olisi riittävä lujuus. Verkon asettelussa on sama periaate kuin matonkin. Sen on myötäiltävä kallion muotoja siten että vesi pääsee esteettömästi kulkeutumaan tunnelin salaojakerrokseen. Kuvassa 4 nähdään, miten salaoja on asennettu kallioon myötäilemään muotoja.



Kuva 4. Asennettu salaoja.

Salaojien asennuksen tarkastamisessa olennaista on siis kaatojen (veden virtauksen) varmistaminen ja niiden luja kiinnitys. Huonosti kiinnitetty verkot keräävät nopeasti ruiksutettua betonia ja saattavat kiinnitysten pettäessä irrota kallion pinnasta ja vääntyä alaspäin muodostaen palkeenkieliä kattoon. Vaurioitunut salaoja kunnostetaan siten,

että ruiskubetoni poistetaan korjattavalta alueelta piikkaamalla ja alue pestään. Salaoja kiinnitetään uudestaan ja kohde ruiskutetaan uudestaan.

Salaojituksen jälkeen suojataan salaojien putket hukkaroiskeilta. Tähän käytetään rakennusmuovia ja salaojasepeliä. Putki suojataan ensin rakennusmuovilla, jonka jälkeen lisätään murskekerros. Murskekerroksen päälle asetetaan vielä rakennusmuovi ja vähän mursketta pitämään muovi paikoillaan. Ruiskutuksen jälkeen suojasepelit poistetaan varovaisesti putkia rikkomatta.

Salaojituksesta kerätään piirrettyjä karttoja, joista käy ilmi salaojien sijainti, mahdolliset oksat ja asennussuunnat sekä salaojien pituus. Näitä käytetään materiaalien ja kustannusten seurantaan. Tarvittaessa alue skannataan ja verrataan saatuja salaojien määriä keskenään.

2.3.5 Osa-alueen hyväksyntä

Itselleluovutuksen jälkeen tilaaja ja urakoitsija suorittavat katselmuksen, missä todetaan että ko. alueen lujitus- ja tiivistystyöt on tehty ja tarkistettu ja näistä on olemassa pöytäkirjat ja laadunvarmistusasiakirjat. Alue on tarkemittattu (salaojineen) ja varmistuttu, että tila on suunnitelmien mukainen. Tarkistetaan, että salaojat on asennettu oikein ja kaikki vesivuodot on saatu kiinni alueelta. Seiniin on maalattu ruiskubetonin rajat ja vahvuudet. Usein kattoon on määrätty vahvempi ruiskubetonikerros kuin seinille, jolloin myös seinän ja katon välinen raja on maalattava. Rajat helpottavat salaojien asennuksen tarkistusta sen lisäksi, että ruiskubetonointia suorittava henkilö näkee siitä kuinka alas kallio on lujitettava. Tarkistetaan, että salaojien putket on suojattu alaosistaan. Alueen tarkistuksessa katsotaan vielä, ettei irtokiviä tai ylipitkiä pultinpäitä enää ole ja pinta on pesty huolellisesti. Todetaan, että valmius aloittaa ruiskubetonointi on olemassa. Kuvassa 5 selvennetään, mitä kaikkea pitää olla valmiina osa-alueen hyväksymisessä.



Kuva 5. Osa-alueen hyväksynnän prosessi

2.4 Materiaalit ja säilytys

Ruiskubetonointia varten työmaalla säilytetään kiihdytinainetta. Sitä toimitetaan yleensä joko IBC-säiliöissä (1000 l), tynnyreissä, tai täytetään vanhoja säiliöitä suoraan toimitusauton säiliöstä tankkaamalla. Kiihdytinaineen säilytys työmaalla on kuitenkin ongelmallista, koska kiihdytinaine ei saa jäätyä missään vaiheessa ja sen pitäisi olla noin 20 °C käytön aikana hyvän vaikutuksen takaamiseksi. Pitkään seisoessaan kiihdytinaine saattaa myös kristallisoitua. Tämä estetään siten, että ruiskutusten edetessä kiihdytinaineet käytetään toimitusjärjestyksessä, eikä sitä tilata liikaa kerralla työmaalle. Kiih-

dytinaineen tilaukset sovitetaan ruiskutusrytmin mukaisesti siten, että tuotantoon ei tule katkoksia. Vanhaa, osin kristallisoitunutta kiihdytinainetta voi sekoittaa uuden toimituksen erän kanssa. Kiihdytinainetta voi sekoittaa säännöllisesti kristallisoitumisen vähentämiseksi. Tyhjät IBC-säiliöt pestään täyttöjen välissä.

Muottiöljyä tarvitaan ruiskurobotin suojaamiseksi betoniroiskeilta. Muottiöljyä säilytetään työmaalla muiden öljyjen kanssa määräysten mukaisella paikalla.

Betoniasemalla säilytetään ruiskubetonoinnin tarvitsemia kuituja. Näiden säilytyksessä on huomioitava, että ne eivät ole alttiina kosteudelle. Kostuneet ja osin ruostuneet kuidut muodostavat kuitupalloja, eivätkä sekoitu tehtyyn betonimassaan tasaisesti. Tämä aiheuttaa jatkuvia katkoksia tuotantoon kuitupallojen tukkiessa letkuja.

2.5 Kalusto

Kun työmaalle saapuu uusia työkoneita, täytyy jokaiselle tehdä vastaanottotarkastus, jotta voidaan varmistua ko. laitteiden ja koneiden kunnosta niiden työmaalle saapumishetkenä. Viallisia ja puutteellisia koneita ei saa ottaa käyttöön. Vastaanottotarkistuksessa täydennetään käyttöönototarkastuspöytäkirjaa, jotta kaikki tarkistettavat asiat tulevat huomioiduiksi. Kuvassa 6 on märkäruiskutustyössä käytettävä ruiskurobotti ajamassa asemiin. Lisäksi kalustolle suoritetaan viikkotarkastuksia ja ennakoivia huoltoja huoltosuunnitelman mukaisesti. Osat, joiden toimitusaika on pitkä tai joita tarvitaan usein, hankitaan etukäteen työmaalle ja varastoidaan konekohtaisiin huoltokontteihin. Ennen töiden aloitusta koneen kuluvat osat tarkastetaan ja vaihdetaan tarvittaessa. Hankintapaikkojen yhteystiedot kerätään talteen, jotta puutetilanteessa tarvittavat osat löytyvät nopeasti.

