

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Lappeenranta  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma  
Yhdyskuntatekniikka

Matti Rökköläinen

## **Liikennöidyn rautatietunnelin ruiskubetonointi**

Opinnäytetyö 2018

## Tiivistelmä

Matti Räkköläinen

Liikennöidyn rautatietunnelin ruiskubetonointi, 47 sivua, 7 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma

Yhdyskuntatekniikka

Opinnäytetyö 2018

Ohjaajat: yliopettaja Tuomo Tahvanainen, Saimaan ammattikorkeakoulu, työmaapäällikkö Jussi Tukeva, VR Track Oy

Opinnäytetyön tavoitteena oli kerätä tietoa liikennöidyn rautatietunnelin ruiskubetonoinnista ja siihen liittyvistä erityispiirteistä. Opinnäytetyö pyrki löytämään menetelmiä prosessin kehittämiseksi. Opinnäytetyössä tarkasteltiin VR Track Oy:n Äänekosken liikenneyhteydet -ratahankkeella käytettyjä ruiskubetonointiin liittyviä ratkaisuja. Opinnäytetyön pohjana käytetty tieto koottiin kirjallisuuslähteistä, standardeista, ohjeista, verkkojulkaisuista ja haastattelemalla.

Opinnäytetyö kuvailee rautatiellä työskentelemisen edellytykset. Opinnäytetyö esittää ennen ruiskubetonointia tehtävät valmistelevat työt, joihin sisältyvät alustan esikäsittely, olemassa olevien rakenteiden suojaus ja ruiskubetonointityöskönnön kokoaminen. Ruiskubetonimassaan, ruiskubetonointiin ja jälkihoitoon perehdytään myös tarkemmin. Opinnäytetyö kokoaa yhteen ruiskubetonoinnin laadunvarmistuksen periaatteet ja ottaa kantaa turvallisuusasioihin.

Liikennöidyn rautatietunnelin ruiskubetonoinnin tehostamiseksi ja laadun parantamiseksi opinnäytetyössä esitetään neljä asiaa. Olemassa olevien rakenteiden suojauksen tehostamiseksi ehdotetaan muovikalvon levittämistä rullalta. Ruiskubetonin vesitiiviyyden saavuttamiseksi opinnäytetyö kuvailee betonimassalle koostumuksen, jolla tämä voidaan parhaiten saavuttaa. Ruiskutuksen kerrospaksuuksien työnaikaiseen seurantaan opinnäytetyö ehdottaa lasermittalaitteiden käyttämistä. Rautatietunneleiden huonojen tai puutteellisten viestintäyhteyksien ratkaisemiseksi esitetään pitkän kantaman radiopuhelimia.

Opinnäytetyö toimii kattavana perustiedonlähteenä ryhdyttäessä liikennöidyn rautatietunnelin ruiskubetonointityöhön.

Avainsanat: ratatyö, rautatietunneli, ruiskubetoni

## **Abstract**

Matti Rökköläinen

Shotcrete works in railroad tunnel, 47 Pages, 7 Appendices

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Degree Programme in Construction and Civil Engineering

Civil Engineering

Bachelor's Thesis 2018

Instructors: Mr Tuomo Tahvanainen, senior lecturer, Saimaa University of Applied, Mr Jussi Tukeva, site manager, VR Track Oy

The objective of this study was to gather information about shotcrete works in tunnels which are in service. The thesis also researched ways to optimize the shotcrete process. The data for this thesis were collected from literature, standards, guidelines, internet publications and by interviewing. The thesis concentrates on wet-mix shotcrete.

Shotcrete work while keeping the tunnel in service requires major coordination and planning. The equipment must be placed aboard open wagons of the work train. Traffic in the tunnel is managed to permit work windows lasting 8 to 12 hours. Current in the overhead electrification system must be turned off.

The study offers information about railroad works and the permit process. Treatment of the rock surface and assembly of the work train are examined. Shotcrete mix, applying shotcrete and surface treatment are also discussed. The thesis presents principles for quality requirements and work safety of shotcrete.

The thesis suggests four cases for increasing the performance and quality of shotcrete works in railroad tunnels. The study offers improvements for shielding of existing structures. Laser distance meters are proposed for fast inspecting of shotcrete layers thickness. As an enchantment for waterproofing of the finished shotcrete layer the study offers details for the concrete mix. Long range radio-phones are suggested for improving communications in tunnels.

Keywords: shotcrete, spray concrete, railroad works, railroad tunnel

# Sisällys

Käsitteet.....	6
1 Johdanto.....	8
1.1 VR Track Oy .....	8
1.2 Äänekosken liikenneyhteydet -ratahanke .....	9
1.3 Rautatietunnelin ruiskubetonoinnin lähtökohdat .....	10
2 Rautatiealueella työskentely .....	11
2.1 Pätevyydet .....	11
2.2 Ratatyö .....	12
2.3 Ratatyömenettely .....	12
2.4 Työkoneet ja -välineet.....	14
2.5 Jännitekatko.....	14
2.6 Rautatietunnelit.....	17
3 Valmistelevat työt.....	18
3.1 Alustan esikäsittely .....	18
3.2 Olemassa olevien rakenteiden suojaus .....	18
3.3 Ruiskubetonointiyksikön kokoonpano .....	20
3.4 Työjärjestyksen suunnittelu.....	23
4 Ruiskubetonointi .....	24
4.1 Betonimassa .....	25
4.2 Betonin tilaus ja vastaanotto .....	29
4.3 Ruiskutus .....	30
4.4 Tukitoimenpiteet .....	33
4.5 Jälkihoito.....	34
4.6 Turvallisuus.....	35
5 Laadunvarmistus .....	36
5.1 Ruiskubetonointityön laatuvaatimukset.....	37
5.2 Koeruiskutus .....	37
5.3 Sisäinen laadunvalvonta .....	38
5.4 Toteutuksen tarkastus.....	40
5.5 Riskit ja niihin varautuminen .....	40
6 Kehitettäviä asioita.....	42
6.1 Suojaukset .....	42
6.2 Betonimassa .....	43
6.3 Ruiskutus .....	43
6.4 Viestintäyhteydet .....	44
7 Pohdinta.....	44
Kuvat.....	46
Taulukot.....	46
Lähteet.....	47

## Liitteet

Liite 1. Ratajohdon osat avoradalla (RATO 5 Sähköistetty rata, Liikenneviraston ohjeita 21/2013)

Liite 2. SFS-EN 14487-1 taulukko 9 Koeruiskutus

Liite 3. SFS-EN 14487-1 taulukko 10 Osa-aineiden valvonta

Liite 4. SFS-EN 14487-1 taulukko 11 Perusseoksen valvonta

Liite 5. SFS-EN 14487-1 taulukko 12 Ruiskubetonin ominaisuuksien valvonta

Liite 6. SFS-EN 14487-2 taulukko 2 Tarkastuksen laajuus

Liite 7. SFS-EN 14487-2 taulukko 3 Tarkastuksen laajuuteen liittyvät tarkastustoimenpiteet

## Käsitteet

**Aukean tilan ulottuma** eli **ATU** on se pitkin raidetta ulottuva tila, jonka sisällä ei saa olla kiinteitä rakenteita tai laitteita (1).

**Erotin** on mekaanisesti toimiva kytkinlaite, joka auki asennossa aikaansaa luotettavan avausvälin ja kiinniasennossa kykenee johtamaan kuormitus- ja oikosulkuvirran, mutta jolta ei vaadita katkaisu- eikä sulkemiskykyä (2).

**Erottaminen** on toimenpide, jolla virtapiirin osa erotetaan toisesta virtapiirin osasta siten, että sähköön johtuminen, vuotaminen tai ylilyönti erotuskohdan yli ei ole mahdollista (2).

**Hukkaroiske** on se osa materiaalista, joka on ruiskutettu suuttimen läpi, mutta ei tartu ruiskutettavaan pintaan (3).

**JETI** on junaliikenteen ennakkotiedot -järjestelmä, jolla laaditaan, jaetaan ja ylläpidetään ennakoilmoituksia ja radan liikennöitävyyteen vaikuttavia tietoja. Järjestelmässä laaditaan ja hyväksytään rataverkolla tehtävät ratatyöt ja ennakkosuunnitelmat. (1.)

**Jännitekatko** on sähkölaitteiston tietyn osan tekeminen jännitteettömäksi (2).

**Käyttöaika** on perusseoksen sekoituksen ja viimeisen mahdollisen ruiskuttamisen välinen aika (3).

**Liikennöinti** on junaliikennettä tai vaihtotyötä (1).

**Liikenteenohjaus** on rautatieliikenteen käyttämien kulkuteiden turvaamista. Liikenteenohjaus käsittää lisäksi liikenteessä tarvittavien lupien ja ilmoitusten antamista. Liikenteenohjaukseen sisältyy myös ratatyöalueiden turvaaminen, lupien antaminen ratatyöhön ja työn päättämislupien vastaanottaminen. (1.)

**Päällysrakenne** sisältää radan tukikerroksen ja raiteen (4).

**RAILI-palvelu** rautateiden integroitu liikenneviestintäpalvelu on rautatiekäyttöön suunniteltu puheviestintäpalvelu, jota voidaan käyttää RAILI-puhelimien lisäksi VIRVE-radiopuhelimilla ja yleisen verkon älypuhelimilla, joissa on RAILI-sovellus (1).

**RSU** eli ratatyön suojaulottuma on pitkin raidetta ulottuva tila, jonka sisäpuolella työskentely tapahtuu ratatyönä tai voidaan tehdä tietyin edellytyksin turvamiesmenettelyllä. Yksiraiteisella radalla 2,5 metriä lähimmästä kiskosta tai sähköradan pylväslinja. (1.)

**Ratajohto** on ajojohtimen ja mahdollisen paluujohtimen tai vastajohtimen sekä kannatusrakenteiden ja varusteiden muodostama kokonaisuus (2).

**Ratakuorma-auto** on nostolaitteella varustettu ratatyökone, jolla voidaan mm. siirtää vaunuja, tehdä lumenaurauksia ja vetää työjunia.

**Ratatyöilmoitus (Rt-ilmoitus)** on liikenteenohjaukselle annettava kirjallinen ilmoitus ratatyöstä. Kiireellisessä ratatyössä Rt-ilmoituksen voi antaa myös suullisesti. (1.)

**Ratatyöstä vastaava** on henkilö, joka vastaa ratatyön liikenneturvallisuudesta, pyytää liikenteenohjauksen luvan ratatyöhön ja ilmoittaa ratatyön päättymisestä (1).

**Ratatyöturvallisuuspätevyys** eli **turva** on koulutus, jota edellytetään liikenneviraston tilaamissa tai hyväksymissä ratatöissä.

**Rautatiealue** tarkoittaa rataa sekä kaikkia laitteita, alueita ja rakennuksia, jotka tarvitaan liikenteen hoitamiseksi ja turvaamiseksi (1).

**Rautatietunneli** on ratatunnelin, kuilujen, teknisten tilojen ja järjestelmien sekä avoleikkausten ja huoltoteiden muodostama kokonaisuus (4).

**Ruiskubetoni** on perusseoksesta valmistettu betoni, joka ruiskutettaessa paineilmalla suuttimesta kohteeseen muodostaa tiiviin homogeenisen kerroksen (3).

**Ruiskubetonisalaaja** on ennen ruiskubetonointia kallion pintaan vesivuodon kohdalle asennettava putken, solumuovin ja raudoitusverkon muodostama kokonaisuus.

**Rusnaus** on kallion seinissä ja katossa huonosti kiinni olevien lohcareiden ja kappaleiden mekaanista irrotusta.

**Tarkastuskategoria** tai **tarkastusluokka** on ruiskubetonin ominaisuuksien testaamisen taso ja taajuus, joka on määritetty rakenteen riskitason ja suunnittelukäyttöön mukaan (3).

**Yksikkö** tarkoittaa junaa tai muuta raiteella liikkuvaa kalustoa.

# 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kerätä kattava tietopaketti liikennöidyn rautatietunnelin ruiskubetonoinnista ja siihen liittyvistä erityispiirteistä. Opinnäytetyössä pohditaan myös keinoja prosessin kehittämiseksi. Opinnäytetyö pohjautuu kirjallisuuslähteisiin, standardeihin, ohjeisiin, verkkojulkaisuihin, haastatteluun ja työn tekijän omiin havaintoihin VR Track Oy:n Äänekosken liikenneyhteydet -ratahankkeella kesällä 2017.

Opinnäytetyö on kirjoitettu urakoitsijan näkökulmasta eikä ota kantaa kalliorakennussuunnitelmien ja rakennesuunnitelmien tarkempaan laatimiseen. Työssä keskitytään vain ruiskubetonointiin ja siihen liittyviin toimintoihin. Työn ulkopuolelle rajautuvat muut tunnelissa suoritettavat kalliorakennustyöt kuten lujituspultitukset ja injektoinnit. Ruiskubetonointimenetelmistä keskitytään märkäseosmenetelmään. Laadunvarmistuksen osalta ruiskubetonille tehtäviä koejärjestelyitä ja läpäisykriteereitä ei käsitellä tarkemmin. Ratatyöprosessiin on tulossa muutos (RUMA-järjestelmä) 12.6.2018 alkaen. Opinnäytetyössä ei huomioida tätä.

Opinnäytetyö kokoaa yhteen informaatiota rautatiellä työskentelemisen edellytyksistä, ruiskubetonimassasta, ruiskubetonoinnista, kalustosta, jälkihoidosta, turvallisuusasioista ja laadunvarmistuksesta. Opinnäytetyön lopussa pyritään löytämään ratkaisuja toiminnan tehostamiseksi ja laadun kehittämiseksi.

## 1.1 VR Track Oy

VR Track Oy on VR yhtymään kuuluva infrahankkeisiin erikoistunut rakennusliike, suunnittelutoimisto ja kunnossapitoyritys. VR Track Oy:n liikevaihto vuonna 2016 oli 294,3 miljoonaa euroa. Yrityksen palveluksessa työskentelee noin 1700 työntekijää. Asiakkaita ovat valtion ja kuntien toimijat sekä satamat ja teollisuusyritykset. Suurin yksittäinen asiakas on Liikennevirasto. VR Track Oy:n tavoitteena on tarjota asiakkailleen turvallisia ja tehokkaita ratkaisuja vastuullisesti ja laadukkaasti. Konsernin toimintaa ohjaavat kuvassa 1 esitetyt arvot. (5.)





Kuva 1. VR Groupin toiminnan arvot, jotka ohjaavat koko konsernin toimintaa (5)

VR Track Oy on Suomen suurin radanrakentaja ja ainoa täyden palvelun rautatiejärjestelmien toimittaja. Yrityksen asiantuntemukseen sisältyy rauta- ja raitiotietekniikan lisäksi tie- ja sillanrakentamista sekä telematiikkarakentamista. VR Track Oy on myös yksi Suomen suurimmista infra-alan suunnittelutoimistoista ja johtava rata-, sähkö- ja turvalaitejärjestelmien asiantuntija. Kunnossapitopalveluihin kuuluvat ratojen ja sähköverkkojen kunnossapitourakat. Materiaalipalvelut kattavat rautatiemateriaalien hankinnan ja varastoinnin sekä oman tuotannon. Kalustopalvelut tarjoavat tehokkaan erikoiskaluston ja raskaat työkoneet ratojen rakentamiseen ja kunnossapitoon. Yrityksen repertuaariin kuuluvat myös akkreditoidut arviointi- ja hyväksyntäpalvelut. (5.)

## 1.2 Äänekosken liikenneyhteydet -ratahanke

Metsä Groupin tekemä investointi uuden biotuotetehtaan rakentamiseen Äänekoskelle loi tarpeen parempien ja laadukkaampien liikenneyhteyksien toteuttamiselle Keski-Suomen alueella. Biotuotetehtaan takia ratakuljetusten määrän enustettiin kasvavan merkittävästi. Äänekosken liikenneyhteydet (ÄLY-hanke) ratahankkeeseen kuului 47 km pituisen Jyväskylä – Äänekoski -rataosuuden peruskorjaus ja sähköistys sekä lisäksi Tampere – Jyväskylä -välillä tehtäviä töitä yksittäisissä kohteissa. Tampere – Jyväskylä -välillä oli kuuden viikon pituinen liikenteen totaalikatko, mutta muuten työt toteutettiin pääasiassa junaliikennettä häiritsemättä. Hankkeen rataosuus toteutettiin allianssimallilla yhteistyössä Liikenneviraston ja VR Track Oy:n kanssa. Hankkeen rakentamisvaihe alkoi touku-kuussa 2016 ja valmistui elokuussa 2017. (6.)

Hankkeeseen kuului parannus- ja korjaustöitä viidessä tunnelissa. Jyväskylä – Äänekoski -välillä sijaitsevassa Kangasvuoren tunnelissa toteutettiin mittavimmat

toimenpiteet. Tunnelin perusparannukseen sisältyi kallion rusnaus, lujituspultitus, injektointi ja ruiskubetonointi salaojineen. Lisäksi toteutettiin sähköistys, päällysrakenteen uusiminen, turvalaiteasennuksia, valaistuksen uusiminen, salaojien, kaapelikanavan ja suuaukkorakenteiden rakentaminen. Tampere - Jyväskylä - rataosuudella töitä tehtiin Keljonkangas 2 -tunnelissa, Paasivuoren tunnelissa, Lahdenvuoren tunnelissa sekä Matomäen tunnelissa. Suuaukkorakenteita tehtiin Keljonkangas 2:n, Matomäen ja Lahdenvuoren tunneleihin. Paasivuoren ja Lahdenvuoren tunneleissa toteutettiin päällysrakenteen ja pohjasalaojien uusimisen lisäksi ruiskubetonisalaojien asennuksia ja ruiskubetonointia suunnittelijan määrittämällä alueilla. (6.)