Ruiskubetonointikalustolle ominaisia vaatimuksia on kyky saada aikaan tasainen massavirtaus ja sellainen suihkun nopeus, että massan tartunta ruiskutettavaan pintaan olisi mahdollisimman hyvä. Kiihdytinaineen annostelulaitteiston tarkkuuden on oltava riittävän tarkkaa, jotta annostelu pysyy ohjeistuksen mukaisena. Määrän vaihtelun pitäisi olla pienempi kuin $\pm 10\%$ suuttimessa lisättävillä materiaaleilla (SFS EN 14487-2, 8).

Kaiken tämän lisäksi ruiskurobotin testikäyttäminen ennen työn aloitusta on tärkeä tehtävä. Pidemmässä rasituksessa saattaa ilmetä vielä erilaisia vikoja, mitkä ehtii korjaamaan ennen työn varsinaista aloitusta.



Kuva 6. Kuvassa ruiskurobotti Ruoholahden työmaalla ja tunnelin varusteluja. Kuva: Timo Kotineva

2.6 Aloituspalaveri

Aloituspalaverissa käydään työvaiheen toteutussuunnitelma läpi kaikkien osapuolten läsnä ollessa. Tarkoituksena on saattaa varmistetusti kaikkien osapuolten tietoon mm. työtehtävän edellytykset. Eli mitä pitäisi olla valmiina, kun työtä ollaan aloittamassa. Tämä auttaa työryhmää toimimaan oikein epäkohtia havaitessaan. Käytössä olevat materiaalit käydään yhdessä läpi sekä niiden ominaisuudet. Esimerkiksi massan lujuudenkehitykseen ja kiihdytinaineen vaikutuksiin kiinnitetään erityistä huomiota. Laatuvaatimukset käydään läpi ja niihin liittyvät laadunvalvonnan toimenpiteet, mitkä ryhmän pitäisi ottaa huomioon töitä tehdessään. Työturvallisuusasiat kerrataan vaaratilanteiden ehkäisemiseksi. Työjärjestys ja -menetelmät ja aikataulut käydään läpi laadun ja taloudellisuuden varmistamiseksi. Tällöin työntekijät ymmärtävät, mitä ollaan tekemässä ja mitä laatua vaaditaan. Aloituspalaverin tarkoitus on sitouttaa työmiehet tehtävään työvaiheeseen.

3 Ruiskubetonointityö

Kallion lämpötilan on pysyttävä vähintään +5 °C työn suorituksen ja jälkihoidon ajan. Kylmissä olosuhteissa kallionpinta ja tila lämmitetään rakennuslämmittimillä ja eristetään pressuilla ennen työn aloitusta. Valmiskaan ruiskubetoni ei saa jäättyä. Ruiskutettava pinta ei niin ikään saa olla kuiva, likainen tai jäätynyt. Työvaiheen toteutus suunnitelmasta käy ilmi työmaalla käytettävät ohjeet ruiskubetonointiin, kuten mm. etäisyydet, kuinka kaukana saa lopullista ruiskubetonointia suorittaa räjäytystöistä.

3.1 Työturvallisuus

Ruiskubetonoitavalla alueella ei saa liikkua ketään työn aikana, eikä ennen kuin betoni on saavuttanut riittävän lujuuden. Mikäli ruiskutettavalla alueella esimerkiksi on vesivuotoja, saattavat nämä aiheuttaa tuoreen ruiskubetonin irtomaisia pinnasta ja riski jäädä alle on olemassa.

Tämän vuoksi ruiskubetonoitava alue eristetään esimerkiksi kartioilla, puomeilla ja lippusiimoilla, kuten kuvassa 7 esitetään. Heijastinkartioihin on saatavilla myös vilkkuvaloja, jotka auttavat hyvin havaitsemaan sulun pimeässä tunnelissa. Lisäksi on käytettävä varoitustaulua, josta ilmenee syy miksi sulkua on pystytetty. Liikenne ohjataan kiertoteille työn ajaksi. On tärkeää, että kaikki työmaalla työtä tekevät ja asioivat ymmärtävät aitojen merkityksen.



Kuva 7. Ruiskutusalue eristetty lippusiimoin, heijastinkartioin ja puomein.

Ruiskutustyössä alueen välittömässä läheisyydessä ilma on sakeana pölyä ja lisäaineiden nostattamaa usvaa sekä lentäviä kiviä ja kuituja. Työssä onkin käytettävä suojalaseja, kuulosuojaimia, kypärää, turvakenkiä ja heijastavia työvaatteita. Näiden tavanomaisten välineiden lisäksi on ruiskuttajilla hyvä olla käytössään kypärä, missä on koneellinen ilmanvaihto silloin kun on olemassa riski altistua haitalliselle pölylle.

Työpisteen ilmanlaatua tarkkaillaan. Vaikka arvot olisivatkin sallitun puolella, on silti hyvä käyttää työssä hengityssuojaimia. Tämä siksi että ilmassa todennäköisesti on muutakin kuin pölyä ruiskutuksen aikana, kuten kiihdytinainetta.

Erikoistilanteissa, kuten letkutukokset, suuttimen kiinnitys tai muut huoltotoimenpiteet, on tärkeää, ettei mainittuja töitä mennä epähuomiossa tekemään juuri ruiskutetulle alueelle. Mikäli suutinta ei saa käännettyä turvalliselle alueelle, pitää työkonetta siirtää siten, että turvallinen työskentely on mahdollista. Muutoinkin on hyvä muistaa, että massaletkuissa vallitsee työn aikana kova paine ja letkujen räjähdykset ovat mahdollisia. Massaletkuissa on useista kohdin varmistettu ketjuin kiinnitys puomiin. Tällöin letkun/liitoksen pettäessä massaletku ei pääse holtittomasti liikkumaan ja aiheuttamaan enempää vaaraa tilanteessa. Silmäsuojainten käyttö on nykyään pakollista, mutta on silti huolehdittava, että kaikki käyttävät niitä. Tämä tarkoittaa myös ruiskubetonointia etäämmältä seuraavia katsojia.

Uusien massakuormien saapuessa työmaalle, järjestetään opastus työkohteeseen eikä massa-autoja päästetä yksinään etsimään oikeata paikkaa tunnelista. On mahdollista, että opastamaton ajoneuvo peruuttaa kaivantoihin, törmää työkoneisiin tai ajaa ihmisten ylitse. Työmaalle saapuvat betonijoneuvot saattavat olla aliurakoitsijan tai betoniattoimittavan aseman autoja. Autot tarkistetaan, että niiden valot toimivat ja peruutusäänimerkki kuuluu.

Muita erityisiä työturvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä on sähkö. Ruiskurobotissa on kella laitteiden häntäkaapeli, kuten kuvassa 8 näkyy. Kaapelin kuntoa on tarkkailtava, koska siihen voi tulla vaurioita monissa tilanteissa. Mahdollisen vaurion tunnistaa eristevaurioista, painumista ja tietenkin jos havaitaan savua ja kipinöitä. Mahdollista vauriokohtaa ei saa tutkia jännitteen ollessa päällä. Mikäli kaapelissa havaitaan vaurio, merkitään kohta ja annetaan sähkömiehen suorittaa korjaustoimenpiteet.



Kuva 8. Ruiskurobotin häntäkaapeli kelalla. kuvassa myös betoniauto asemassa valmiina purkamaan kuorman.

Yliajon riskiä pyritään poistamaan sijoittamalla kaapeli pois ajouralta sekä yliajosuojauksilla. Häntäkaapelia saa siirtää vain tarkoitukseen sopivalla eristeaineisella kaapelikoukulla. Eristeineinen koukku kuvassa 9.



Kuva 9. Eristeineinen kaapelikoukku.

Kaapelin kytkentä VYK-sähkökeskukseen ja pois tapahtuu aina ilman jännitettä. Kytettäessä tarkistetaan aina, että hanska (pistotulppa) on ehjä, puhdas ja kuiva. Vedonpoistaja kiinnitetään lujasti seinään kiinnitettyyn koukkuun, ei VYK-sähkökeskukseen. Esimerkki oikeasta kiinnitystavasta näkyy kuvassa 10. Tämä siksi, ettei eteenpäin ajava ruiskurobotti kiskaise häntäkaapelin välityksellä hanskaa ja sähkökeskusta rikki. Jännite kytketään vasta kun ruiskurobotti on saavuttanut työkohteen.



Kuva 10. Ruiskurobotin häntäkaapeli ja hanska asiaankuuluvasti kytkettynä VYK-sähkökeskukseen. Taustalla näkyy vedonpoiston kiinnitys seinäkoukkuun.

3.2 Työjärjestys

Ruiskutustyön järjestyksessä täyttöruiskutetaan enemmän massaa vaativat kuopat ja kulmat ensin, jotta niihin ei kertyisi hukkaroisetta. Sen jälkeen käydään pinnat systemaattisesti läpi, alkaen seiniltä alhaalta ylöspäin seuraten valmiin ruiskukerroksen rajapintaa ja lopuksi ruiskutetaan katto. Näin vältetään hukkaroiskeen kertyminen ruiskutettavalle pinnalle. Seinien alaosa ruiskutettaessa on kuitenkin tarkkailtava, ettei irtomainen maa-aines roisku seinille massasuihkun osuessa liian alas. Ruiskubetonipinnan

alle jäävät hukkaroiskekerrokset heikentävät rakenteen lujuutta ja kerrosten välistä tartuntaa.

Ruiskubetonointia pyritään jatkamaan aina aikaisemman ruiskutetun pinnan rajalta. Riippuen louhintajäljestä, kallio saattaa olla epätasaista. Alueelle ruiskutettavat välikerrokset pyritään ruiskuttamaan vuoronperään eri suunnista. Tällä varmistetaan, ettei betonikerrokseen jää tyhjiä tiloja. Samasta suunnasta ruiskutettuna epäedullisia kuoppia ei välttämättä näe ruiskutustyötä tehdessä ilman ollessa sakeana pölystä. Töiden edetessä ruiskubetonoituja alueita jälkihoitetaan suunnitelmien mukaisesti.

Ruiskutettaville alueille kertyy hukkaroiskeä, eli betonia joka ei ole kiinnittynyt ruiskutettavaan alustaan. Alueen valmistuttua hukkaroiske kerätään pois ja kuljetetaan jatkokäsiteltäväksi. Se on ongelmajätettä. Joissain tapauksissa ympäristöviranomaisten luvalla sitä voi käyttää tienpohjan materiaalina. Alas lasketut varustelut nostetaan takaisin seinälle, mikäli niitä ei ole tarkoitus purkaa heti pois.

3.3 Massanlaadun valvonta

Laatua valvotaan, jotta voidaan todistaa laatuvaatimusten täyttyvän. Betonimassan osalta valvotaan luonnollisesti koostumusta ja betonin ominaisuuksia.

Ruiskubetonoinnin alkaessa suoritetaan sarja testejä, joilla saapunut kuorma todetaan käyttöön kelpaavaksi.