### **1.3 Rautatietunnelin ruiskubetonoinnin lähtökohdat**

Suomen kallioperä on melko ehyt ja kestävä. Se soveltuu hyvin kalliorakentamiseen. Tästä syystä lähes kaikki rautatietunnelit ovat poraus- ja räjäytysmenetelmällä rakennettuja kalliotunneleita. Tunneleiden pinnoitukseen on yleensä käytetty ruiskubetonikerrosta. Ruiskubetonirakenne toimii kallion lujituksena ja jonkinlaisena vesieristeenä. Pelkkä ruiskubetonikerros ei riitä vesieristeeksi, vaan sen kanssa on käytettävä injektointia ja ruiskubetonisalaojia. Vaihtoehtoisesti tunnelin vesieristämiseen voidaan käyttää erilaisia kalvorakenteita. Ruiskubetonirakenteen etuina voidaan pitää nopeaa levitystä, tunnelin muotoon mukautumista ja paloturvallisuutta.

Ruiskubetonia itsessään voidaan pitää lähes vesitiiviinä. Ruiskubetonointityö asettaa kuitenkin omat haasteensa tämän tavoitteen saavuttamiseksi. Ruiskubetonin halkeamat ja huonosti tiivistyneet kohdat lisäävät veden läpäisevyyttä merkittävästi. Tästä syystä injektointi ja oikein sijoitetut saattolämmitetyt ruiskubetonisalaojat ovat välttämättömiä tiukkojen vesitiiveysvaatimusten saavuttamiseksi. Ajan kuluessa ruiskubetonirakenne saattaa vaurioitua. Halkeamat ja salaojien tukkeutuminen voivat aiheuttaa haitallisia vesivuotoja. Vesivuodot jäätyvät talvella laajentaen vauriomekanismia ja aiheuttaen haitallista paannejäätä. Pahimmassa tapauksessa ruiskubetoni rapautuu ja halkeilee niin paljon, että siitä alkaa irtoamaan kappaleita.

Tarve liikennöityjen rautatietunneleiden ruiskubetonoinnille muodostuu erilaisista peruskorjaus- ja perusparannuskohteista. Vanhoja ruiskubetonointirakenteita voidaan korjata uusilla ruiskubetonisaloilla ja ruiskubetonikerroksilla. Vedeneristysrakenne saatetaan päätyä vaihtamaan kokonaan kalvorakenteesta salaojitus- ja ruiskubetonointirakenteeseen. Olemassa olevan kalvorakenteen päälle voidaan lisätä ruiskubetonikerros lisävedeneristeeksi ja palonsuojaksi. Liikennöidyn rautatietunnelin ruiskubetonoinnin perusvaatimuksina ovat pitkä jännitekatko ja riittävä, esimerkiksi 10 tunnin, liikennekatko päivässä.

## **2 Rautatiealueella työskentely**

Työskenneltäessä rautatiealueella tarvitaan aina liikenneviraston lupa, tilaus tai muu sopimus. Työskentelymenettelyjä ovat ratatyö liikenteenohjauksen luvalla, turvamiesmenettely sekä ratatyön suojaulottuman (RSU) ulkopuolella tehtävä muu työ. Liikkuminen rautatiealueella on sallittua vain, jos työtehtävät niin edellyttävät. Rautatiealueella liikuttaessa ja työskenneltäessä tarvitaan aina ratatyöturvallisuuspätevyys (Turva) sekä perehdytys työmaahan ja sen erityisominaisuuksiin. Lisäksi henkilökohtaisen varustuksen täytyy olla kunnossa. Näihin sisältyy kuvallinen henkilötunniste, standardin SFS-EN ISO 20471 mukainen varoitusvaatetus sekä Valtioneuvoston asetuksen 205/2009 mukaiset henkilönsuojaimet. Oranssi työvaatetus on sallittu vain turvamiehellä. (1.)

### **2.1 Pätevyudet**

Ratatyömaalla toimivilla henkilöillä tulee olla Liikenneviraston vaatimusten mukaiset ja työn tekemisen edellyttämät pätevyudet. Liikenneviraston myöntämiä työpätevyyksiä ovat esimerkiksi hitsauspätevyys, vaihdepätevyys ja maanrakennuspätevyys. Turvallisuuspätevyyksiä ovat ratatyöturvallisuuspätevyys (Turva) ja turvamiespätevyys. Rautatieympäristössä työskentely edellyttää myös työturvallisuuskorttia sekä tarvittaessa tulityökorttia ja tieturva-pätevyyksiä työtehtävän vaatiessa. Ratatyöstä vastaavan tehtävä on lakisääteinen liikenneturvallisuustehtävä, jonka sääntely kuuluu liikenteen turvallisuusvirasto Trafille. Valtion rataverkolla toimivan ratatyöstä vastaavan tulee olla suorittanut Trafin vaatima rata-

työstä vastaavan koulutusohjelma sekä Liikenneviraston vaatima suunnattu koulutus. Pätevyyteen tarvitaan lisäksi suoritettu harjoittelu sekä lain rautatiejärjestelmän liikenneturvallisuustehtävistä vaatima terveydentila. (1.)

## **2.2 Ratatyö**

Ratatyö on rataverkolla tai sen läheisyydessä tehtävää työtä, joka vaikuttaa suoraan liikennöintiin. Ratatyötä on kahta eri tyyppiä: ennalta suunniteltua ja kiireellistä ratatyötä. Ensimmäisen luokan liikenteenohjauksen alueella tapahtuvaan ratatyöhön tarvitaan aina liikenteenohjauksen lupa. Liikennöinti keskeytetään ratatyön ajaksi. Ratatyötä ovat työt, jotka

- estävät tai vaarantavat raiteen liikennöinnin
- vaativat jännitekatkon
- tehdään koneellisesti siten, että työkone tai sen osa on raiteen RSU:ssa
- vaikuttavat radan rakenteisiin ja laitteisiin
- kohdistuvat käytössä olevaan turvalaitokseen
- tehdään työkoneella tai ajoneuvolla matkustajalaiturilla
- sisältävät tulitöitä RSU:n sisällä tai liikennöidyn raiteen läheisyydessä
- kohdistuvat JKV-baliiseihin
- tehdään jalkaisin raiteen RSU:ssa, kun raiteen suurin työaikainen nopeus on yli 140 km/h
- Liikennevirasto on ohjeistanut tehtäväksi liikenteenohjauksen antamalla luvalla, kuten työskentely silloilla ja tunneleissa
- edellyttävät liikennöinnin keskeyttämistä työ- tai rautatieturvallisuuden takia. (1.)

## **2.3 Ratatyömenettely**

Ratatyö pyritään aina suunnittelemaan etukäteen ja sillä täytyy olla ratatyöstä vastaava. Ennakkosuunnitelma ratatyöstä tehdään junaliikenteen ennakkotiedot (JETI) järjestelmään vähintään seitsemän vuorokautta ennen suunnitellun ratatyön alkamista. Jos työ edellyttää jännitekatkoa, täytyy ennakkosuunnitelma tehdä ennen jännitekatkopyyntöä. Ennakkosuunnitelman tekijällä täytyy olla JETI-järjestelmän käyttämiseen riittävä koulutus. Liikennesuunnittelija laatii ennakkosuunnitelman perusteella ennakkoilmoituksen JETIin. Ratatyöstä vastaava

tarkastaa työtään koskevan ennakkoilmoituksen hyvissä ajoin ennen ratatyön aloittamista ja merkitsee ennakkoilmoituksen numeron Rt-ilmoitukseen. (1.)

Urakoitsija toimittaa alueen liikenteenohjaukselle ratatyöstä ratatyöilmoituksen kirjallisesti Rt-ilmoituslomakkeella Liikenneviraston ohjeiden mukaisesti. Ratatyöilmoituksen laatijalla täytyy olla ratatyöstä vastaavan pätevyys. Ratatyöilmoitus sisältää tiedot ratatyön sijainnista, ajankohdasta, tyypistä, käytettävästä kalustosta, suojaustavoista ja ratatyöstä vastaavasta. Rt-ilmoituksen voi lähettää enintään seitsemän vuorokautta ennen työn alkamisajankohtaa. Ratatyöhön pitää saada aina liikenteenohjauksen lupa. Pelkkä Rt-ilmoituksen lähettäminen ei riitä. Kiireellisestä ratatyöstä tehdään pelkästään Rt-ilmoitus, joka voidaan antaa liikenteenohjaukselle suullisesti ennen luvan pyytämistä ratatyöhön. Ratatyöstä vastaavalla tulee olla työkohdettaan koskeva ratatyön aikana voimassa oleva JETI-lista mukanaan. (1.)

Ratatyöstä vastaava tarkastaa Rt-ilmoituksen liikenteenohjauksen kanssa etukäteen. Tarkastuksessa käydään läpi ennakkoilmoituksen numero, liikennepaikka tai liikennepaikkaväli ja ratatyöstä vastaava. Tarkastuksen jälkeen liikenteenohjaus antaa ratatyön yksilöivän tunnuksen. Ratatyöstä vastaava rekisteröityy RAILI-verkkoon ja RAILI-palveluun RAILI-puhelimella käyttäen ratatyön yksilöivää tunnusta. Tämän jälkeen luvan pyytäminen ratatyöhön on mahdollista. Liikenteenohjauksen on annettava lupa ratatyöhön suoraan ratatyöstä vastaavalle. Ratatyöstä vastaava on yhteydessä oman ratatyöalueensa työryhmiin ja koneenkuljettajiin luvan saamisen jälkeen. (1.)

Ratatyöalue on suojattava, jos liikennöinti sen sisällä keskeytetään. Ratatyöstä vastaava sekä liikenteenohjaus vastaavat ratatyöalueen suojaamisesta. Ratatyön suojaamisen tarkoituksena on estää juna- tai vaihtoliikenteen kulku ratatyöalueelle. Ratatyöstä vastaava varmistaa omalla ratatyöalueellaan tarkoituksenmukaisten suojaustapojen ja -välineiden käytön ennen kuin lupa ratatyöhön annetaan. (1.)

Ennen ratatyön päättämistä ratatyöstä vastaava varmistaa, että kaikki työryhmät ovat lopettaneet työt ja poistuneet kiskoilta. Radan liikennöitävyys ja kunto on tarkastettava, jos aukean tilan ulottumassa voi olla työn jäljiltä esteitä tai työ on

vaikuttanut radan rakenteisiin, turvalaitteisiin tai radan vakavuuteen. Ratatyöstä vastaava vastaa radan liikennöitävyyden tarkastamisesta. Ratatyöstä vastaava huolehtii, että tarvittavat tarkastukset ovat tehty ennen ratatyöalueen luovuttamista takaisin liikenteelle. Jos työn yllättävällä keskeyttämisellä ei ole vaikutusta junaliikenteeseen tarkastusta ei tarvita. Ratatyöstä vastaava ilmoittaa liikenteenohjaukselle suoraan ratatyön päättymisestä. (1.)

## **2.4 Työkoneet ja -välineet**

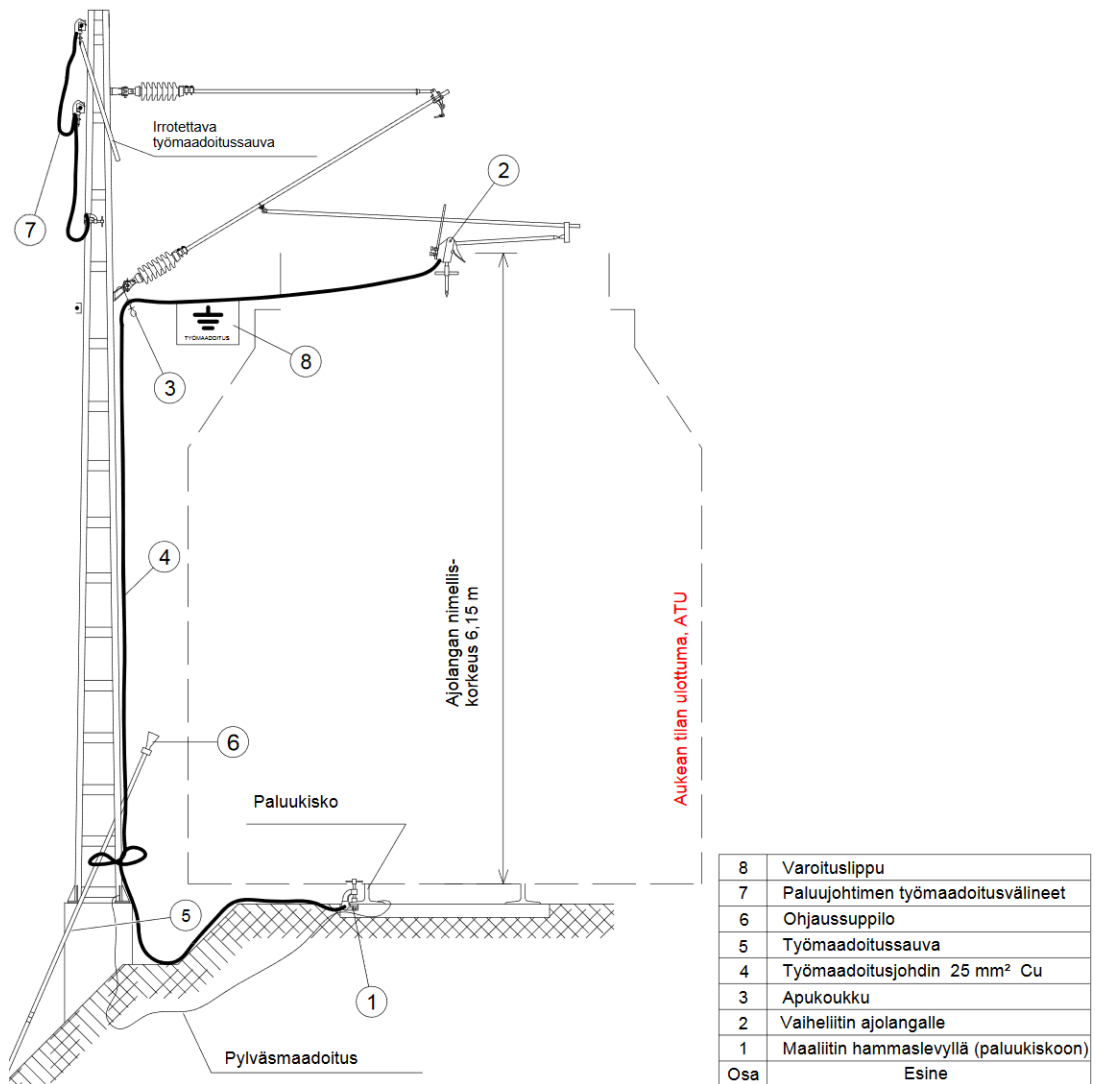
Työkoneella tai ratatyössä käytettävällä liikkuvalla kalustolla työskentely ja liikkuminen RSU:ssa on sallittu vain liikenteenohjauksen antamalla luvalla ratatyöhön. Liikkuvan kaluston ja työkoneen kuljettajan vastuulla on turvallinen toiminta ratatyöalueella. Liikuttaessa samalla alueella muun kaluston ja työntekijöiden kanssa on huomioitava tarpeellinen varovaisuus ja huolellisuus. Jos näkyvyys ohjaamosta kulkusuuntaan ei ole riittävä, tarvitaan erillinen tähystäjä. Kuljettaja täytyy olla perehdytetty rautatiealueella liikkumiseen, siellä oleviin laitteisiin, kiintopisteisiin ja rajoihin. Ratatyöstä vastaava valvoo ja ohjaa ratatyöalueella liikkuvaa kalustoa ja työkoneita. Rautatiealueella työskenteleville työkoneille on tehtävä vastaanotto- ja käyttöönottotarkastukset, joissa tarkastetaan myös rautatieturvallisuutta varmistavat laitteet ja varusteet. Jokaisessa työkoneessa täytyy olla mukana ensiapulaukku ja alkusammutin. (1.)

## **2.5 Jännitekatko**

Jännitekatko tarvitaan aina, kun pienin työskentelyetäisyys (2 m) ratajohdon jännitteisiin osiin alittuu tai kun työn aikaisesta sähköturvallisuudesta ei ole varmuutta. Jännitekatko pyydetään Liikenneviraston käytönjohtajalta tai hänen valtuuttamaltaan taholta. Jännitekatkopyyntö laaditaan Liikenneviraston jännitekatkolomakkeelle. Jännitekatkopyyntö sisältää mm. tiedot jännitteettömistä kytkentäryhmistä, työskentelyalueesta, työn laadusta, vastaavista henkilöistä, maadoituksista, aikataulusta ja kytkentäehdotuksesta. Jännitekatkopyyntö on tehtävä viimeistään kaksi viikkoa ennen työn alkamista, jos asiasta ei ole erikseen sovittu käytön johtajan kanssa. JETI-järjestelmässä ilmoitetaan jännitekatkon takia sähkövetokalustolta suljetut raiteet. Liikennesuunnittelija hyväksyy kytkentäehdotuksen ja antaa jännitekatkoilmoituksen. (2.)

Käyttökeskus tai kytkennän suorittajaksi määrätty sähköalan ammattihenkilö toteuttaa jännitekatkoilmoituksen mukaisen kytkennän. Kytkenäehdotus tarkastetaan kytkennän toteuttajan toimesta. Kytkenän tulee olla sellainen, että se voidaan suorittaa vaarantamatta ihmisiä, laitteita tai käyttövarmuutta. Kytkenän tekemiseen tarvitaan liikenteenohjauksen lupa jännitekatkolle. Lisäksi liikenteenohjauksen on täytynyt antaa ratatyöstä vastaavalle lupa ratatyöhön. Ajojohdin erotetaan jännitteestä avaamalla kaikki erottimet, joilla kyseinen johto-osuus on liitetty verkkoon. Jännitteen kytkeminen työpisteeseen on estettävä esimerkiksi lukitsemalla erotin auki asentoon tai käyttämällä kauko-ohjauksen estologiikkaa. Käynnissä olevasta työstä varoittavat kieltokilvet on asetettava kytkinlaitosten erottimiin. Sähköratalaitteiston jännitteettömyys on todettava jännitteestä erottamisen jälkeen jännitteenkoettimella. (2.)