Ensimmäiseksi tarkistetaan kuormakirja, että työmaalle on saapunut oikeantyyppistä massaa (Sementti, kiviaines, lisäaine, kuitupitoisuus). Kuormakirja tarkistetaan jokaisesta saapuvasta kuormasta. Lisäksi mitataan massan lämpötila, notkeus sekä kuitujen määrä annettujen ohjeiden mukaisesti. Silmämääräisesti arvioidaan massan pumppavuus ja ruiskutettavuus.

Kuorman purulle on sovittu vapaa purku aika, mikäli kyseessä ovat betoniasemalta vuokratut autot. Tällöin on huomioitava milloin purun on sovittu alkavan ja milloin päättyvän, jotta kuormakirjoihin ei pääsisi tulemaan ylimääräisiä minuutteja turhan takia. Vapaan purkuajan ylittyessä on kuormakirja tarkistettava ja virheet korjattava heti paikan päällä: jälkikäteen asiaa ei voi enää hoitaa.

3.3.1 Massan lämpötila

Ruiskubetonin lämpötila vaikuttaa sementin ja veden reaktioon, joka vaikuttaa betonin lujuudenkehitykseen (liian matala tai korkea lämpötila heikentää lujuutta). Betonimassan lämpötilan on oltava vähintään +15 °C käytettäessä Sigunit-L53-kiihdytintä, jotta kiihdytin toimisi halutunlaisesti. Lämpötilan olisi hyvä olla enintään 30 °C, jotta työstettävyys säilyisi, eikä lämpötila nousisi liian korkeaksi. Massan lämpötila todetaan infrapunamittarilla.

3.3.2 Painumakoe

Ruiskumassan notkeus mitataan painumatestillä. Testi suoritetaan siten, että tasaiselle imemättömälle alustalle asetettu kartio täytetään huolellisesti tuoreella betonimassalla kolmessa osassa ja tiivistetään terässauvalla. Täytön ajan muottia on pidettävä tiukasti pohjalevyä vasten. Kartio vedetään irti tasaisen rauhallisesti ilman kiertävää tai sivuttaissuuntaista liikettä ja asetetaan betoninäytteen viereen. Mikäli betoni säilyy symmetrisenä ja riittävästi koossa, mitataan kartion yläosan ja alemmas painuneen betoninäytteen korkeusero. Tätä kutsutaan betonimassan painumaksi ja siitä päätellään onko massan notkeus soveliaista käytettäväksi. Testiä käsittelevä standardi on SFS-EN 12350-2.

Notkean massan kyseessä ollessa lujuus kärsii, tartunta heikkenee ja kutistumahalkeamien riski suurenee. Liian jäykällä massalla taas työstettävyys heikkenee. Hyväksytyt massan notkeus esitetään laatusuunnitelmassa.

Yleensä ruiskubetonin notkeus on luokkaa S3 ja painumatestin olisi tällöin oltava luokkaa 100mm – 150mm. (BY50, 102)

3.3.3 Kuitujen määrä ja seulonta

Kuitujen määrä mitataan tuoreesta betonista tai rakenteeseen jo ruiskutetusta betonista. Kokeen suorittamisen ohjeita löytyy standardista SFS-EN 14488-7.

Tuoreessa betonissa kuitujen vaatimustenmukaisuus saavutetaan, jos mitattujen kuitupitoisuuksien keskiarvo vähintään 6 näytteestä on vähintään yhtä suuri kuin $V_f - 10\%$ painosta, missä V_f on ennen rakentamista tehtyjen testien perusteella määritetty tavoitearvo. (SFS-EN 14487-1, 26).
Näytteenottotaajuus on $1/100\text{m}^3$ tai $1/500\text{m}^2$ (SFS-EN 14487-1, 24).

Näyte-erään kerätään esim. 10 l massaa ja huuhdotaan sementtiliima pois kuiduista siivilän ja veden avulla. Teräskuidut kerätään siivilästä magneetin avulla ja pussitetaan. Pussit merkitään, etteivät näytteet pääse menemään sekaisin. Näyte-erän annetaan kuivua ja sen jälkeen suoritetaan punnitus. Tämä on erittäin tärkeää varsinkin jos kyseessä ovat muovikuidut, koska näyte-erässä mukana oleva vedenpaino vääristää testitulosta. Muovikuitujen seulonnessa voidaan lisäksi käyttää apuna isoja saaveja kuitujen kellutusta varten. Kuitujen seulonalla varmistetaan, että valmiista rakenteesta löytyy vähintään vaadittu määrä kuituja.

$$C = \frac{m \cdot 1000}{V}$$

Missä C = kuitujen määrä (Kg/m³)
 m = mitattu kuitujen määrä näytteestä (g)
 V = betoninäytteen tilavuus (m³)

Kuitujen määrän laskemisessa käytettävä kaava. (SFS-EN 14488-7, 6)

3.3.4 Massan hylkäys

Jos saapuva betonikuorma ei läpäise sille asetettuja vaatimuksia, toimitaan ennalta sovitun suunnitelman mukaisesti. Asema saattaa esimerkiksi haluta kuorman takaisin testattavaksi tai muuhun käyttöön tai sitten se ajetaan sille varatulle kaatopaikalle. Hylkäyksen syy on aina kirjoitettava kuormakirjaan selkeästi ja tiedotettava tilanteesta työmaapäällikölle tai -insinöörille. Tämä siksi, että reklamaatiota vaativat toimenpiteet tulevat hoidetuksi oikein.

3.4 Työnaikainen laadun valvonta

Massan laadun valvonnan lisäksi työnjohtajan pitää seurata työtapahtumaa ja käytettäviä työmenetelmiä. Ruiskubetonoinnin edistyessä täydennetään edistymäkarttaa ja pidetään vuorokohtaista pöytäkirjaa päivittäin tehdyistä työsuoritteista. Olennaista on, että tiedetään paljonko on ruiskutettu ja mille paaluvälille. Edistymäkartasta on käytävä ilmi suunnitellut ruiskubetonityypit ja vahvuudet seurannan helpottamiseksi. Tällä pyritään välttämään alueiden ruiskuttamista liian paksuiksi ja havaitsemaan, mikäli jollain

alueella mahdollisesti voi olla puutteita. Kuormakirjat kerätään huolellisesti talteen omaan kansioonsa.

Työn edetessä, vaatimuksista riippuen, tehdään rakennekoekappaleita varten laattoja. Tästä lisää kohdassa 3.5.1, Valmiin betonirakenteen kelpoisuus.

3.4.1 Ruiskutusetäisyys ja nopeus

Oikea etäisyys vaihtelee suuttimen koon mukaan. Märkäruiskubetonoinnissa vaihteluväli on 1 – 2m. Liian suuri etäisyys lisää hukkaroiskeen määrää, pienentää tiiviyttä ja heikentää lujutta sekä edistää karbonatisoitumista. Lisäksi työnaikana ruiskutettavan pinnan alle jäävä hukkaroiske heikentää ruiskumassan tartuntaa kallioon. Liian pieni etäisyys lisää myös hukkaroiskeen määrää, mutta myös kallioista kimpoavien kivien ja kuitujen määrää heikentäen laatua. Optimaalisen etäisyyden löytäminen on siis tärkeää sekä laadun että taloudellisuuden kannalta.

Mikäli joudutaan ruiskuttamaan raudoitettuja kohteita, joudutaan suutinta tuomaan lähemmäs. Tämä siksi että liian kaukaa ruiskutettu raudoitus kerää betonin ensin raudoitukseen ja raudan sivuilla paljaana olevaan kallioon. Itse raudoitteen taakse jää heikosti tiivistynyt, ellei jopa tyhjä kolo.

Ruiskusta voi säätää ruiskutusnopeutta, pieneen hukkaroiskeen määrään ja hyvään tiiveyteen päästään ruiskutusnopeudella 10 – 12 m³/h (Antikainen 2011, 13)

3.4.2 Ruiskutuskulmat ja liike

Suutin tulee suunnata, aina kun on mahdollista, kohtisuoraan ruiskutettavaa pintaa kohti, jotta saadaan aikaan optimitiheyksinen ja –paksuinen kerros, raudoitteiden peittyminen täysin betonilla ja minimimäärä hukkaroiskeita. Poikkeaminen optimaalisesta suuttimen etäisyydestä ja kulmasta saattaa kasvattaa hukkaroiskeen määrää ja heikentää ruiskubetonin laatua. (SFS-EN 14487-2, 9).

Nurkissa luonnollisesti ei voida näin menetellä. Myös, jos työturvallisuus sitä edellyttää, voidaan vaatimuksesta poiketa. Suutin tekee työnaikana ympyrän tai soikion muotoista liikettä ja sitä on pyrittävä liikuttamaan tasaisesti. Samaa kohtaa ei saa ruiskuttaa liian pitkään, jotta kerralla ruiskutettava kerrosvahvuus ei kasvaisi liian suureksi.

3.4.3 Ruiskutuspaksuudet

Kerrallaan ruiskutettavien kerrosten paksuuksien on oltava riittävän ohuita, jotta tuore betonimassa kiinnittyisi alustaansa. Yleensä kerroksen vahvuus on 25mm-50mm. Yli 25mm:n kerrokset vaativat kiihdyttimien käyttöä. Suuret paksuudenvaihtelut lisäävät halkeilua, joten pinnat on pyrittävä ruiskuttamaan mahdollisimman tasaisesti. Edellisen kerroksen pitää kovettua riittävästi ennen seuraavan kerroksen ruiskuttamista. Ruiskutusten välissä pintoihin mahdollisesti kertynyt hukkaroiske on poistettava. On huomioitava, että ruiskubetonisalojien kohdalla raudoituksella ja betonikerrosten paksuudella varmistetaan samanlainen vahvuus kuin muuallakin rakenteessa. Esimerkiksi teräskuituja käytettäessä salaojat yleensä ruiskutetaan raudoituksineen piiloon ilman kuituja sisältävällä ruiskumassalla, jotta riittävä vahvuus saavutettaisiin. Kuvassa 11 nähdään, miten kuiduton suojabetoni on levitetty ojan päälle.



Kuva 11. Kuvassa asennettu salaoja Ruoholahden työmaalla. Ylhäällä näkyy tuuletusrähti ja seinällä antennit. Salaojaa on alhaalta jo osin suojabetonoitu. Kuva: Timo Kotineva

Kerrosvahvuuksia voi seurata eri tavoin. Esimerkiksi arvioimalla yhdellä kuormalla saavutettavan etenemän tunnelimetreissä. Jos etenemä jää tavoitteesta, on syytä epäillä liian paksua kerrosvahvuutta tai vajaata kuormaa, mikäli kuorman purkuaika olikin tavallista nopeampi ruiskurobotin toimiessa normaalisti.

Betonimäärä V voidaan laskea kaavalla $V = A \cdot d \cdot t \cdot (1 + R/100\%)$

Missä

A = ruiskutettava pinta-ala m²

d = rakenteen pienin sallittu paksuus, m

t = ruiskutettavan pinnan epätasaisuutta kuvaava kerroin

R = hukkaroiske, %

Märkäseosmenetelmässä seinäpintojen hukka on 5...10% ja kattopintojen 10...20%. t puolestaan räjäyttämällä louhituissa tunneleissa on 1,3...1,8 (Betonitekniiikan oppikirja by201, s515)

Kerrosvahvuudesta voi saada tuntuman myös työntämällä mittavälineen tuoreeseen betonimassaan, jolloin työtä tehdessä on muistettava säännöt vastaruiskutetulla alueella liikkumisesta. Jälkikäteen vahvuudet saa selville poraamalla vahvuusmittausreikiä alueelle sopivaksi katsotuissa väleissä. vahvuusreiän poraamista käsitellään enemmän työnjälkeisessä laadun valvonnassa. Vahvuudet pitää varmistaa välimittauksin, kun alueelle on määrätty erityyppisiä betonikerroksia. Esimerkiksi 60 mm kuitubetonia ja 30 mm kuidutonta. Jälkikäteen vahvuusporauksella ei voi luotettavasti todentaa enää, että erilaatuiset betonikerrokset ovat oikean vahvuisia.