Johtimet on työmaadoitettava mahdollisimman nopeasti jännitteestä erottamisen ja jännitteettömyyden toteutuksen jälkeen. Työmaadoittaminen on tarpeellinen turvallisuustoimenpide. Kaikista varotoimenpiteistä huolimatta työkohteeseen saattaa päästä jännite esimerkiksi eristyksen pettämisestä, johtimien kosketuksesta tai inhimillisen erehdyksen seurauksena. Maadoitus toteutetaan kuhunkin kohteeseen hyväksytyillä ja tarkastetuilla oikosulkuvirran kestäväillä maadoitusvälineillä, jotka ovat esitetty kuvassa 2. Jos jännitteetön alue sijaitsee tunnelissa, päätyömaadoitukset tulee sijoittaa tunnelin ulkopuolelle. Työmaadoituksen tekijä selvittää maadoituksen jälkeen työsuorituksesta vastaavalle henkilölle työskentelyalueen rajat, näyttää työmaadoitusten sijainnit ja antaa työn aloittamisluvan. Töiden valmiiksi saattamisen jälkeen työsuorituksesta vastaava henkilö antaa kirjallisesti työn päättymisilmoituksen työmaadoitukset poistavalle henkilölle. (2.)



Kuva 2. Ajo- ja paluujohtimen siirrettävät työmaadoitusvälineet (2)

Sähköistetyssä rautatietunnelissa suoritettava ruiskubetonointi tarvitsee aina jännitekatkon. Jännitekatkon tulee kestää valmistelevien töiden suojausten asentamisesta aina suojausten purkamiseen saakka. Ruiskubetonisalojen asentamista ja laadunvarmistuskokeita pystytään tekemään esimerkiksi viikonloppuisin lyhyempien jännitekatkojen aikana. Avonaiset ruiskubetonisalojen verkot tulee maadoittaa, jos ratajohtojärjestelmään kytketään välillä jännite. Liikennöinti sähkövetokalustolla tunnelissa estyy ruiskubetonoinnin ajaksi. Liikennöinti dieselkalustolla onnistuu normaalisti. Myös käyttämällä uusia diesel-varavoimanlähteillä varustettuja Sr3-sähkövetureita, jännitekatkoalueen läpi voidaan liikennöidä lähes normaalisti. Liikennöinnissä on huomioitava tunnelin alennettu nopeusrajoitus.



## 2.6 Rautatietunnelit

Rautatietunnelilla tarkoitetaan yhden tai useamman ratatunnelin ja niihin liittyvien muiden tilojen, suuaukkojen, kuilujen ja laitteiden muodostamaa kokonaisuutta. Ratatunneli on junaliikenteen käytössä oleva tunneli, joka voidaan jakaa raiteiden lukumäärän perusteella yksiraiteiseksi tai kaksiraiteiseksi. Tunnelin rakenneosat ovat kantavat rakenteet, suuaukkorakenteet, lujitusrakenteet, sisustusrakenteet ja verhousrakenteet. Rautatietunnelissa on lisäksi erilaisia laiteasennuksia joihin kuuluvat esimerkiksi sähköistyslaitteet, turvalaitteet, kaapelireitit ja valaistuslaitteet. (4.)

Rautatietunnelin rakenteiden suunnittelussa noudatetaan kansallisia ja eurooppalaisia suunnittelustandardeja. Mitoitus tapahtuu rakenteiden kuormitusohjeiden mukaisille pysyville ja muuttuville kuormille sekä muodonmuutos ja onnettomuuskuormille. Rautatietunnelin kantavien rakenteiden suunniteltu käyttöikä on 100 vuotta ja ei kantavien sisärakenteiden 50 vuotta. Kalliopinnat tulee olla sellaiset, että irtolohkareiden putoamisvaaraa ei ole. Tunneli vesieristetään siten, että haitallisia vesivuotoja ei esiinny. Sähköratarakenteiden yläpuolella ja muissa kriittisissä paikoissa vesivuotoja ei saa esiintyä. Tunnelin pinnalle ei saa muodostua jäätä. Lisäksi kuivatus ja viemäröintijärjestelmien jäätyminen on estettävä. Rakenteiden ja laitteiden on kestävä junien aiheuttamat painekuormat, ilman suuri kosteuspitoisuus ja lämpötilaerot. Tunnelissa tulee olla poistumisreitimerkinnot 100m välein osoittamassa uloskäynnit ja etäisyydet niihin. (4.)

Rautatietunnelissa työskentely edellyttää aina tunnelikohtaisten turvallisuusohjeiden laatimista. Turvallisuusohjeet sisältävät ratatyöhön liittyvät turvallisuusmenettelyt, työhön liittyvät riskit ja riskienhallintakeinot, siirtymiset työkohteeseen ja sieltä pois, työkonien ohjeet ja rajoitukset, työntekijöiden turvallisuuskoulutuksen ja perehdyttämisen sekä toimintaohjeet vaara- ja onnettomuustilanteissa. Kaikista tunnelissa tehtävistä töistä laaditaan työkohtainen turvallisuussuunnitelma. (1.) Äänekosken liikenneyhteydet -ratahankkeella kaikki tunnelissa työskennelleet henkilöt suorittivat ennen töiden aloittamista tunneliperehdytyksen. Lisäksi tunnelissa olevia henkilöitä seurattiin kulkuluvilla ja seurantatauluilla.

### **3 Valmistelevat työt**

Ruiskubetonointia edeltävät valmistelevat työvaiheet ovat välttämättömät ruiskubetonoinnin suorittamisen kannalta. Valmistelevien töiden suunnittelu ja toteutus tulee tehdä huolellisesti. Laiminlyönti voi aiheuttaa ongelmia ja viivästyksiä ruiskubetonoinnin aikana.

#### **3.1 Alustan esikäsittely**

Ennen ruiskubetonoinnin aloittamista varmistetaan, että kallionpinta on halutun laatuinen. Huono ja irtonainen kallio tulee poistaa rusnaamalla tai ankkuroida lujitepulteilla. Pöly, lika ja irtoaines pestään kallion pinnasta käyttäen painevesisuihkua. (3.) Ruiskubetonoitaessa vanhan ruiskubetonikerroksen päälle on kiinnitettävä huomiota siihen, että kaikki halkeillut, rapautunut tai vahingoittunut betoni poistetaan alustasta. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi hiekkapuhaltamalla, korkeapaineisella vesisuihkulla tai muilla mekaanisilla menetelmillä. (7.) Äänekosken liikenneyhteydet -ratahankkeella kalliopinnoille suoritettiin koneellinen rusnaus. Ruiskubetonoitavat pinnat pestiin painepesurilla ja rasvanpoistoaineella. (8.)

Kalliopinnan pistemäiset vesivuodot tunkeutuvat läpi vielä kovettumattomasta ruiskubetonista heikentäen sen tartuntaa ja laatua. Tällaiset vuodot kerätään ennen ruiskubetonointia asennettaviin ruiskubetonisalaojiin. (9.) Salaojat asennetaan kalliopintaa tai alku ruiskubetonointipintaa vasten rauditusverkolla tiiviisti siten, ettei ruiskubetoni tunkeudu salaojan alle. Kiinnitys toteutetaan niin tiheästi ja lujasti, etteivät salaojat siirry ja irtoa ruiskubetonin painosta tai suihkun voimasta. Salaojissa on oltava koko matkalla jatkuva vietto. Vedellä on oltava esteetön virtausreitti runkosalaojaan myös salaojan haaroituksen kohdalla. Ruiskubetonisalaojien jäätyminen estetään esimerkiksi saattolämmityskaapeleilla. (10.)

#### **3.2 Olemassa olevien rakenteiden suojaus**

Ruiskutustyötä lähellä olevat laitteet ja rakenteet tulee suojata haitalliselta hukaroiskeelta, betonipölyltä ja sumulta. Suojaus toteutetaan suojarakenteilla, peitteillä tai väliaikaisilla suojaavilla materiaaleilla. Tällaisia ovat esimerkiksi vaneri,

muovikalvot ja kevytpeitteet. (3.) Suojausmateriaalin valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat materiaalin suojaavuus, käsiteltävyys, paino, asennusnopeus ja purkamisnopeus.

Rautatietunnelissa suojattavia rakenteita ovat sähköratarakenteet, päällysrakenne, antennijärjestelmä, kaapelikanavat, kaapelihyllyt, sähkökaapit, valaisimet, opastimet ja merkit sekä kaikki mahdolliset muut osat jotka halutaan suojata. Kaikki tunnelissa ruiskubetonoitavalla alueella olevat ratajohtojärjestelmän osat on suojattava sisältäen ajojohtimen, kääntöorret, M-johtimen, vastajohtimen tai paluujohtimet. Liitteessä 1 on esitetty ratajohdon osat. Suojaus voidaan toteuttaa pressuilla ja muovikalvoilla. Äänekosken liikenneyhteydet -ratahankkeella suojauksessa käytettiin mittatilaustyönä teetettyjä pressuja, rakennusmuovia, itseliimautuvia putkieristeitä ja kevytpeitteitä.

ÄLY-hankkeella käytetyistä materiaaleista huonoimmaksi osoittautui itseliimautuvat putkieristeet (kuva 3 keskellä kolme suojattua johdinta), joilla suojattiin M-johdin ja paluujohtimet. Vaikka materiaalin asennus oli melko nopeaa ja se antoi hyvän suojan, ongelmaksi muodostui purkaminen. Hukkaroiskeet tarttuivat erittäin tiukasti kiinni huokoiseen eristemateriaaliin tehden sen pintaan kovan ja yhtenäisen betonikerroksen. Purettaessa putkieristeet irtosivat pieninä osina tehden työstä hidasta.

Mittatilaustyönä teetetyt kapeat ja pitkät pressut todettiin hyväksi ajojohtimen ja GSM-R-antennikaapelin suojaukseen. Niiden asentaminen ja kiinnittäminen onnistuivat melko vaivattomasti. Kiinnityksessä käytettiin nippusiteitä ja ilmastointiteippiä. Materiaalin huonoksi ominaisuudeksi todettiin sen paino ja paksuus. Rakennusmuovilla suojattiin kaapelikanavat sekä osa ajojohtimesta ja kääntöorsista. Materiaalin käsiteltävyys todettiin hyväksi sen keveyden ansiosta. Lisäksi rakennusmuovin purkaminen onnistui nopeasti sen ohuuden ja helpon leikattavuuden takia. Kevytpeitteillä suojattiin osa kääntöorsista. Tähän tarkoitukseen niiden todettiin sopivan hyvin.



Kuva 3. Suojaukset (11)

ÄLY-hankkeella suojausten asentamiseen ja purkamiseen käytettiin kiskopyöräkurottajia miehistökoreilla. Suojaustyötä tehtiin kolmella työryhmällä, joihin kuhunkin kuului kurottajan kuljettaja ja yksi työmies. Suojausten kiinnitykseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Ne eivät saa irrota liikkuvien junien ilmavirran tai ruiskubetonimassan mukana. Varsinkin ajojohtimen suojauksen päät tulee kiinnittää tiukasti. Tunnelin kosteissa olosuhteissa teipin liima ei välttämättä tartu ja pidä. Suojausten kiinnityksessä on hyvä käyttää apuna nippusiteitä tai muita mekaanisia kiinnikkeitä.

### 3.3 Ruiskubetonointiyksikön kokoonpano

Liikennöidyn rautatietunnelin ruiskubetonoinnissa kaiken kaluston täytyy olla nopeasti liikuteltavissa lyhyiden työrakojen ja pitkien tunneleiden takia. Käytännössä tämä onnistuu vain kokoamalla kaikki ruiskubetonoinnissa tarvittavat laitteet ja koneet tarkoitukseen sopivien avovaunujen päälle. Yksikön liikuttamiseen voidaan käyttää ratakuorma-autoa. Käytettäessä märkäseosmenetelmää tarvittavia laitteita ovat ruiskubetonointilaitte, betonisäiliö, generaattori, paineilma-kompressori ja vesisäiliö. Ruiskubetonointityö suoritetaan huonosti valaistuissa tunneleissa. Ruiskubetonointilaitteen työvalaisimet tulee olla riittävän tehokkaat, jotta suutinmies näkee työskennellä tarkasti. Tarvittaessa voidaan käyttää lisävalaisimia yksikön edessä.

Kaluston valinnassa tulee huomioida tunnelin peruspoikkileikkauksen mitat, työskentelyetäisyydet ja haluttu kerrospaksuus. Tavoiteltava ruiskutusteho vaikuttaa suoraan valittavaan ruiskubetonointilaitteeseen sekä paineilmakompressorin ja sähkögeneraattorin tehoon. Lisäksi tulee huomioida betonisäiliön koko suhteessa ruiskun tehoon. Säiliö ei saa olla liian suuri, ettei massan käyttöaika tule vastaan. Liian pieni säiliö taas tyhjenee nopeasti ja sitä joudutaan täyttämään usein. Ruiskubetonointilaitteet vaativat paineilmaa yleensä noin 10...15 m<sup>3</sup>/min paineella 700 kPa (7). Sähkögeneraattorin tulee olla niin tehokas, että siitä riittää virtaa kaikille käytettäville laitteille.

Radan päällysrakenteen suojaamiseen voidaan käyttää tyhjää avovaunua ruiskubetonointilaitteen etupuolella. Vaunun päällinen suojataan vanerilla ja muovikalvolla. Näin hukkaroiske on helppo kerätä pois. Hukkaroiskeen poistamiseen voidaan käyttää kaivinkonetta. Vaunuun voidaan myös asentaa levennysosat päällysrakenteen lisäsuojaksi. Levennysosat on poistettava vaunusta siirryttäessä pois ratatyöalueelta, koska ne ulottuvat ATU:n ulkopuolelle. Vaunun valinnassa tulee huomioida alin mahdollinen työskentelykorkeus. Seinän alaosan ruiskubetonointi ei saa estyä. (12.)



Kuva 4. Normet Spraymec 1050

Äänekosken liikenneyhteydet -ratahankkeella käytettiin Normet Spraymec 1050 ruiskua (kuva 4), 7,5m<sup>3</sup> betonisäiliötä (kuva 5) sekä Atlas Copcon paineilma-

kompressoria ja generaattoria BO-avovaunujen kyydissä. Työkaluille ja varusteille oli varattu oma kontti. Yksikköön kuului lisäksi sepelinkäsittelyyn tarkoitettu liitevaunu, jonka vesisäiliöitä hyödynnettiin. Päälysrakenteen suojaamiseen hukaroiskeilta käytettiin tarpeeseen muokattua BUi-v-vaunua levennyssiivillä. Yksikön liikuttamiseen käytettiin Tka8-ratakuorma-autoa. Kuvassa 6 näkyy ruiskubetonointiyksikkö kokonaisuudessaan. (12.)



Kuva 5. Betonisäiliö

Ruiskubetonointiyksikön kokoamiseen tulee varata riittävästi aikaa ja resursseja. ÄLY-hankkeella työvaiheeseen varattiin aikaa yksi työviikko ja se toteutettiin Jyväskylän liikennepaikan pohjoispuolella sijaitsevalla varikkoalueella. Kokoonpanotyössä oli osallisena kaksi työmiestä, kaksi ratakuorma-auton kuljettajaa ja sähköasentaja. Ruiskubetonointiyksikön kokoamisessa tarvittiin paljon vaihtotyötä. Ruiskubetonointilaitte ajettiin suoraan avovaunun päälle hyödyntäen päästä ajettavaa lastauslaituria. Nostoihin käytettiin autonosturia. Ensimmäisellä kerralla kesällä 2016 ruiskubetonointiyksikön kokoaminen oli hidasta. Ongelmat ja epä-tietoisuus johtuivat siitä, ettei työryhmällä ollut aikaisempaa kokemusta ruiskubetonointikaluston siirtämisestä ja asentamisesta ratakaluston kyytiin. Tarvittavien työvaiheiden ja laitteiden yhteensovittamisen selvittämiseen käytettiin paljon aikaa. Toisella kausukerralla kesällä 2017 työ onnistui huomattavasti sujuvammin. (12.)





Kuva 6. Ruiskubetonointiyksikkö (11)

### 3.4 Työjärjestyksen suunnittelu

Ruiskubetonointityö tulee tahdittaa onnistuneesti saatavilla oleviin työrakoihin. Yleensä tämä tarkoittaa työskentelyä ilta- ja yöaikaan. Saataessa lupa ratatyöhön tulee ruiskubetonointiyksikön olla valmiina lähtemään heti liikkeelle. Kaikki valmistelut ja huollot täytyy olla tehtynä ennen tätä. Siirtymismatka työmaalle ruiskubetonoitavaan tunneliin voi olla pitkä. Betonimassan tilaus ja vastaanotto pitää suunnitella sopimaan ruiskubetonointiyksikön liikkeisiin. Tässä on haasteita, koska yleensä betonitehtaalta työmaalle on pitkä ajomatka. Lisäksi kommunikointi tunnelissa olevan ruiskubetonointiyksikön ja betonin vastaanottopaikan välillä saattaa olla haasteellista. Ruiskubetonoinnin aikana tunnelissa ei voida tehdä muita töitä samalla alueella. Tämä tulee huomioida yhteensovittamisessa mahdollisten muiden työvaiheiden kanssa. Ruiskutetuista alueista ja kerroksista tulee

pitää tarkasti kirjaa, jotta tiedetään toteuma ja osataan suunnitella sopiva ruiskutusjärjestys. Ruiskutusjärjestyksen tulee olla sellainen, että työtä voidaan tehdä koko ajan maksimiteholla. (12.)