Alueelle voidaan myös esiasentaa mittamerkkejä helpottamaan oikean vahvuuden saavuttamista. Tällöin ruiskuttaja pystyy työn edetessä huomioimaan syntyvät kerros-paksuudet. Näillä eri tavoilla voidaan esivarmistaa, että suunnitelmien mukaiset vahvuudet toteutuvat jo työn aikana.

Betonin alarajaan voi myös asentaa mittaustarkoituksissa harjateräksen pätkiä, joiden avulla voi nopeasti uudistaa maalausmerkintöjä ruiskutettavien kerrosten välillä (betonin alaraja, kainalon raja, ruiskubetonin paksuusvaihtelut).

3.4.4 Kerrosten kuivumisajat

Kerrosten lujittumisaika on tärkeä siinä mielessä, että se määrittää aikavälin, milloin alueelle voidaan tulla ruiskuttamaan uusi kerros. Sopiva rytmi on ruiskuttaa alueet sen verran isoissa lohkoissa, että seuraavan kerroksen ruiskutus ajoittuu seuraavalle päivälle. Suositus on, että ensimmäisen ja toisen kerroksen välinen aika olisi 8 tuntia ja toisen ja kolmannen kerroksen välinen aika 24 tuntia.

3.5 Työnjälkeinen laadun valvonta

Työkohteen valmistuttua olennainen asia on, että ruiskubetonivahvuudet ovat tulleet suunnitelmien mukaisesti täytettyä ja että työn jälki on hyväksyttävää. Silmämääräisesti voidaan todeta onko alueelle jäänyt vesivuotoja tai huonosti ruiskutettuja yksittäisiä alueita tai muita vaurioita. Alueesta laaditaan pöytäkirja, johon kirjataan puutteet, niiden sijainti ja korjaustapa. Puutteiden korjauksien jälkeen alue jälkitarkastetaan ja pöytäkirjan puutemerkinnot kuitataan korjatuiksi.

3.5.1 Valmiin betonirakenteen kelpoisuus

Ruiskutuksen aikana ruiskutetaan koelaattoja testiasemalla tehtäviä testejä varten, tai vaihtoehtoisesti porataan näytteet irti valmiista rakenteesta. Tehtävät kelpoisuuskokeet ja mitattaville ominaisuuksille asetetut vaatimukset esitetään työselityksessä ja työvaiheen laatusuunnitelmassa.

Mikäli kelpoisuus todetaan ruiskutetusta laatasta, asetetaan se tukevasti seinää vasten ruiskutettavalle alueelle ja ruiskubetonoidaan näyte seinän ohessa samaan aikaan. Näytteenottotapa ja taajuus löytyvät laatusuunnitelmasta.

Mikäli näytteet porataan irti valmiista rakenteesta, niin paikat on valittava siten, ettei rakenne rikkoudu. Vältettäviä kohtia ovat salaojien ympäristöt, joissa pohjimmainen ruiskubetonikerros on kuidutonta sekä mahdollinen reikä valmiiseen salaojaan vaatii huolellisen korjauksen. Muutoin testikappaleiden käsittely ja niiden kirjanpito eivät poikkea laattoihin valetuista näytteistä. Kaikki tehdyt reiät paikataan tiiviisti betonimassalla.

3.5.2 Vahvuusmittaukset

Jos on vaadittu tai määritelty, ruiskubetonin paksuus ruiskutusten jälkeen tulee määrittää standardin EN 14488-6 mukaisesti (SFS-EN 14487-2, 11).

Vahvuusmittaukset käydään yhdessä valvojan kanssa läpi ennalta laaditun suunnitelman mukaisesti. Välineinä tässä tarvitaan henkilönostin, pora 20 mm terällä, vesihuuh- telupullo reiän huuhteluun, mittatikku reiän syvyyden mittaamiseen, maalipullo sekä

tarvikkeet syntyneen reiän tukkimiseen. Vahvuusmittauksia suoritetaan myös ruiskutus-työn edetessä välikerrosten paksuuden selvittämiseksi aina kun se katsotaan tarpeelliseksi.

Reiän poraus suunnataan kohtisuoraan kalliota vasten ja sijainti valitaan huolellisesti siten, ettei asennettuihin salaojiin tule reikiä. Suurimmat vahvuudet löytyvät yleensä painanteiden pohjilta ja pienimmät yksittäisten kiven nokkien kohdilta. Porausta suoritettaessa yleensä tuntee, milloin poranterä tavoittaa kallion pehmeämmän betonin loppuessa. Tästä huolimatta valmis reikä huuhdellaan pölystä ja tarkistetaan silmämääräisesti, että kallio näkyy reiän pohjalta. Reikä mitataan työntämällä mittatikku reikään ja merkitään saatu lukema reiän viereen maalilla millimetreinä. Vahvuusmitattu reikä ympäröidään pienellä merkillä. Lopuksi, reikä täytetään sopivalla täyteaineella. Usein tässä on käytetty sementtilaastia tai silikonია.

Jos vahvuusmittauksien aikana löytyy alitus, porataan metrin säteelle löytyneestä kohdasta uusia reikiä. Jos uusista rei'istä löytyy vaatimukset täyttävä reikä, on testi hyväksytty. Mutta jos vahvuuksien alituksia löytyy lisää, merkitään alue ja täydennetään ruiskuttamalla uusi kerros. Mittauksista tehdään pöytäkirja.

3.5.3 Tartuntalujuus

Tartuntalujuus määritetään vaadittaessa joko rakenteesta poratusta näytteestä tai vetämällä koekappale irti rakenteesta. Tartuntalujuuskokeista tehdään selostus, josta ilmenee koepaikat, tulokset, murtokohdat ja epäonnistuneet näytteenotot. SFS-EN-14488-4 + A1 määrittelee testaustavan ja SFS-EN 14487-1 sivulta 24 löytyy kuinka usein testi tehdään. Työselosteessa saatetaan vaatia tiukempaakin taajuutta.

Jos tartuntalujuuskokeita ei tehdä, tarkistetaan ruiskubetonin tartunta koputtelemalla ja kuuntelemalla ääntä.

Ruiskubetonin tartuntalujuuden vaatimustenmukaisuus saavutetaan, jos näyteerän (vähintään 3 näytettä) keskiarvo on vähintään yhtä suuri kuin määritelty arvo. (SFS-EN 14487-1, 25)

3.5.4 Ruiskubetonin vauriot

Esimerkiksi jälkihoidon puute ja siitä johtuva betonin liian nopea kuivuminen aiheuttaa halkeilua. Halkeamien kautta vesi vuotaa tunneliin. Vesivuodot saattavat kuitenkin paljastua vasta jälkihoitoajan jälkeen, jolloin betonin pinta pääsee ensimmäisen kerran kuivumaan enemmän. Tällaisiin vuotokohtiin voidaan määrätä uudet salaojat, jotka ruiskutetaan piiloon tai halkeama injektoidaan umpeen esim. epoksilla.

Muita ongelmakohtia voivat olla kohteet, joista ruiskumassaa on pudonnut jättäen kattoon vahvuudeltaan heikomman vyöhykkeen. Alue merkitään, puhdistetaan irtobetoni, pestään ja ruiskutetaan uudestaan.

Ruiskubetonipintaan on saattanut myös jäädä koloja, jos ruiskutuksen aikana on epäonnistuttu saavuttamaan oikea ruiskutuskulma. Kohteet merkitään ja korjataan.

Muita mahdollisia epäkohtia voi syntyä salaojien kohdalla. Mikäli salaojan verkotus on huonosti kiinnitetty, saattaa verkko irrota betonin painosta ja taipua. Tällöin kattoon jää silmiinpistävä betoninen palkeenkieli, jolloin ylimääräinen betoni poistetaan, salaoja korjataan ja kohde ruiskutetaan uudelleen.

4 Jälkihoito

Jälkihoito on tehtävä plastisen kutistumisen minimoimiseksi, riittävän pitkäaikaiskestävyyden ja kerrosten välisen tartuntalujuuden varmistamiseksi. Ruiskutuksen jälkeen pintaa tulee jälkihoitaa viiveettä. Tätä sovelletaan myös ruiskutusten väliin vaiheisiin, jos seuraava kerros ruiskutetaan myöhemmin kuin 2 tunnin kuluttua. (SFS-EN 14487-2, 10).

Jälkihoitaminen tulee aloittaa viimeistään ennen kuin pintaan muodostuu vaaleita läiskiä. Ruiskubetonia jälkihoidetaan, kunnes se on saavuttanut 80% nimellislujuudesta. Työselostuksessa saatetaan määrätä minimiaika jälkihoidolle erikseen.

Työvaiheen suorittamiseen nimetään henkilöt erikseen ja sen toteutumista on valvottava, etteivät ruiskutetut pinnat pääse kuivumaan. Kastelun tarvetta voidaan vähentää käyttämällä jälkihoitoaineita ruiskubetonimassassa. Jälkihoitoaine yksinään ei kuitenkaan riitä estämään kutistumahalkeamia.

Jälkihoitoainetta ei saa käyttää välikerrosten ruiskubetonointiin, koska betonikerrosten välisen tartunnan pysyvyys on tällöin heikko. Jälkihoitoaine muodostaa betonin pintaan kalvon, joka sitoo kosteuden rakenteeseen. Samalla tämä heikentäisi seuraavan betonikerroksen tartuntaa. Jos ainetta käytetään, tulee se poistaa ennen seuraavan kerroksen ruiskuttamista.

Jälkihoito tunneleissa hoidetaan yleisesti vedellä ja se aloitetaan heti, kun ruiskutettu pinta kestää vesihuuhtelun ja alueella on turvallista liikkua. Tavoitteena on pitää alue kosteana koko jälkihoitoajan.

Jos ruiskubetonointia suoritetaan alueilla joissa on jäätymisriski, huolehditaan lämpötilan säilyminen rakennuslämmittimien ja pressujen avulla. Avoleikkausten ruiskutuksessa kesällä voidaan liikaa haihtumista estää pressujen avulla. Jälkihoidosta pidetään kirjaa, jotta jälkihoito toteutuisi ruiskutetuilla alueilla suunnitellusti.

5 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä käytiin läpi louhintatyömaan työvaiheita, jotka liittyvät lopulliseen ruiskubetonointiin. Työvaiheita, jotka liittyvät läheisesti lopullisiin ruiskubetonointeihin, käytiin läpi yksityiskohtaisemmin. Työvaiheiden käsittelyssä on hyödynnetty referenssityömailta ja haastatteluista kerättyä tietoa. Työvaiheet on pyritty käymään läpi niiden tapahtumisjärjestyksessä. Käytettävistä menetelmistä valittiin käsiteltäväksi märkäruiskutusmenetelmä kalliotilojen ruiskutuksessa, koska se on yleisin ja edullisin nykyään käytetty menetelmä. Ruiskubetoni itsessään on kalliimpaa kuin normaali betoni, mutta hyöty tulee nopeasta varhaislujuudenkehityksestä ja louhinnan työvaiheiden nopeutumisesta kun räjäytystöitä päästään suorittamaan aikaisemmin. Kuivaruiskutusmenetelmä ja sen yleisimmät käyttökohteet kallioiloissa esiteltiin pintapuolisesti. Osa-alueita käsiteltiin siten, että työnjohtaja voisi niissä olevaa tietoa käyttää työn suunnittelun, johtamisen ja valvonnan tukena. Työssä on pyritty säilyttämään sopiva etäisyys aiheeseen, jotta ohjeen käytettävyys yleisesti olisi mahdollista.