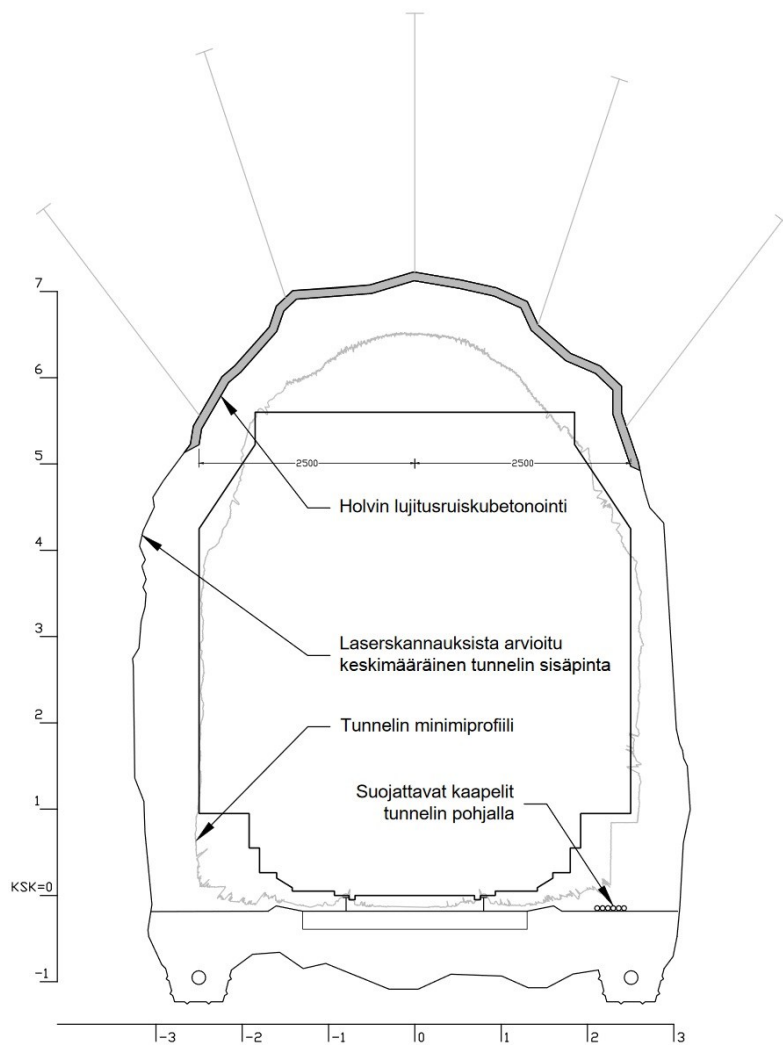
## **4 Ruiskubetonointi**

Ruiskubetonointi on yleinen Suomessa käytetty kallion ja maan lujitusmenetelmä. Sitä voidaan käyttää myös vanhojen betonirakenteiden korjaamiseen. Ruiskubetonointi on syrjäyttänyt muut ohuiden ja muodoltaan monimutkaisten betonirakenteiden valmistusmenetelmät. Ruiskubetonoinnissa betoni ruiskutetaan ruiskusuuttimen avulla kohteeseen. Ruiskubetonimassa eroaa tavanomaisin menetelmin valettavasta betonista. Ruiskubetonissa käytettävän kiviaineksen maksimiraekoko on yleensä 8 mm. Käytettävä sementtimäärä on suuri ja lisäaineita käytetään reilusti. Mineraalisia seosaineita ja kuituja käytetään usein. (3.) Kuvassa 7 on esitetty Kangasvuoren tunnelin poikkileikkaus ja holvin lujitusruiskubetonointikerros.

Ruiskubetonointimenetelmät voidaan jakaa kahteen osaan. Kuivaseosmenetelmässä kuivaan sementin ja kiviaineksen perusseokseen lisätään vesi vasta suuttimessa. Märkäseosmenetelmässä perusseos sisältää veden, sementin, runkoaineksen ja muut aineet. Kuivaseosmenetelmä soveltuu pieniin kohteisiin tai ahtaisiin tiloihin pienemmän ja edullisemman kaluston vuoksi. Hukkaroiskeen määrä on suuri verrattuna märkäseosmenetelmään. Märkäseosmenetelmällä toteutetaan suuret kohteet. Laitteet vievät enemmän tilaa ja niiden investointikustannukset ovat suuremmat. (3.)

Rautatietunnelin ruiskubetonoinnissa paras ja tehokkain tapa on märkäseosmenetelmä. Märkäseosmenetelmää käyttämällä päästään suurempiin ruiskutustehoihin. Tilattaessa ruiskubetonimassa suoraan betoniasemalta valmiiksi sekoitettuna varmistutaan sen hyvästä ja yhdenmukaisesta laadusta. Pieni hukkaroiskeen ja pölyn määrä ovat myös tärkeitä asioita.





Kuva 7. Kangasvuoren tunnelin tyypipipoikkileikkaus (11)

#### 4.1 Betonimassa

Ruiskubetonointi työtapana määrittää tuoreelle ja kovettuneelle betonille omat vaatimukset. Sementti vaikuttaa rakenteen säilyvyyteen, lujuuteen, lujuudenkehitykseen, sitoutumisaikaan sekä tartuntaan. Suositeltavia sementtejä ruiskubetonissa ovat CEM I ja CEM II. Suuria varhaislujuuksia tavoiteltaessa voidaan käyttää nopeasti kovettuvia sementtejä. Sementin määrä ruiskubetonimassassa on yleensä  $400...500 \text{ kg/m}^3$ , mutta kuitenkin vähintään  $300 \text{ kg/m}^3$ . Vesisementti-suhde on tavallisesti  $0,35...0,50$  välillä. Ruiskubetonin runkoaineen suurin rae-  
 koko on yleensä 8 mm. Suurempi rae-  
 koko johtaa hukkaroiskeen määrän lisääntymiseen. Ruiskubetonimassassa käytetty vesi ei saa sisältää epäpuhtauksia. Kaikkien ruiskubetonin osa-aineiden tulee olla CE-merkittyjä. (3.)

Perusseoksen ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa lisäaineilla, joiden enimmäismäärä on 5 % käytettävän sementin massasta. Perusseoksen lisäaineet annostellaan ja sekoitetaan betoniasemalla. Lisäaineilla tavoitellaan haluttuja ominaisuuksia kuten työstettävyyttä, lujuutta, käyttöaikaa ja tiiveyttä. Notkistavalla lisäaineella voidaan vaikuttaa sitoutumiseen, lujuuteen ja työstettävyyteen. Sitoutumista hidastavalla lisäaineella saavutetaan pidempi käyttöaika. Ruiskutusvaiheen lisäaineilla tarkoitetaan ruiskusuuttimessa massaan syötettäviä lisäaineita. Yleensä käytetään sitoutumista ja kovettumista nopeuttavaa kiihdytintä, joka mahdollistaa paksummat kerrospaksuudet ja nopeamman ruiskutuksen. Kiihdyttimet jaetaan kolmeen osaan niiden tyyppin mukaan. (3.) Taulukossa 1 on esitetty kiihdytintyyppit ja niiden ominaisuudet. ÄLY-hankkeella käytettiin alkaalivapaata Mapequick AF-118 kiihdytintä.

Ominaisuus	Alkaalikiihdytin Aluminaattipohjainen	Alkaalikiihdytin Silikaattipohjainen	Alkaalivapaa
Tavanomainen annostus	3-6%	12-15%	4-7%
pH	13-14	12-13	3
Na <sub>2</sub> O ekvivalentti	20%	12%	<1%
Varhaislujuus samalla annostuksella	+++	+++	++
Loppulujuus	+	- -	+++
Vesitiiviys	++	- -	+++
Suodattuminen ja liukeneminen	- - -	- -	-
Työturvallisuus	- - -	-	+++
Käyttö- ja kuljetus turvallisuus	- -	-	+++

Taulukko 1. Kiihdytintyyppien ominaisuuksia (+ ominaisuus paranee, - ominaisuus huononee) (3)

Ruiskubetonissa voidaan käyttää seosaineita kuten lentotuhkaa, jauhattua maunikuonaa, silikaa tai kalkkikivifillieriä. Seosaineiden käytön syitä ovat hukka-roiskeen vähentäminen, säilyvyysominaisuuksien parantaminen, veden pidätyskyvyn parantaminen, pumppauspaineen alentaminen ja sementin korvaaminen.

Seosaineita käyttämällä massan hienoinesten määrää voidaan lisätä edullisemmin kuin lisäämällä sementtiä. (6.) Taulukossa 2 on lueteltu seosaineet ja niiden betonimassaan vaikuttavat ominaisuudet.

Ominaisuus	Sementti	Silika	Lentotuhka	Jauhettu ma- suunikuona	Kivituhka
<b>Tuore betoni</b>					
Käsiteltävyys	++	++	+++	+	+++
Vedenpidätyskyky	++	+++	+	+	++
<b>Lujuuden kehitys</b>					
alle 4h	+++	+	-	-	+/-
alle 12h	++	++	-	-	+/-
loppulujuus 28d	++	+++	++	+++	+/-
<b>Säilyvyys</b>					
Vesitiiviys	++	+++	++	++	+
Sulfaatinkestävyys	-	++	+/-	+++	+/-
Alkali-piireaktio	-	+/-	+/-	+++	+/-

Taulukko 2. Sementin ja seosaineiden vaikutus ruiskubetonin ominaisuuksiin (+ ominaisuus paranee, - ominaisuus huononee) (3)

Ruiskubetonissa voidaan käyttää teräs- tai polymeerikuituja parantamaan veto-  
lujuutta ja sitkeyttä murtumistilanteessa. Rakenteen kestävyys taivutusvedolle,  
vedolle, leikkaukselle, väsytyskuormitukselle ja iskuille paranee kuitujen avulla.  
Kuitujen pituuden tulee olla maksimissaan 75 % massan siirtoon käytettävien put-  
kien halkaisijasta. Kuituja käytettäessä on massan hienoainespitoisuutta nostet-  
tava pumppauksen helpottamiseksi ja hukkaroiskeen vähentämiseksi. Kuidut vä-  
hentävät ruiskubetonin halkeilua ja näin auttavat rakenteen vesitiiviydessä. (3.)

Ruiskubetonin osa-aineiden valinnassa tulee huomioida suunnittelijan määrittä-  
mät tuoreen ja kovettuneen betonin vaatimukset kuten notkeus, tiheys, lujuus,  
säilyvyys ja raudoitteiden korroosiosuojaus. Valinnalla voidaan vaikuttaa myös  
hukkaroiskeen ja pölyn määrään. Ruiskubetoni voidaan määritellä ominaisuuksien  
tai koostumuksen mukaan. Ominaisuuksien mukaisen määrittelyn perus-  
teena ovat tuoreen ja kovettuneen betonin ominaisuudet. Betonin on täytettävä  
sille määritellyt vaatimukset. Koostumuksen mukaista betonia kutsutaan resepti-

betoniksi. (3.) Koostumuksen mukaisessa määrittelyssä betonin koostumus määritellään perustuen alkutestien tuloksiin tai pitkäaikaiseen kokemukseen vertailubetonista. Tarkastuskategoriassa 2 ja 3 voidaan käyttää vain ominaisuuksien mukaan määriteltä betonia. (16.) Taulukossa 3 on listattu määrittelytapojen vaatimukset ja tiedot.

Ominaisuuksien mukaan	Koostumuksen mukaan
<b>Perustiedot</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• notkeus</li> <li>• puristuslujuusluokka</li> <li>• rasitusluokka</li> <li>• käyttöikä</li> <li>• kloridiluokka</li> <li>• maksimiraekoko</li> <li>• tarkastuskategoria</li> <li>• Eurokoodien toteutusluokka</li> </ul> <b>Perustiedot kuitubetonille</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• jäännöslujuus</li> <li>• energianabsorptiokapasiteetti</li> </ul> <b>Lisätiedot tarvittaessa</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sementtipitoisuus</li> <li>• sementin erikoisominaisuudet</li> <li>• suurin vesi-sementtisuhde</li> <li>• varhaislujuudenkehitys</li> <li>• vesitiiviys</li> <li>• tartunta alustaan</li> <li>• jäädytys-sulatuskestävyys</li> <li>• kimmokerroin</li> <li>• taivutusmurtolujuus</li> <li>• ensimmäinen lujuushuippu</li> </ul>	<b>Perustiedot</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sementtityyppi ja - luokka</li> <li>• sementtipitoisuus</li> <li>• notkeus</li> <li>• vesi-sementtisuhde</li> <li>• kiviainestyyppi</li> <li>• rakeisuuden rajoitukset</li> <li>• lisäaineiden tyyppi ja määrä</li> <li>• tarkastuskategoria</li> <li>• ainesosien toimittajat</li> <li>• puristuslujuus</li> </ul> <b>Lisätiedot tarvittaessa</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• lisävaatimukset kiviainekselle</li> <li>• seoksen lämpötila</li> </ul>

Taulukko 3. Betonin määrittely (3)

Äänekosken liikenneyhteydet -ratahankkeella ruiskubetonin vaatimuksina olivat

- nimellislujuus C30/37
- rasitusluokat XC2 ja XF1
- suunniteltu käyttöikä 100 vuotta
- kloridipitoisuusluokka Cl 0,2
- runkoaineen suurin raekoko 8 mm
- ruiskubetonikiihdyttimen huomioiva vesi-sementtisuhde enintään 0,5
- vesimäärä enintään 200 kg/m<sup>3</sup>

- sementtimäärä vähintään 300 kg/m<sup>3</sup>
- ruiskubetonin tiheys vähintään 2200 kg/m<sup>3</sup>
- notkeusluokka ruiskutettaessa enintään S3
- alkaalivapaa kiihdytin ainoastaan sallittu
- kuituvahvistetussa ruiskubetonissa teräskuitujen pitoisuus vähintään 50 kg/m<sup>3</sup>. (8.)

#### 4.2 Betonin tilaus ja vastaanotto

Tietyn alueen ruiskubetonointiin tarvittava betonimassan määrä voidaan arvioida kaavalla:

$$V = A * d * t * (1 + \frac{R}{100} \%)$$

jossa:

A= ruiskutettava pinta-ala, m<sup>2</sup>

d= rakenteen pienin sallittu paksuus, m

t= ruiskutettavan pinnan epätasaisuutta kuvaava kerroin (1,0...1,2 tasaisilla ja 1,3...1,8 epätasaisilla)

R= hukkaroiske, % (lattia 0...5%, seinä 5...10%, katto 10...20%) (7.)

Betoni toimitetaan valmisbetonitehtaalta sekoitussäiliöautossa työmaalle. Massan purkaminen kuljetusautosta ruiskubetonointiyksikön säiliöön tulee suunnitella huolellisesti. Apuna voidaan käyttää tunnelin suuaukon korkeita sivuluiskia. Säiliöauto saadaan korkeammalle tasolle, mistä massa on helppo laskea kourun avulla alemmalla tasolla olevaan säiliöön. Kaikissa kohteissa ei voida hyödyntää tunnelin suuaukkojen luiskia. Vaihtoehtoisesti voidaan rakentaa väliaikainen lasausluiska, käyttää siirtokuljetinautoa, kuljetuspumppuautoa tai autobetonipumppua. Kuvassa 8 on esitetty ÄLY-hankkeella käytetty kuorman purkamistapa.

Betonin ylimääräinen pumppaaminen lisää kustannuksia ja massan purkuaikaa. Siirtokuljetinautolla ja kuljetuspumppuautolla päästään maksimissaan noin 40 m<sup>3</sup>/h purkunopeuksiin. Autobetonipumppujen pumppaustehot ovat maksimissaan noin 100 m<sup>3</sup>/h. Puomin tai kourun asettelemisessa vastaanottosäiliön suuaukolle menee oma aikansa. Massan purkamisaika tulisi minimoida, koska se on

pois itse ruiskutustyön tarvitsemasta ajasta. Kalustoa valittaessa tulee huomioida työmaateiden kantavuus ja leveys. Ajotien nousu ei myöskään saa olla liian jyrkkä. (13.)



Kuva 8. Kuorman purkaminen (11)

### 4.3 Ruiskutus

Betonin lämpötila ja notkeus on aina tarkastettava työmaalla ennen ruiskutusta. Ruiskutus tulee tehdä ennen betonin sitoutumisen alkamista. Yleensä ruiskubetonimassan käyttöaika on noin kaksi tuntia. Ruiskutusalustan lämpötilan tulee olla  $+2...+38\text{ °C}$  ja betonimassan lämpötilan  $+5...+32\text{ °C}$ . Ruiskutetun betonin lämpötilan tulee pysyä yli  $+5\text{ °C}$  kunnes ns. jäätymisluku  $5\text{ MPa}$  on saavutettu. Ruiskubetonikiihdyttimen lämpötilan tulisi olla vähintään  $+5...+10\text{ °C}$  hyvän pumppattavuuden varmistamiseksi. Käytettäessä kuituja tulee betonimassan kuitupitoisuus selvittää työkohteessa. (3.)

Märkäseosmenetelmässä putkisto voidellaan laihalla vesi-sementtiseoksella ennen ruiskutuksen aloittamista. Jos ruiskutus suoritetaan epäsäännölliselle ja karkealle alustalle saatetaan joutua ruiskuttamaan ylimääräinen tasoituskerros erillisenä työvaiheena. Pystyrakenteiden kuten tunnelin seinän ruiskubetonointi aloitetaan alhaalta edeten ylöspäin. Tämä estää ruiskutuksen hukkaroiskeen päälle.