Työ toteutettiin Lemminkäinen Infra Oy:n työmailla pääkaupunkiseudulla ja Oulussa. Työn lopputuloksena syntyi tarkastuslista (liite 1) ja yleistyöohje ruiskubetonointiin, johon kootusti kerättiin työvaiheisiin liittyviä huomionarvoisia tekijöitä työnjohdon tueksi ja esiin nousseiden ongelmien ratkaisemiseksi.

Työn tekemisen aikana opinnäytetyöntekijän oma ymmärrys louhintatyön tuotantoprosessista kasvoi. Opinnäytetyöntekijä oppi uusia asioita mihin kiinnittää huomioita työtä johtaessaan. Näitä opittuja asioita pyrittiin sisällyttämään tähän ohjeistukseen. Lopullisten lujitustöiden prosessi on selkeä, hyvin kontrolloitu jatkumo, jonka ohjeistuksen seuraaminen tuottaa vaadittua laatua taloudellisesti. Tämän ohjeistuksen ajatus on vahvistaa työnjohdon ymmärrystä prosessiin ja mitä se minäkin hetkenä vaatii louhintatöiden edetessä.

Tulevaisuudessa olisi hyvä tutkia tunnelin ilmastoinnin aiheuttamia vaikutuksia lujuudenkehitykseen. Varsinkin kylminä ajanjaksoina räjäytystöiden jälkeen ja lastauksen aikana tuuletuksen ollessa voimakkaimmillaan lämpötila saattaa paikallisesti muuttua paljonkin kylmän ulkoilman virratessa tunneliin.

6 Lähteet

Antikainen, J. 2011. Ruiskubetonin varhaislujuuden kehitys ja laadunvalvonta. Opin-
näytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Betoninormit by50. 2004. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys r.y.

Betonitekniikan oppikirja by201. 2004. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys r.y.

Ruiskubetoniohjeet by 29.1003. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys r.y.

SFS-EN 12390-2. 2001. Kovettuneen betonin testaus. Osa 2: Koekappaleiden valmis-
tus ja säilytys lujuuksitestejä varten. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 14487-1. 2006. Ruiskubetoni. osa 1: Määritelmät, vaatimukset ja vaatimus-
tenmukaisuus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 14487-2. 2005. Ruiskubetoni. osa 2: Toteuttaminen. Helsinki: Suomen Stan-
dardisoimisliitto.

SFS-EN 14488-7. 2007. *Testing sprayed concrete. Part 7: Fibre content of fibre rein-
forced concrete.* Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Tarkastuslista

- Osa-alueen louhinnan aikaiset työt
 - o Kovien poisto
 - o Irtokivien poisto (rusnaus)
 - o Pultinpäiden/mansetin varsien katkaisut
- Osa-alueen louhinnan jälkeiset työt
 - o Vesivuotojen jälki-injektointi, jos tarpeen.
 - o Lujitustöiden puutteiden korjaus
 - o Pesu ennen salaojitusta
 - o Salaojitus ja työjärjestyksen suunnittelu
- Osa-alueen valmistelut
 - o Tunnelin reunat auki kaivettu
 - o Varustelut laskettu alas tukien päälle ja suojattu
 - o Keskukset ja hanat suojattu
 - o Mittapisteet suojattu
 - o Salaojat asennettu oikein ja alaosat suojattu
 - o RB-rajat maalattu ja mittamerkit paikoillaan RB rajojen uudelleen merkitsemisen nopeuttamiseksi.
- Osa-alueen itselle luovutus
 - o Osa-alueen valmisteluiden tarkistus
 - o Tarkemittaus tehty
 - o Lujitus ja tiivistystyöt tehty, joista olemassa pöytäkirjat ja laadunvalvonnan dokumentit kansioissaan.
 - o Ennakkokokeiden tulokset käytössä ja tilaajan hyväksymät
- Osa-alueen katselmus ja ruiskubetonoinnin aloituslupa
 - o Samat asiat kuin itselleluovutuksessa

Tarkastuslista

- Ruiskubetonointi
 - o Osa-alueen pesu
 - Kallion pintaan ei jää irtokiviä, likaa tai rasvaa.
 - o Osa-alueen lämpötila
 - Vähintään +5°C
 - o Osa-alueen eristäminen liikenteeltä
 - o Tuoreen massan laadun valvonta
 - Kuormakirjan tarkastus ja arkistointi
 - Massan silmämääräinen arviointi
 - Massan ja kiihdytinaineen lämpötila oikein
 - 15°C - 30°C
 - Notkeus
 - 10-15cm
 - Kuitupitoisuus
 - 1/100m³ ja 6 testiä
 - Massan hylkäyksen toimenpiteet
 - Purkuajan seuranta
 - o Työnaikainen laadunvalvonta
 - Työtapa
 - Mahdolliset laattojen ruiskutukset ja niiden jälkihoito
 - Kerrospaksuudet, niiden seuranta ja dokumentointi
 - Vuorokohtaisten pöytäkirjojen pito
 - o Työnjälkeinen laadunvalvonta
 - Lujuuden seuranta ja jälkihoidon suunnitelmien mukainen järjestäminen osa-alueelle ja siitä tehdyille koelaatoille
 - Koelaattojen poisto muoteista n. 1-3 päivän kuluessa
 - Koelaattojen suunnitelman mukainen toimitus laboratorioon.
 - Vahvuusmittaukset ja reikien täyttö
 - o Osa-alueen siistiminen
 - Salaojien alaosien suojauksien varovainen poisto
 - Varusteluiden suunnitelmien mukainen uudelleen asennus
 - Salaojien alaosien korjaus, mikäli vaurioituneet
 - Hukkaroiskeen poisto (ongelmajätettä)