Uusi ruiskutus aloitetaan vanhan ruiskubetonikerroksen rajalta edeten siitä pois-päin. (3.)

Ruiskutettaessa suutin tulee suunnata mahdollisimman kohtisuoraan alustaa kohti. Tämä vähentää hukkaroiskeen määrää sekä mahdollistaa tiiviin, laadukkaan ja halutun paksuisen kerroksen. Tiivistymiseen ja hukkaroiskeen määrään vaikuttaa myös suuttimen ja pinnan välinen etäisyys. Ruiskutusetäisyys riippuu ruiskutustehosta ja ruiskusuuttimen halkaisijasta. Yleensä käytetyt ruiskutusetäisyydet ovat väliltä 0,6...1,8 m. (3.) Ruiskutettaessa ruiskusuuttimen täytyy olla pyörivässä liikkeessä hyvän lopputuloksen ja peittävyuden varmistamiseksi. Ruiskubetonointilaitteissa on automaattiset suuttimen liikkeet kuten pyöritys ja puomin zoomaus. (7.) Kuvassa 9 on esitetty ruiskusuuttimelle tehtävät liikeradat. Rautatietunnelin ruiskubetonoinnissa ruiskusuuttimen liikkeet tulee toteuttaa har-kiten. Suojattuja rakenteita kuten ajojohdinta ja kääntöorsia tulee varoa. Kuvassa 10 näkyy Kangasvuoren tunnelin ruiskubetonointi.

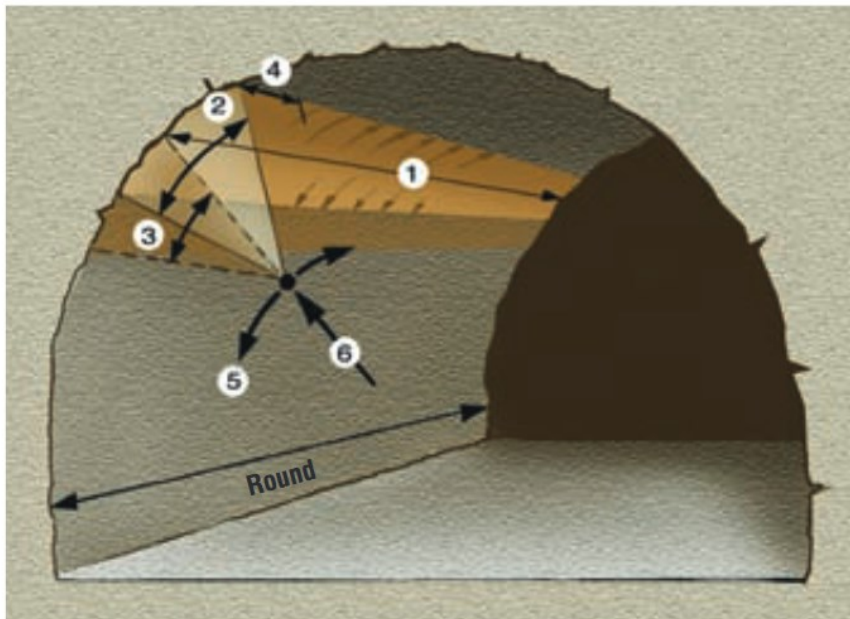


Fig. 34: diagram of nozzle manipulation

Explanation of above diagram:

- 1) Telescopic arm movement:  $l$  = length of round
- 2) / 4) Automatic nozzle movement: 2) pitch  $\pm 15^\circ$  2) / 4) = circular movement
- 3) Stiffening angle nozzle
- 4) Longitudinal angle nozzle
- 5) Surface contours tangential = rotary swivel vertical or horizontal
- 6) Cross-section alignment height

Kuva 9. Ruiskusuuttimen liikkeet (14)





Kuva 10. Ruiskutus (11)

Käytettävä kerrospaksuus määrittää ruiskun syöttötehon. Jos betonipumpun syöttötehoa lisätään, täytyy paineilman määrää myös lisätä. Säädettyä betonin virtausta ja ilmanpainetta suuttimessa tulee se kääntää pois alustasta. (7.) Joissain tilanteissa ruiskutus täytyy tehdä kahdessa tai useammassa kerroksessa esimerkiksi kuituja käytettäessä tai kun ruiskubetonirakenteen määritelty paksuus on suuri. Ruiskutettava kerrospaksuus arvioidaan aina tapauskohtaisesti ottaen huomioon olosuhteet sekä seoksen koostumus. Paksumpia kerroksia voidaan ruiskuttaa käyttämällä tehokkaita kiihdyttimiä, oikeaa ruiskutustekniikkaa ja nopeasti sitoutuvia sementtejä. Aikaisemmin ruiskubetonoitu pinta tulee puhdistaa esimerkiksi korkeapainepesulla, jos kerrosten ruiskuttamisen välillä on kulunut huomattavan paljon aikaa. (3.)

Rautatietunnelin verhousalueen ruiskubetonikerroksen paksuuden tulee olla vähintään 90 mm. Raudoitusten suojabetonipeitteen paksuuden on oltava vähintään 35 mm. Teräskuituja käytettäessä rautatietunnelin ruiskubetonoinnissa, viimeisen kerroksen tulee olla kuidutonta ruiskubetonia vähintään 20 mm paksuisena. (10.) Betonin kerrospaksuutta tulee valvoa ruiskutuksen aikana. Mittaus voidaan tehdä tuoreesta betonista rakenteeseen työnnettävällä ohuella terästangolla tai kovettuneesta betonista poraamalla reikä. Kerrospaksuutta voidaan seurata työnaikana myös metallista tai muovista tehdyillä kallioon valmiiksi tietyn välimatkoin upotetuilla tapeilla. (3.)



Ruiskubetonointityön suorittamiseen tarvitaan suutinmies, apumies, ratakuorma-auton kuljettaja ja tähystäjä sekä työnjohtaja. Suutinmies ohjaa ruiskubetonointilaitteen suutinta. Apumiehen tehtäviin kuuluvat suojauksista huolehtiminen sekä massan määrän säännöstely betonisäiliöstä ruiskubetonointilaitteelle. Ratakuorma-auton kuljettaja ja tähystäjä vastaavat ruiskubetonointiyksikön liikkeistä. Työnjohtaja huolehtii ratatyöluvasta, oikeasta työjärjestyksestä ja betonimassan tilaamisesta. Hyvä kommunikointi ratakuorma-auton ja ruiskubetonointilaitteen välillä on tärkeää työn onnistumisen kannalta. Lisäksi ruiskubetonointiyksiköstä tulisi olla yhteys tunnelin ulkopuolella olevaan työnjohtoon. Jos ruiskutustyössä aiheutuu ongelmia, tunnelin ulkopuolella odottavan betonilastin käyttöaika voi loppua kesken. (12.)

Äänekosken liikenneyhteydet -ratahankkeella 8 tunnin työraossa ruiskutettiin parhaimmillaan 5 kuormallista eli noin 35 m<sup>3</sup> betonia. Odottamattomien ongelmien ja viivästymisten takia keskimääräinen ruiskutusmäärä oli tätä pienempi. Viikonloppulle sijoittuneissa 12 tunnin työraoissa saatiin ruiskutettua maksimissaan 8 kuormaa eli noin 56 m<sup>3</sup> betonia. Maksimitehoksi ruiskutukselle muodostui noin 4,5 m<sup>3</sup>/h. Keskimääräinen ruiskutusteho jäi alle 4 m<sup>3</sup>/h. Tehokas ruiskutusaika oli noin 2 tuntia vähemmän kuin työraon kokonaisaika. Ruiskubetonin lujudenkehitykselle annettiin aikaa ennen ensimmäisen junan liikennöintiä tunnelissa. (12.)

#### **4.4 Tukitoimenpiteet**

Ruiskubetonointiyksikön toimintakunnossa pitäminen on tärkeää prosessin onnistumisen kannalta. Tukitoimenpiteiden suorittamiselle on hyvä varata oma paikka. Huoltopaikalle tarvitaan vettä pesua ja säiliöiden täyttöä varten sekä kiihdytinainetta ruiskubetonointilaitteen kiihdytinainesäiliön täyttämiseen. Ruiskubetonointilaitte ja betonisäiliö tulee pestä huolellisesti jokaisen työvuoron jälkeen. Pesemisen yhteydessä laitteista irtoaa sementin ja lisäaineiden likaamaa vettä. Hukkaroiskeet tulee poistaa ruiskubetonointilaitteen päältä. Laitteistolle tehdään tarkastukset ja tarvittavat huollot. Tuki toimenpiteet suoritetaan työraojen ulkopuolella. ÄLY-hankkeella tukitoimenpiteisiin käytettiin aikaa noin 2...3 tuntia työvuoron lopusta. Huollot ja pesut toteutettiin samalla työryhmällä kuin ruiskutustyö. (12.)

## 4.5 Jälkihoito

Jälkihoidon tavoitteena on pitää ruiskubetonoitu pinta kosteana ja näin estää liiallinen betonin kuivumiskutistuma ja halkeamien muodostuminen. Muodostuvat halkeamat vaikuttavat suoraan ruiskubetonin vedenpitävyyteen. Oleellisin syy kutistumaan on ruiskubetonin kuivuminen pinnalta haihtuvan veden ansiosta, joka johtaa betonin tilavuuden pienenemiseen. Kutistumaan vaikuttaa myös sementin reagoiminen. Suurin osa betonin kutistumasta tapahtuu ns. varhaisvaiheessa eli yhden vuorokauden kuluessa ruiskutuksesta. Tämä on kriittisin aika jälkihoidolle. Myöhäisvaiheen kutistuma eli normaali kutistuma jatkuu yhden vuorokauden iästä eteenpäin. (9.) Veden haihtumisnopeuteen betonin pinnalta vaikuttavat betonin lämpötila sekä ympäröivän ilman lämpötila, virtausnopeus ja suhteellinen kosteus. Ruiskubetonin ilman kanssa kosketuksessa oleva pinta-ala on suuri verrattuna normaaliin valubetoniin. (15.)

Ruiskubetonoidun pinnan jälkihoito tulisi aloittaa mahdollisimman pian ruiskutuksen jälkeen (3). Kuitenkin viimeistään silloin, kun veden erottuminen betonin pinnalle on loppunut. Betonipinnan muuttuessa vaaleaksi jälkihoito on yleensä jo myöhässä. (15.) Jälkihoidon kestoa kuvataan ajallisesti tai prosentteina 28 päivän ominaispuristuslujuudesta jälkihoitoluokilla 1–4. Rakenteen jälkihoitoluokkaan vaikuttaa sen rasitusluokka. Jälkihoitoluokka on määriteltävä toteutuseritelmässä. (6.)

Jälkihoito voidaan toteuttaa säännöllisellä vesisumutuksella, valmiin ruiskubetonipinnan päälle ruiskutettavalla jälkihoitoaineella tai betonimassan sekaan sekoitettavalla jälkihoitoaineella (3). Ruiskubetonimassaan sekoitettava jälkihoitoaine ei välttämättä muodosta riittävää jälkihoitoa (15). Ruiskubetonin pinnalle levitetävän jälkihoitoaineen käytössä on myös omat haasteensa. Epätasainen pinta voi estää yhtenäisen suojaavan kalvon muodostumisen. Lisäksi jälkihoitoaineen ruiskutuksen ja ruiskubetonoinnin välillä saattaa kulua liikaa aikaa ja merkittävää veden haihtumista on jo tapahtunut. (9.)

Jos olosuhteet koko jälkihoitoajan ovat sellaiset, että veden haihtumisnopeus betonin pinnalta on vähäinen ei jälkihoitoa tarvita. Ilman suhteellisen kosteuden ollessa yli 85 % veden haihtumisnopeus on pieni. Jälkihoitoa suunniteltaessa on

otettava huomioon myös tunnelissa liikkuvan ilmapirran vaikutus veden haihtumiseen. Jälkihoitoa saatetaan tarvita, vaikka ilman suhteellinen kosteus on yli 85 %. (3.)

ÄLY-hankkeella käytettiin jälkihoidossa kahta eri menetelmää, vesisumutusta ja pintaan ruiskutettavaa jälkihoitoainetta. Vesisumutus toteutettiin kiskopyörä-kaivinkoneen puomiin rakennetulla painepesuri- ja vesisäiliöjärjestelmällä. Ruiskutettava jälkihoitoaine levitettiin ruiskubetonointilaitteella. Käytetty jälkihoitoaine oli Mapecure 1. Rautatietunnelin jälkihoidon ongelmaksi muodostuu pitkät odotusajat vesisumutuksien väleissä. Tästä syystä pintaan ruiskutettavalla jälkihoitoaineella voidaan päästä parempaan lopputulokseen. Jälkihoitoaineen ruiskutuksen jälkeen rakenne on valmis eikä siihen tarvitse enää koskea. Tämä säästää myös kustannuksia. Ruiskutettavaa jälkihoitoainetta voidaan käyttää vain viimeisen ruiskutuskerroksen päällä. Alemmille kerroksille tulee käyttää vesisumutusta. (12.)

#### **4.6 Turvallisuus**

Rautatietunneli työympäristönä luo haasteita ruiskubetonointityölle. Yhteensovittaminen muiden työvaiheiden kanssa on tehtävä huolellisesti, ettei ruiskubetonoitavalle alueelle päädy muita henkilöitä. Ruiskubetonoitavan alueen rajaamiseen voidaan käyttää esimerkiksi väliaikaista lippusiimaa. Ilma vaihtuu tunnelissa heikosti. Ruiskubetonoinnissa muodostuva pöly ja koneiden pakokaasut aiheuttavat vaaran. Tunnelissa käytettävien koneiden ja laitteiden säännölliseen huoltoon ja tarkastuksiin tulee panostaa. Tunnelissa ei saa käyttää huonokuntoisia koneita. Suurin riski tunnelissa työskentelyssä on tulipalo. Turvallisuusohjeiden ja turvallisuussuunnitelmien lisäksi tunnelista tulee olla laadittuna pelastussuunnitelma ja riskianalyysi.

Ruiskubetonointi on haastavaa työtä ja siinä tulee ottaa huomioon monia työturvallisuuteen liittyviä asioita. Ruiskubetonointityöryhmän tietoisuus turvallisuusasioista on edellytys turvalliseen työskentelyyn. Käytettävä laitteisto, materiaalit ja kemikaalit tulee tuntea hyvin. Laitteiston valmistajan ohjeita työturvallisuudesta tulee aina noudattaa. Materiaalien ja kemikaalien käyttöturvallisuustiedotteiden vaaralausekkeet ja turvallisuusohjeet tulee tuntea. (3.)

Ruiskubetonointilaitteissa käytetään paineellisia putkistoja, jotka voivat aiheuttaa vaaratilanteita. Putkien ja liitososien kuntoa tulee tarkkailla säännöllisesti. Vialliset ja kuluneet osat tulee vaihtaa viipymättä uusiin. Häiriötilanteissa putkistoihin voi kertyä vaarallisen suuri paine, joka purkautuessaan aiheuttaa vahinkoa. Putkistossa oleva paine tulee aina vapauttaa ennen vian tai tukoksen selvittämistä. Ruiskutustyön ollessa käynnissä suuttimen vaikutusalueella ei saa liikkua ihmisiä missään tapauksessa. (3.)

Uuden vastaruiskutetun alueen alla liikkumista tulee välttää, kunnes betoni on saavuttanut riittävän lujuuden. Yleensä riittävä lujuus on vähintään 0,7 MPa, mutta se on kuitenkin aina arvioitava tapauskohtaisesti (3). Ruiskubetonoinnin kohteena olevan rautatietunnelin nopeusrajoitusta tulee laskea. Liikkuvan kaluston aiheuttama tärinä ja painekuormat eivät saa vaikuttaa negatiivisesti ruiskubetonin lujuudenkehitykseen ja tartuntaan.

Ruiskubetonoinnissa syntyvän pölyn ja ilmassa olevien lisäaineiden takia on aina käytettävä hengityssuojainta. Jos betoni- tai lisäaineroiskeita päätyy jostain syystä silmään tai kasvoille, on ne huuhdeltava heti pois. Työvaatetuksen tulee olla hyvin roiskeilta suojaava. Betonin tai kiihdyttimen kastelemat työvaatteet tulee vaihtaa heti. Ensiapuvälineiden ja silmienhuuhtelusuihkun tulee olla työryhmän mukana. (3.) Ruiskubetonoinnin yhteydessä tunneliin leviää haitallisia pako-kaasuja. Työryhmän mukana tulee olla aina häkämittari. Jos tunnelin ilmanlaatu on huono, tulee sinne järjestää tuuletus. ÄLY-hankkeella tunnelin tuuletuksessa käytettiin lumitykkeitä ja suuritehoisia puhaltimia. Tulipalon varalta työryhmän mukana tulee olla pelastautumislaitteita, joiden avulla voidaan hengittää lisähappea. (12.)

## **5 Laadunvarmistus**

Vaatimustenmukaisuuden valvonnalla tarkoitetaan toimenpiteitä ja päätöksiä, joilla tarkastetaan ruiskubetonin vaatimustenmukaisuus määrittelyihin verrattuna. Vaatimustenmukaisuus arvioidaan valvonnalla ennen rakentamista ja testeillä rakentamisen aikana. Vaatimustenmukaisuus johtaa hyväksyntään ja vaatimusten-vastaisuus johtaa korjaaviin toimenpiteisiin.

## **5.1 Ruiskubetonointityön laatuvaatimukset**

Ruiskubetonointityön toteuttamisen laatuvaatimukset ja tarkastusluokka määritellään projektimäärittelyssä ja toteuttamisen asiakirjoissa. Suunnittelija ja hankkeeseen ryhtyvä määrittävät kohteelle tarkastuskategorian 1–3 (kutsutaan myös tarkastusluokaksi). Tarkastuskategorian valinnassa tulee huomioida projektin ominaispiirteet, riskit ja suunniteltu käyttöikä. Tarkastuskategoria vaikuttaa työnjohdon ja suutinmiehen pätevyysvaatimuksiin sekä lisäksi valmiin rakenteen, perusseoksen ja osa-aineiden valvontaan. (3.)

Rautatietunnelin ruiskubetonoinnin tarkastuskategoriaksi voidaan määritellä lähes aina 3 työn haastavuuden ja suurien riskien takia. Tarkastuskategoriassa 3 työnjohdolla tulee olla poikkeuksellisen vaativan luokan kalliorakennustöiden työnjohtajan pätevyys tai vaativan luokan betonityönjohtajan pätevyys sekä kolmen vuoden työkokemus ruiskubetonointityöstä. Suutinmiehellä tulee olla vähintään kahden vuoden kokemus ruiskutustyöstä sekä henkilöpätevyys. (3.)

Tarkastuskategorioissa 2 ja 3 urakoitsijan tulee laatia ruiskubetonointityöstä työmenetelmäkuvaus ennen töiden aloittamista työselostuksen ja suunnittelijan ohjeiden perusteella. Työmenetelmäkuvauksessa tulee esittää ruiskubetonitöiden vastuuhenkilö, työntekijöiden kelpoisuus, kalustoluettelo, työympäristö ja riskienhallinta. Lisäksi työmenetelmäkuvauksen tulee sisältää tiedot ruiskubetonirakenteiden kelpoisuuden toteamisesta, toimenpiteistä jos vaatimustenmukaisuus ei täyty, ruiskubetonisuhteutuksesta ja ruiskubetonoinnin työjärjestyksestä. (3.)

## **5.2 Koeruiskutus**

Ennen ruiskubetonointityöhön ryhtymistä suoritetaan koeruiskutus. Se toteutetaan samalla henkilökunnalla, menetelmällä, materiaaleilla ja laitteilla kuin varsinainen työ. Koeruiskutuksen tarkoituksena on varmistaa ruiskubetonointiprosessin osa-alueiden toimiminen ja yhteen sopiminen. Suoritettavalla testauksella varmistetaan määritettyjen vaatimusten täytyminen. Koeruiskutus suoritetaan riittävällä massamäärällä tasaisen virtauksen saavuttamiseksi. Koeruiskutus suoritetaan liitteen 2 SFS-EN 14487-1 taulukon 9 mukaisesti. Koeruiskutuksen yhteydessä betonimassasta otetaan aina näytteet, joista selvitetään notkeus, puristuslujuus ja kuitupitoisuus. Lisäksi tarkastuskategoriasta riippuen voidaan tarvita

kokeita esimerkiksi varhaislujuudesta, taivutusmurtolujuudesta, jäännöslujuudesta ja energianabsorptiokapasiteetista. Ruiskubetonille voidaan määrätä tarvittaessa vielä lisää kokeita. (3.)

### **5.3 Sisäinen laadunvalvonta**

Sisäinen laadunvalvonta tarkoittaa toimenpiteitä, joilla ylläpidetään ja ohjataan laatua. Sisäiseen laadunvalvontaan kuuluvat osa-aineiden valvonta (liite 3 SFS-EN 14487-1 taulukko 10), perusseoksen valvonta (liite 4 SFS-EN 14487-1 taulukko 11) ja ruiskubetonin ominaisuuksien valvonta (liite 5 SFS-EN 14487-1 taulukko 12). Sisäisessä laadunvalvonnassa suoritetaan testejä ja tarkastuksia laadun seuraamiseksi. Näytteenottotaajuus riippuu kohteen tarkastuskategoriasta. Korkeampi tarkastuskategoria tarkoittaa tiheämpää näytteenottotaajuutta. Ruiskubetonointityön toteuttajan vastuulla on ruiskubetonin laadunvalvonta ja sen dokumentointi. (3.)

Osa-aineiden valvonnan toteuttaa betonitehdas. Siihen kuuluu kuormakirjojen tarkastukset oikean materiaalin ja alkuperän varmistamiseksi. Kiviaineksista testataan rakeisuudet seulomalla ja selvitetään epäpuhtaudet. Lisäaineista ja seosaineista testataan tiheys. Varmistetaan, että vedessä ei ole haitallisia aineita. Kuitujen pituus, halkaisija ja muoto tarkastetaan. Perusseoksen valvontaan kuuluu notkeuden testaus, lisäaineiden pitoisuuksien testaus, seosaineiden pitoisuuksien testaus ja kuitupitoisuuden testaus. (16.)

Ruiskubetonin ominaisuuksien valvonta jaetaan kolmeen osaan. Tuoreesta betonista tarkastetaan vesi-sementtisuhde, kiihdyttimen määrä ja kuitupitoisuus. Kovettuneesta betonista testataan varhaislujuus, puristuslujuus, tiheys, vesitiiveys, jäädytys/sulatuskestävyys ja tartuntalujuus. Kuituvahvistetusta ruiskubetonista testataan lisäksi kovettuneen betonin kuitupitoisuus, jäännöslujuus tai energianabsorptiokapasiteetti, taivutusmurtolujuus ja ensimmäinen lujuushuippu. Näytteenottotaajuus ja tarvittavat kokeet riippuvat tarkastuskategorian lisäksi myös rakenteen tyypistä. (16.)

Äänekosken liikenneyhteydet -ratahankkeella ruiskubetonointityön aikana perusseoksesta testattiin notkeus, lämpötila, tiheys ja kuitupitoisuus. Näytteet otettiin

kolmen sarjona betonilastin eri kohdista jokaista alkavaa 100 m<sup>3</sup> kohden. Kuitu-  
vahvistetun ruiskubetonin koelaatoista testattiin energianabsorptiokapasiteetti,  
puristuslujuus ja kuitupitoisuus. (8.)

ÄLY-hankkeella valmiille ruiskubetonille tehtiin loppukatselmus, jossa tarkastet-  
tiin ruiskubetonisalojen päät. Lisäksi valmiille ruiskubetonirakenteelle suoritet-  
tiin testejä. Ruiskubetonin paksuus määriteltiin rakenteesta poraamalla ja mittaa-  
malla. Testaustiheys oli yksi reikä per 10...20 tunnelimetriä. Valmiista ruiskubeto-  
nirakenteesta otettiin rakennekoekappaleita. Koekappaleista määriteltiin puris-  
tuslujuus ja kuitupitoisuus, yksi testi jokaista alkavaa 100 m<sup>3</sup> kohti. Ruiskubetonin  
pakkasenkestävyys testattiin, yksi testi jokaista alkavaa 200 m<sup>3</sup> kohti. Paineelli-  
sen veden tunkeumasyvyyys testattiin, yksi testi jokaista alkavaa 500 m<sup>3</sup> kohti.  
Tartuntalujuus testattiin, yksi testi jokaista alkavaa 1000 m<sup>2</sup> kohti. (8.) Koekappa-  
leiden irrotus ja käsittely osoittautui odotettua haasteellisemmaksi työvaiheeksi  
(12). Taulukossa 4 ja 5 esitettyjä ruiskubetonointipöytäkirjoja käytettiin työnseu-  
rannassa.



#### RUISKUBETONOINTIPÖYTÄKIRJA

PVM	SIJAINTI (KM+M- KM+M)	LUPA (NIMI)	PAIKKA (SEINÄ (O/V), HOLVI, RBSO)	SUUTINMIEST	RB-RESEPTI JA MASSATIEDOT	RUISKUTUSKERRAT, KELLONAJAT JA KERROSPAKSUUDET	LISÄAINEIDEN NIMET JA MÄÄRÄT	RB- SALAOJIE N MÄÄRÄT

Taulukko 4. ÄLY-hankkeella käytössä ollut ruiskubetonointipöytäkirja työnaikai-  
seen valvontaan (11)

PVM	SIJAINTI (KM+M- KM+M)	PAIKKA (SEINÄ, HOLVI, RBSO)	KOEKAPPALEIDEN IRROITUSKOHDAT	KOEKAPPALEIDEN TUNNUKSET JA IRROITUSPÄIVÄMÄÄRÄT	PAKSUUSMITTAUSTE N TULOKSET	KOELAATAT

Taulukko 5. ÄLY-hankkeella käytössä ollut ruiskubetonointipöytäkirja laadunvalvonta koekappaleille (11)

#### 5.4 Toteutuksen tarkastus

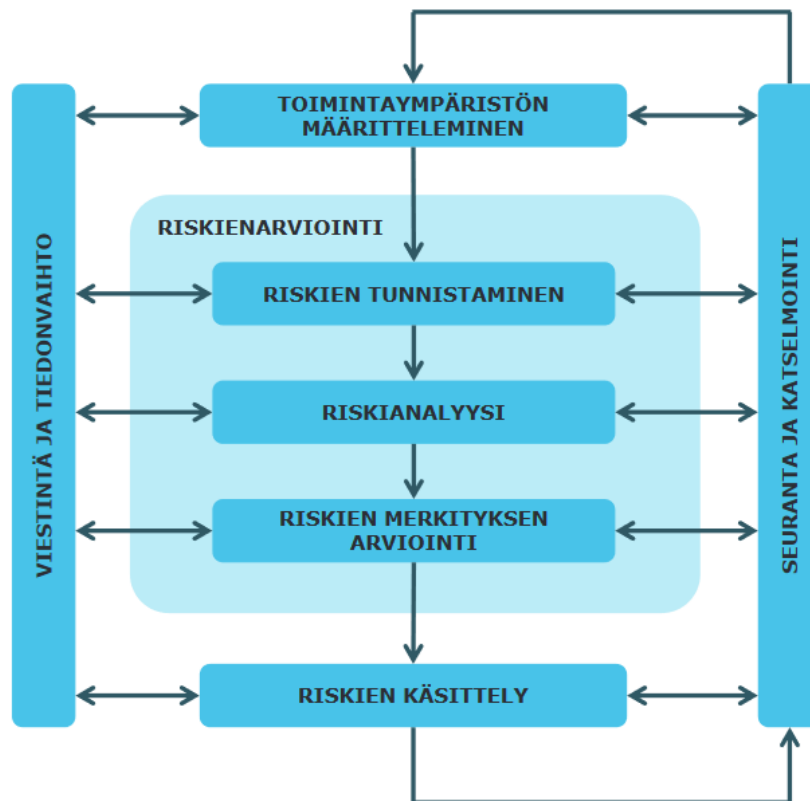
Toteutuksen tarkastamisessa selvitetään, onko ruiskubetonointi suoritettu projektimäärittelyjen ja standardin SFS-EN 14487-2 mukaan. Kohteelle määritelty tarkastuskategoria määrittelee tarkastuksen laajuuden. Tarkastettavia asioita ovat esimerkiksi alustan esikäsittely, raudoitus, annostelulaitteisto, ruiskutuslaitteisto ja jälkihoito. Tarkastuskategoriassa 1 lähes kaikille asioille riittää silmämääräinen tarkastaminen. Tarkastuskategoriassa 3 vaaditaan tarkentavia mittauksia tietyille asioille. Esimerkiksi ruiskutuslaitteistolle satunnainen materiaalityö ja kiihdyttimen annostelun mittaus sekä säännöllinen lämpötila- ja kosteusmittaus ruiskutuksen ja jälkihoidon aikana. Liitteessä 6 SFS-EN 14487-2 taulukko 2 on esitetty tarkastuksen laajuus tarkemmin. Liitteessä 7 SFS-EN 14487-2 taulukko 3 on esitetty tarkastukseen liittyvät toimenpiteet rakennetyypeittäin. (17.)

#### 5.5 Riskit ja niihin varautuminen

Riskillä tarkoitetaan tilannetta tai tapahtumaa, joka vaikuttaa toiminnan tavoitteiden toteutumiseen. Riskit ovat ennalta arvaamattomia niiden suuruus määritellään todennäköisyyden ja seurausten perusteella. Riskienarvioinnissa tunnistetaan ja arvioidaan potentiaalisia haittoja, vaaroja, ongelmia ja virheitä. Riskejä arvioidaan koko hankkeen vaikutusten ja toteutumisedellytyksien osalta. Arvioitavia riskien vahinkolajeja ovat taloudelliset-, aikataululliset-, tekniset-, työturvallisuus- ja ympäristöriskit. Riskienhallinta on suunnitelmallista ja jatkuvaa työtä



epävarmuuksien tunnistamiseksi, arvioimiseksi ja hallitsemiseksi. Riskit vaikuttavat suoraan toimintaan ja toimintaympäristöön. Arvioiduille riskeille määritellään riskienhallintatoimenpiteet. Kuvassa 11 on esitetty riskienhallintaprosessi ja siihen liittyvät toimenpiteet. (18.)



Kuva 11. Standardin ISO 31000:2009 mukainen riskienhallintaprosessi (18)

Ruiskubetonointi on moniosainen ja haastava prosessi. Olosuhteet muuttuvat jatkuvasti sekä jokaisen työhön liittyvän laitteen ja osatekijän on toimittava saumattomasti yhteen. Prosessin optimaalinen toiminta edellyttää, että kaikki siihen vaikuttavat tekijät ovat kunnossa. Jos jokin osa tuotantoketjussa pettää, se vaikuttaa negatiivisesti lopputulokseen, aikatauluun ja työturvallisuuteen. Kaiken perustana on huolellinen ja ammattitaitoinen suunnittelu. Suunnittelussa määritellään vaatimukset betonille ja työn suoritukselle sekä laaditaan työselostukset. Muutoksiin ja yllätyksiin tulee aina varautua etukäteen. Ongelmat voivat olla laajuudeltaan hyvin erilaisia ja johtua monista eri syistä. Tästä johtuen prosessi ja sen osat ovat tärkeää ymmärtää mahdollisimman hyvin. (3.)

## 6 Kehitettäviä asioita

Rautatietunnelin ruiskubetonoinnin monimutkaisuuden ja haastavuuden ansiosta prosessissa on aina kehitettäviä asioita. Prosessia optimoimalla käytössä olevat resurssit saadaan tehokkaammin hyödynnettyä. Ruiskubetonointityön laatua on myös mahdollista korottaa. Kaiken edellytyksenä ovat ammattitaitoiset työmiehet, laadukas suunnittelu ja määrätietoinen johtaminen.

### 6.1 Suojaukset

Suojausten onnistunut tekeminen edellyttää oikeanlaisten materiaalien ja työmenetelmien käyttämistä. Suunnittelemalla työ etukäteen perusteellisesti varmistetaan sen onnistuminen. Äänekosken liikenneyhteydet ratahankkeella hyväksi ja kustannustehokkaaksi suojausmateriaaliksi todettiin tavallinen rakennusmuovi. Suojakalvot ja rakennusmuovit kuitenkin toimitetaan rullalla ja kaksin kerroin taitettuina. Suojakalvon taitteen avaaminen on yksi työvaihe lisää kokonaisuuteen. Jos tätä ei tehdä materiaalia menee hukkaan, koska suojattavat rakenteet ovat kapeita ja pitkiä.

Paras vaihtoehto olisi yksinkertainen suojakalvo rullalla. Tämän rullan voisi leikata tarvittavan levyisiin osiin sopimaan eri kohteiden suojauksiin. Rullalle voitaisiin tehdä teline kiskopyöräkurottajan nostokorin laidan yläpuolelle. Suojattaessa pitkiä kohteita kuten ajojohdinta materiaalin levittäminen onnistuu nopeasti rullalta. Alkupää kiinnitetään suojattavan kohteen toiseen päähän. Materiaali levitetään rullalta auki suojattavan osan päälle liikuttamalla koko kiskopyöräkurottajaa. Kun tarvittava pituus on saavutettu, materiaali kiinnitetään liikkumalla vastakkaiseen suuntaan.

Suojausten tekeminen nopeammin on mahdollista käyttämällä kahta työmiestä yhdessä nostokorissa. Suojausten paikalleen asettaminen ja kiinnittäminen on nopeampaa työparin kanssa. Tämä lisää työkustannuksia jonkin verran, mutta lyhentää suojauksen tekemiseen tarvittavaa aikaa. Suojauksien tekeminen ja purkaminen ovat kustannuksiltaan ja ajaltaan pienet verrattuna itse ruiskubetonointityöhön. Työvaiheen optimoinnilla ei saavuteta suuria säästöjä koko projektin kannalta. Suojaustyö on kuitenkin toteutettava huolellisesti, ettei suojausmateriaalit irtoa ja vaaranna tunnelin liikennöintiä.

## 6.2 Betonimassa

Liikennöidyn rautatietunnelin ruiskubetonointi asettaa betonimassalle omat erityisvaatimukset. Massalle haluttuja ominaisuuksia ovat suuri varhaislujuus, pieni hukkaroiskeen määrä, pitkä käyttöaika ja hyvä vesitiiveys. Käyttötarkoitukseen parhaiten sopivan betonimassan koostumuksen selvittämiseksi tulisi tehdä lisätutkimuksia. Betonimassan koostumuksella voidaan vaikuttaa suuresti valmiin rakenteen ominaisuuksiin ja massan työstettävyyteen.

Tavoiteltaessa mahdollisimman vesitiivistä ruiskubetonikerrosta on halkeamien muodostuminen minimoitava. Suositeltava kokonaisvesi-sementtisuhde on 0,45...0,50. Betonin sementtimäärän tulisi olla 430...450 kg/m<sup>3</sup>. Nopeasti kovetuvat sementtilaadut ovat suositeltavia. Seoksessa tulisi käyttää tehokkaita polymeerinotkistimia noin 2 tunnin vaikutusajalla. Betoniin sekoitettavat tiivistysaineet kuten Xypex Admix ovat suositeltavia käytettäessä korkeaa vesi-sementtisuhdetta. Betonimassan lämpötilan tulisi olla enintään +15 °C työmaalle tuotaessa. Alhainen lämpötila vähentää kosteuden haihtumista ruiskutuksen jälkeen ja vähentää haitallisia lämpöjännityksiä. Paksu ruiskutuskerros lisää halkeiluriskiä, koska se jäähtyy hitaasti. Alkaalivapaan kiihdyttimen käyttö on suositeltavaa alhaisen lujuuskadon ja vähäisen mikrohalkeilun ansiosta. Alkaalivapaata kiihdytintä käytettäessä lujuudenkehitys on kuitenkin hieman hitaampaa. (15.)

## 6.3 Ruiskutus

Ruiskutuksessa tärkeitä asioita ovat kerrospaksuuden hallinta ja kerroksien ruiskutus eri suunnista. Jos rakenteen kerrospaksuus ei täytä vaatimuksia, joudutaan ruiskuttamaan korjauskerros. Tämä lisää kustannuksia ja pitkittää projektin valmistumista. Homogeenisen ruiskutuskerroksen saavuttamisessa kokenut ja osaava suutinmies on tärkeässä roolissa. Ruiskubetonirakenteen paksuuden seuranta tulisi kehittää siten, että lopputulos olisi mahdollisimman yhtenäinen ja tasalaatuinen kaikilla alueilla. Nopeana tapana kerrospaksuuden seurannassa voitaisiin käyttää lasermittalaitteita. Vertaamalla tunnelista otettuja mittauksia ennen ja jälkeen ruiskutuksen voidaan todeta ruiskubetonikerroksen paksuus. Nopea reagoiminen puutteellisiin kerrospaksuuksiin mahdollistaa nopean virheiden korjauksen ja suutinmiehen ruiskutuskäytännön muutoksen.

## 6.4 Viestintäyhteydet

Jos tunnelia ei ole varustettu GSM-, GSM-R- tai VIRVE-antennijärjestelmillä, on kommunikointi haasteellista. Tällaisia tilanteita voi tulla vastaan esimerkiksi alle 1000 m pituisissa tunneleissa, joissa antennijärjestelmät eivät ole pakollisia, tai työskenneltäessä perusparannettavassa tunnelissa, jossa antennijärjestelmään kohdistuvat toimenpiteet ovat kesken. (4.) Antennijärjestelmät eivät välttämättä aina toimi halutulla tavalla ja kuuluvuudessa voi olla katkoksia.

ÄLY-hankkeella kommunikointimahdollisuuden puute tunnelissa olevan ruiskubetonointiyksikön ja ulkopuolella olevan työnjohdon kanssa todettiin ongelmaksi. Betonimassan tilausten oikea-aikainen tahdittaminen on haasteellista, jos ruiskubetonointiyksikölle tulee odottamattomia ongelmia tunnelissa. Reaaliaikainen informaatio ruiskubetonointiyksikön liikkeistä työnjohtajalle helpottaa tilausten tekemistä ja kokonaisuuden hallintaa. Lisäksi ongelmatilanteisiin reagoiminen nopeutuu ja hukkaan menevän betonimassan määrää voidaan vähentää. (12.) Viestintäyhteydet voitaisiin toteuttaa pitkän kantaman radiopuhelimilla. Tunnelin kaarevuus kuitenkin heikentää kantamaa. Aiheesta pitäisi tehdä lisätutkimuksia parhaan mahdollisen ratkaisun löytämiseksi.

## 7 Pohdinta

Liikennöidyn rautatietunnelin ruiskubetonoinnista ei ole aikaisemmin julkaistu aineistoa suomen kielellä. Aihetta käsiteltiin englanniksi eräässä lehtiartikkelissa vuodelta 2002. Käytetty ruiskubetonointimenetelmä oli kuivaseosmenetelmä ja tunneli ei ollut sähköistetty. Esitetty perusidea oli kuitenkin sama: liikenteen pysäyttäminen kokonaan tunnelin korjauksen ajaksi on harvinaista ja näin työ on toteutettava liikenteen sallimissa raioissa erikoisrakenteisella työjunalla.

Vaikka liikennöidyn rautatietunnelin ruiskubetonointi on moniosainen ja vaativa prosessi, voidaan sillä saavuttaa suuria säästöjä. Ainut vaihtoehto on rataosuu- den sulkeminen kokonaan liikenteeltä ruiskubetonoinnin ajaksi. Tämä tarkoittaa sitä, että kaikki junaliikenne on korvattava muilla liikennemuodoilla.

Opinnäytetyö yhdistää rautatiellä työskentelyn ja ruiskubetonoinnin. Molemmista kokonaisuuksista löytyy tietoa erikseen mutta ei yhdessä. Rautatietunneli ympäristönä aiheuttaa ruiskubetonointityölle suuria haasteita, jotka ovat täysin selätettävissä. Tämä teki opinnäytetyön tekemisestä erittäin mielenkiintoista. Kaikki ruiskubetonointiin liittyvät asiat piti pohtia rautatien näkökulmasta.

Opinnäytetyön tavoitteina olivat rautatietunnelin ruiskubetonointiin liittyvän tiedon kerääminen ja prosessia kehittävien toimenpiteiden tutkiminen. Tiedonkeräämisen osalta tavoite täyttyi hienosti. Prosessin kehittäminen osoittautui haasteelliseksi. Prosessista löydettiin ongelmakohtia ja niihin esitettiin ratkaisuja. Esitetyt ideat tarvitsevat lisätutkimuksia ja käytännön testausta työmaalta.

Opinnäytetyö toimii hyvänä perustiedonlähteenä ryhdyttäessä liikennöidyn rautatietunnelin ruiskubetonointityöhön. Suomen ikääntyvien tunneleiden ansiosta uskon opinnäytetyölle olevan tulevaisuudessa lukijoita.

## **Kuvat**

Kuva 1. VR Groupin toiminnan arvot, jotka ohjaavat koko konsernin toimintaa, s.9 (5)

Kuva 2. Ajo- ja paluujohtimen siirrettävät työmaadoitusvälineet, s.16 (2)

Kuva 3. Suojaukset s.20 (11)

Kuva 4. Normet Spraymec 1050 s.21 (Matti Räkköläinen)

Kuva 5. Betonisäiliö s.22 (Matti Räkköläinen)

Kuva 6. Ruiskubetonointiyksikkö s.23 (11)

Kuva 7. Kangasvuoren tunnelin tyypipoikkileikkaus s.25 (11)

Kuva 8. Kuorman purkaminen s. 30 (11)

Kuva 9. Ruiskusuuttimen liikkeet s.31 (13)

Kuva 10. Ruiskutus s.32 (11)

Kuva 11. Standardin ISO 31000:2009 mukainen riskienhallintaprosessi s.41 (17)

## **Taulukot**

Taulukko 1. Kiihdytintyyppien ominaisuuksia s.26 (3)

Taulukko 2. Sementin ja seosaineiden vaikutus ruiskubetonin ominaisuuksiin s.27 (3)

Taulukko 3. Betonin määrittely s.28 (3)

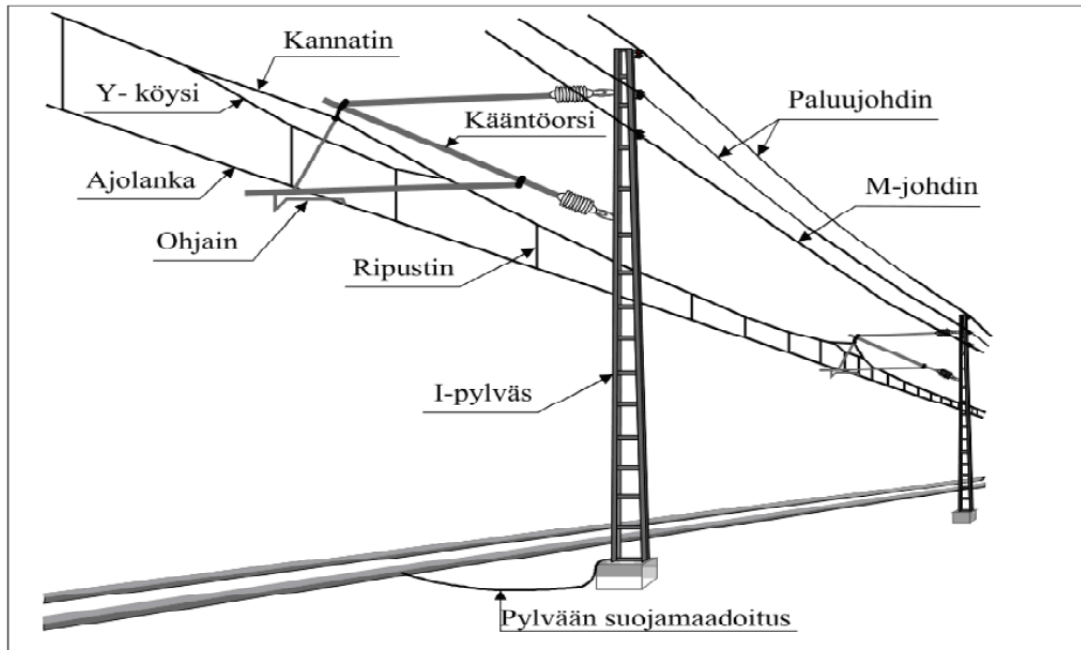
Taulukko 4. ÄLY-hankkeella käytössä ollut ruiskubetonointipöytäkirja työnaikaiseen seuraamiseen s.39 (11)

Taulukko 5. ÄLY-hankkeella käytössä ollut ruiskubetonointipöytäkirja laadunvalvonta koekappaleille s.39 (11)

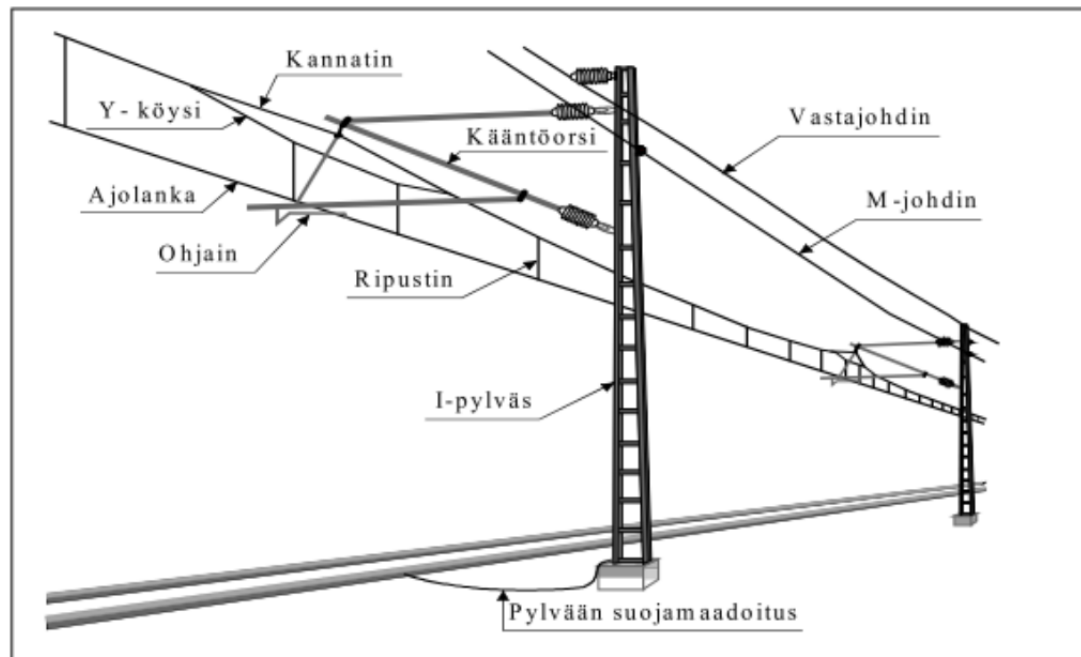
## Lähteet

1. Radanpidon turvallisuusohjeet (TURO). Liikenneviraston ohjeita 15/2017
2. Sähkörataohjeet. Liikenneviraston ohjeita 7/2016
3. BY63 Ruiskubetoniohjeet 2015. Suomen Betoniyhdistys ry. Helsinki: BY – Koulutus Oy
4. Ratatekniset ohjeet (RATO). Osa 18 Rautatietunnelit 5.6.2008
5. VR Track 2018. [www.vrtrack.fi](http://www.vrtrack.fi). Luettu 26.02.2018
6. Äänekosken liikenneyhteydet 2018. [www.liikennevirasto.fi/aanekoski](http://www.liikennevirasto.fi/aanekoski). Luettu 26.02.2018
7. BY201 Betonitekniikan oppikirja 2004. Suomen Betoniyhdistys ry. Helsinki: BY – Koulutus Oy
8. Työkohtainen työselostus Kangasvuoren tunnelin betonointiurakka. VR Track Oy
9. Ritola, J. & Vuopio, J. 2002. Kalliotilojen vesitiiviiden hallinta. Espoo: VTT Tiedotteita 2147
10. InfraRYL 2017/1. 15300 Ruiskubetonointirakenteet
11. Tuveva, J. Työmaapäällikkö. VR Track Oy. Kuvia ja muuta aineistoa työmaalta. viitattu 12.2.2018.
12. Tuveva, J. Työmaapäällikkö. VR Track Oy. Haastattelu 23.2.2018
13. Valmisbetonihinnasto Etelä-Suomi. Rudus 1.3.2017
14. Höfler, J. & Schlumpf, J. 2004. Shotcrete in Tunnel Construction. Riederich: Putzmeister AG
15. Orantie, K., Ritola J. & Kronlöf, A. 2006. Kalliotilojen ruiskutettavat vesitiiviit komposiittirakenteet. Espoo: VTT Tiedotteita 2358
16. SFS-EN 14487-1. 2006. Ruiskubetoni osa 1: määritelmät, vaatimukset ja vaatimustenmukaisuus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS
17. SFS-EN 14487-2. 2007. Ruiskubetoni. osa 2: toteuttaminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS
18. Ohje riskienhallinnan menetelmistä. Liikenneviraston ohjeita 40/2017

Liite 1. Ratajohdon osat avoradalla (RATO 5 Sähköistetty rata, Liikenneviraston ohjeita 21/2013)



Kuva 5.5.1 Ratajohto avoradalla, järjestelmä 25 kV



Kuva 5.5.2 Ratajohto avoradalla, järjestelmä 2x25 kV



## Liite 2. SFS-EN 14487-1 taulukko 9. Koeruiskutus

Taulukossa 9 kaikki määritellyt ja harmaalla sävytetyt parametrit tulee testata, valkoiset parametrit tulee testata vain, jos ne on määritelty testattaviksi.

Työn tyyppi	Korjaus ja parantaminen			Itsenäiset kantavat rakenteet			Maaperän vahvistaminen		
Tarkastuskategoria:	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Ominaisuus									
Märkäseoksen notkeus									
Varhaislujuuskehitys									
Puristuslujuus									
Kimmokerroin									
Tartunta alustaan									
Taivutusmurtolujuus									
Ensimäinen lujuushuippu <sup>a</sup>									
Jäännöslujuus <sup>a, b</sup>									
Energianabsorptiokapasiteetti <sup>a, b</sup>									
Jäädytys/sulatuskestävyys (suolarasituksella tai ilman suolarasitusta)									
Vesitiiviys									
Koostumus									
Kuivtipitoisuus <sup>a</sup>									
Suurin kloridipitoisuus									

<sup>a</sup> Vain kuituvahvisteiselle ruiskubetonille.

<sup>b</sup> Jäännöslujuus tai energianabsorptiokapasiteetti voidaan määrittellä.

## Liite 3. SFS-EN 14487-1 taulukko 10 Osa-aineiden valvonta

### Taulukko 10 Osa-aineiden valvonta

	Materiaali	Tarkastus/testi	Tarkoitus	Pienin näytteenottotaajuus		
				Kategoria 1	Kategoria 2	Kategoria 3
1	Sementit	Kuormakirjan tarkastus	Varmistetaan oikea tyyppi ja alkuperä	Jokaisesta toimituksesta		
2	Kiviainekset	Kuormakirjan tarkastus <sup>a</sup>	Varmistetaan oikea tyyppi ja alkuperä	Jokaisesta toimituksesta		
3		Testi seulomalla standardin EN 933-1 mukaisesti tai kiviainesten toimittajan antama tieto	Arvioidaan rakeisuuden standardin- tai muun hyväksytyn luokittelun mukaisuus	–	Ensimmäinen toimitus uudesta esiintymästä	
4		Epäpuhtauksien testaus tai kiviainesten toimittajan antama tieto (standardin EN 12620 mukaisesti)	Arvioidaan epäpuhtauksien määrä ja laatu	–	Ensimmäinen toimitus uudesta esiintymästä	
5	Kevytbetonin lisävalvonta	Testi standardin ISO 6782 mukaisesti	Mitataan irtotiheys	–	Ensimmäinen toimitus uudesta esiintymästä	
Asiaankuuluvaa materiaalin valvontaa on tehtävä tarkastuskategoriasta riippumatta, kun on aihetta epäillä.						
6	Lisäaineet <sup>b</sup>	Kuormakirjan ja astian merkinnän tarkastus standardin EN 934-6 mukaisesti	Varmistetaan, onko toimituserä tilauksen mukainen ja oikein merkitty	Jokaisesta toimituksesta		
7		Nestemäisten lisäaineiden tiheyden testaus standardin ISO 758 mukaisesti	Verrataan valmistajan ilmoittamaan arvoon	Kun on aihetta epäillä		
8	Seosaineet irtonaisena jauheena	Kuormakirjan tarkastus	Varmistetaan, onko toimituserä tilauksen mukainen ja alkuperä oikea	Jokaisesta toimituksesta		
9	Seosaineet lietteenä	Kuormakirjan tarkastus	Varmistetaan, onko toimituserä tilauksen mukainen ja alkuperä oikea	Jokaisesta toimituksesta		
10		Tiheyden testaus standardin ISO 758 mukaisesti	Varmistetaan homogeneisuus	–	Jokaisesta toimituksesta	
11	Vesi	Testaus standardin EN 1008 mukaisesti	Varmistetaan, että vedessä ei ole haitallisia aineita	–	Jos vesi ei ole juomavettä; uudesta lähteestä ensimmäisellä kerralla; ja kun on aihetta epäillä	
12	Kuidut	Pituuden, halkaisijan ja muodon tarkastus standardiehdotusten prEN 14889-1 ja prEN 14889-2 mukaisesti	Varmistetaan, onko toimituserä tilauksen mukainen ja alkuperä oikea	Jokaisesta toimituksesta		

<sup>a</sup> Kuormakirjan tai tuotteen tuotetietolomakkeen tulee sisältää tiedot myös suurimmasta kloridipitoisuudesta ja tulisi yksilöidä alkali-piiyhdistereaktion kestävyys betonin käyttöpaikalla voimassaolevien säästöjen mukaan. Kuormakirjan tulee sisältää tai siihen tulee liittää vaatimustenmukaisuusvakuutus tai vaatimustenmukaisuustodistus, kuten asiaankuuluvassa standardissa tai määrittelyssä vaaditaan.

<sup>b</sup> On suositeltavaa ottaa ja varastoida näytteet jokaisesta toimituserästä.

## Liite 4. SFS-EN 14487-1 taulukko 11 Perusseoksen valvonta

Taulukko 11 Perusseoksen valvonta

	Testin tyyppi	Tarkastus/testi	Tarkoitus	Pienin näytteenottotaajuus		
				Kategoria 1	Kategoria 2	Kategoria 3
1	Notkeus käytettäessä märkäseos -menetelmää	Testaus standardin EN 12350-2 tai EN 12350-5 mukaisesti	Arvioidaan vaatimuksen mukaisuus notkeuden vaatimusluokan mukaisesti ja tarkistetaan mahdolliset muutokset vesipitoisuudessa	Tuotannon alkaessa		
2	Lisäaineen pitoisuus lukuunottamatta kiihdyttämiä	Lisätyn määrän tallenne	Tarkistetaan pitoisuus	Valinnainen	Jokaisesta erästä	
3	Seosaineiden pitoisuus	Lisätyn määrän tallenne	Tarkistetaan pitoisuus	Valinnainen	Jokaisesta erästä	
4	Kuitupitoisuus	Lisätyn määrän tallenne	Tarkistetaan pitoisuus	Jokaisesta erästä		

Liite 5. SFS-EN 14487-1 taulukko 12 Ruiskubetonin ominaisuuksien valvonta

**Taulukko 12 Ruis kubetonin ominaisuuksien valvonta**

Testin tyyppi	Tarkastus/ testaus minkä mukaisesti	Miniminäytteenottoaajuus				Korjaus ja parantaminen				Itsenäiset kantavat rakenteet			
		Maaperän vahvistaminen		Kategoria 3		Kategoria 1		Kategoria 2		Kategoria 1		Kategoria 2	
		Kategoria 1	Kategoria 2	Kategoria 3		Kategoria 1	Kategoria 2	Kategoria 1	Kategoria 2	Kategoria 1	Kategoria 2	Kategoria 1	Kategoria 2
Tuoreen betonin valvonta													
1	Tuoreen betonin vesi-sementtisuhde, kun käytetään markaseosmenetelmää	Laskemalla tai testisementtelmän mukaisesti			Päivittäin				Päivittäin				Päivittäin
2	Kiihdytin	Lisätyn määrän tallenne			Päivittäin				Päivittäin				Päivittäin
3	Tuoreen betonin kuitupitoisuus	prEN 14488-7	vähintään 1 1/200 m <sup>3</sup> tai 1/1 000 m <sup>2</sup>	1/200 m <sup>3</sup> tai 1/100 m <sup>3</sup> tai 1/500 m <sup>2</sup>	1/100 m <sup>3</sup> tai 1/500 m <sup>2</sup>	vähintään 1	1/500 m <sup>2</sup> vähintään 2	1/250 m <sup>3</sup> tai vähintään 3	1/200 m <sup>3</sup> tai 1/1 000 m <sup>2</sup> tai vähintään 1	1/100 m <sup>3</sup> tai 1/500 m <sup>2</sup> tai vähintään 2	1/250 m <sup>3</sup> tai vähintään 3	1/100 m <sup>3</sup> tai 1/500 m <sup>2</sup> tai vähintään 2	1/50 m <sup>3</sup> tai 1/250 m <sup>2</sup> tai vähintään 3
Kovettuneen betonin valvonta													
4	Nuoren ruiskubetonin lujuustesti	prEN 14488-2	1/5 000 m <sup>2</sup> tai 1/2 kuukaudessa	1/2 500 m <sup>2</sup> tai 1/kuukausi	1/250 m <sup>2</sup> tai 2/kuukausi								
5	Puristuslujuus	EN 12504-1	1/1 000 m <sup>3</sup> tai 1/5 000 m <sup>2</sup>	1/500 m <sup>3</sup> tai 1/2 500 m <sup>2</sup>	1/250 m <sup>3</sup> tai 1/1 250 m <sup>2</sup>	1/500 m <sup>3</sup> tai 1/2500 m <sup>2</sup> tai vähintään 1	1/100 m <sup>3</sup> tai 1/500 m <sup>2</sup> tai vähintään 2	1/50 m <sup>3</sup> tai 1/250 m <sup>2</sup> tai vähintään 3	1/500 m <sup>3</sup> tai 1/2 500 m <sup>2</sup> tai vähintään 1	1/100 m <sup>3</sup> tai 1/500 m <sup>2</sup> tai vähintään 2	1/50 m <sup>3</sup> tai 1/250 m <sup>2</sup> tai vähintään 3	1/100 m <sup>3</sup> tai 1/500 m <sup>2</sup> tai vähintään 2	1/50 m <sup>3</sup> tai 1/250 m <sup>2</sup> tai vähintään 3
6	Kovettuneen betonin tiheys	EN 12390-7	Kun testataan puristuslujuus	Kun testataan puristuslujuus	Kun testataan puristuslujuus	Kun testataan puristuslujuus	Kun testataan puristuslujuus	Kun testataan puristuslujuus	Kun testataan puristuslujuus	Kun testataan puristuslujuus	Kun testataan puristuslujuus	Kun testataan puristuslujuus	Kun testataan puristuslujuus
7	Vesitiivisyys	EN 12390-8				1/1 000 m <sup>2</sup> tai vähintään 1	1/500 m <sup>2</sup> tai vähintään 2	1/250 m <sup>2</sup> tai vähintään 3	1/1000 m <sup>2</sup> tai vähintään 1	1/500 m <sup>2</sup> tai vähintään 2	1/250 m <sup>2</sup> tai vähintään 3	1/500 m <sup>2</sup> tai vähintään 2	1/250 m <sup>2</sup> tai vähintään 3
8	Jäädäytys/sulatuskestävyys	Ks. alaviite d				1/1 000 m <sup>2</sup> tai vähintään 1	1/500 m <sup>2</sup> tai vähintään 2	1/250 m <sup>2</sup> tai vähintään 3	1/1 000 m <sup>2</sup> tai vähintään 1	1/500 m <sup>2</sup> tai vähintään 2	1/250 m <sup>2</sup> tai vähintään 3	1/500 m <sup>2</sup> tai vähintään 2	1/250 m <sup>2</sup> tai vähintään 3
9	Tartuntalujuus	EN 14488-4 <sup>a</sup> EN 1542 <sup>b</sup>	1/2 500 m <sup>2</sup>	1/2 500 m <sup>2</sup>	1/1 250 m <sup>2</sup>	1/1 000 m <sup>2</sup> tai vähintään 1	1/500 m <sup>2</sup> tai vähintään 2	1/250 m <sup>2</sup> tai vähintään 3	1/1 000 m <sup>2</sup> tai vähintään 1	1/500 m <sup>2</sup> tai vähintään 2	1/250 m <sup>2</sup> tai vähintään 3	1/500 m <sup>2</sup> tai vähintään 2	1/250 m <sup>2</sup> tai vähintään 3
Kultivahvisteisen ruiskubetonin valvonta													
10	Kovettuneen betonin kuitupitoisuus <sup>c</sup>	prEN 14488-7	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus tai energianabsorptiokapasiteetti	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus tai energianabsorptiokapasiteetti	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus
11	Jäänm <sup>3</sup> lujuus tai energianabsorptiokapasiteetti	prEN 14488-3 tai prEN 14488-5	1/2 000 m <sup>3</sup> tai 1/10 000 m <sup>2</sup>	1/400 m <sup>3</sup> tai 1/2 000 m <sup>2</sup>	1/100 m <sup>3</sup> tai 1/500 m <sup>2</sup>	vähintään 1	1/2 000 m <sup>2</sup> tai vähintään 2	1/500 m <sup>2</sup> tai vähintään 3	1/2 000 m <sup>2</sup> tai vähintään 2	1/500 m <sup>2</sup> tai vähintään 3	1/2 000 m <sup>2</sup> tai vähintään 2	1/500 m <sup>2</sup> tai vähintään 3	1/500 m <sup>2</sup> tai vähintään 3
12	Taivutusmurtolujuus	prEN 14488-3	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus
13	Ensimmäinen lujuushuippu	prEN 14488-3	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus	Kun testataan jäänm <sup>3</sup> lujuus
a Maaperän vahvistaminen													
b Korjaus													
c Tämä testi on vaihtoehtoinen riivillä 3 mainitulle, kun ei ole käytännöllistä määrittää kuitupitoisuutta tuoreesta ruiskubetonista 1)													
d Koska eurooppalaista standardia ei ole tämän asiakirjan julkaisemisajankohtana, sovelletaan kansallisia standardeja													

## Liite 6. SFS-EN 14487-2 taulukko 2 Tarkastuksen laajuus

Taulukko 2 Tarkastuksen laajuus

Asia	Tarkastusluokka 1	Tarkastusluokka 2	Tarkastusluokka 3
Tarkastuksen suunnittelu	Ei vaatimuksia	Tarkastus- ja testaussuunnitelma, -menetelmät ja -ohjeet kuten määritelty.	
		Toimenpiteet vaatimustenvastaisuuden tapauksessa	
Rakennustelineet, muottien tukirakenteet ja muotit	Silmämääräinen tarkastus	Suuret rakennustelineet ja muotit tarkastettava ennen ruiskutusta	Kaikki rakennustelineet ja muotit tarkastettava ennen ruiskutusta.
Alustan esikäsittely ja esikastelu	Silmämääräinen tarkastus	Suuret pinnat tarkastettava ennen ruiskutusta	Kaikki pinnat tarkastettava ennen ruiskutusta
Suojaaminen ympäristön ääriämpötiloilta	Silmämääräinen tarkastus ja lämpötilamittaus		
Raudoitus	Silmämääräinen tarkastus ja satunnaiset mittaukset	Suuret raudoitukset tarkastettava ennen ruiskutusta	Kaikki raudoitukset tarkastettava ennen ruiskutusta
Betoniin jäävät osat	Silmämääräinen tarkastus	Projektimäärittelyjen mukaisesti	
Materiaalien säilytys	Silmämääräinen tarkastus		
Annostelulaitteisto	Silmämääräinen tarkastus	Toimittajan testausasiakirjojen tarkastus	Satunnaiset mittaukset osaineilla
Sekoittimet	Silmämääräinen tarkastus		
Ruiskutuslaitteisto	Silmämääräinen tarkastus	Toimittajan testausasiakirjojen tarkastus	Satunnaisen materiaaliuoton ja kiihdyttimen annostelun mittaus
Testauslaitteisto	Silmämääräinen tarkastus		
Annostelu ja sekoittaminen	Silmämääräinen tarkastus		
Betonin toimitus	Silmämääräinen tarkastus	Satunnainen käyttöajan (kuivaseos) ja työstettävyyssajan (märkäseos) valvonta	
Betonin ruiskutus	Silmämääräinen tarkastus		
Pinnan viimeistely	Silmämääräinen tarkastus		
Betonin jälkihoito ja suojaus	Silmämääräinen tarkastus	Satunnainen lämpötila- ja kosteusmittaus ruiskutuksen ja jälkihoidon aikana.	Säännöllinen lämpötila- ja kosteusmittaus ruiskutuksen ja jälkihoidon aikana.
Toteutetun rakenteen mitat	Silmämääräinen tarkastus	Projektimäärittelyjen mukaisesti	
Tarkastuksen dokumentointi	Kaikkien epätavallisten tapahtumien tallenteet	Kaikki suunnitteluasiakirjat	
		Tallenteet kaikista tarkastuksista	
	Kaikki vaatimustenvastaisuudet ja raportti tehdyistä korjaavista toimenpiteistä	Kaikki vaatimustenvastaisuudet ja raportti tehdyistä korjaavista toimenpiteistä	

## Liite 7. SFS-EN 14487-2 taulukko 3 Tarkastuksen laajuuteen liittyvät tarkastustoimenpiteet

Taulukko 3 Tarkastuksen laajuuteen liittyvät tarkastustoimenpiteet

Tarkastustoimenpiteet	Maaperän lujitus	Korjaus ja parantaminen		Itsenäinen kantava rakenne
<b>Tarkastuksen suunnittelu</b>	X	X	X	X
<b>Rakennustelineet, muottien tukirakenteet ja muotit</b>				
Muottien mitat ja stabiilius		X	X	X
Muottien tiiviys		X	X	X
Rapautuman (pöly, irtoaines, jne. poistaminen ruiskutettavasta kohdasta)		X	X	X
Muottien pinnan esikäsitteleminen		X	X	X
Betonin lujuuden riittävyys ennen muottien poistoa		X	X	X
<b>Alustan esikäsitteleminen ja esikastelu</b>				
Kallion karstan poisto määrittelyn mukaisesti	X			
Alusta puhdas, kostutettu, mutta ei virtaavaa vettä	X	X	X	
Vaaditut kalliomekaniikkainstrumentit asennetaan	X			
Vaadittaessa pohjaveden viemärintipisteet on asennettu	X			
<b>Suojaaminen ympäristön ääriämpötiloilta</b>				
Suojaaminen pakkaselta	X	X	X	X
Suojaaminen korkealta lämpötilalta, erittäin voimakkaalta tuuletukselta, jne.	X	X	X	X
<b>Raudoitus</b>				
Verkko ja raudoitustangot				
Tyyppi ja sijainti piirustusten ja määrittelyjen mukaisesti	X	X	X	X
Hyvin sidottu ja varmistettu siirtymistä vastaan ruiskutuksen aikana	X	X	X	X
Ei vahingollisten aineiden (öljy, rasva, maali, jne.) likaama	X	X	X	X
Raudoitustankojen välillä riittävä etäisyys täydellisen tiivistymisen aikaansaamiseksi	X	X	X	X
Ei tarpeettomia limityksiä raudoitustankojen välillä	X	X	X	X
Betonipeite määrittelyn mukainen	X	X	X	X
<b>Teräs- ja polymeerikuidut</b>				
Tyyppi ja määrä määrittelyn mukaisesti	X	X	X	X
<b>Betoniin jäävät osat</b>				
Tyyppi ja sijainti piirustusten ja määrittelyjen mukaisesti		X	X	X
Hyvin sidottu ja varmistettu siirtymistä vastaan ruiskutuksen aikana		X	X	X

jatkuu...

Tarkastustoimenpiteet	Maaperän lujitus	Korjaus ja parantaminen		Itsenäinen kantava rakenne
<b>Materiaalien säilytys</b>				
Suojaus kosteudelta	X	X	X	X
Ei vahingollisten aineiden likaama	X	X	X	X
<b>Annostelulaitteisto</b>	X	X	X	X
<b>Sekoittimet</b>	X	X	X	X
<b>Ruiskutuslaitteisto</b>				
Kiihdyttimen annostelulaitteen tarkkuus	X	X	X	X
<b>Testauslaitteisto</b>				
Silmämääräinen tarkastus	X	X	X	X
<b>Betonin toimitus</b>				
Tarkistetaan, että määriteltyä käyttöaikaa tai työstettävyyssaikaa ei ylitetä	X	X	X	X
Tarkistetaan ruiskutuslaitteistoon syötetyn betonimateriaalin homogeenisuus	X	X	X	X
<b>Betonin ruiskutus</b>				
Riittävä paineilman syöttö hyvän tiivistymisen aikaansaamiseksi	X	X	X	X
Riittävän pieni kiihdyttimen annos, jotta vältetään betonin kerrostuminen raudoitteisiin	X	X	X	X
Hyvin mukautettu ruiskutusetaisyys ja ruiskutuskulman tarpeellinen vaihtelu	X	X	X	X
<b>Pinnan viimeistely</b>				
Tarkistetaan, että pinnan viimeistely tehdään määritellyn mukaisesti		X	X	X
<b>Jälkihoito ja suojaus</b>				
Todennetaan, että ruiskubetonin jälkihoito tehdään kuten on määritelty	X	X	X	X
Päälleruiskutettu jälkihoitoaine on poistettu määrittelyn mukaisesti ennen lisäkerrosten ruiskuttamista	X	X	X	X
<b>Toteutetun rakenteen mitat</b>				
Mitataan paksuus	X	X	X	X
<b>Asiakirjat</b>	X	X	X	X