

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikan koulutusohjelma / Korjausrakentaminen

Petri Virolainen

SILTOJEN VEDENERISTYSTÖIDEN LAADUNVALVONTA

Opinnäytetyö 2014

## TIIVISTELMÄ

### KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

#### Rakennustekniikan koulutusohjelma

VIROLAINEN, PETRI

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Toimeksiantaja

Maaliskuu 2014

Avainsanat

Siltojen vedeneristystöiden laadunvalvonta

40 sivua + 6 liitesivua

lehtori Juha Karvonen,

lehtori Sirpa Laakso,

laboratorioinsinööri Matti Havuaho

Kymenlaakson ammattikorkeakoulun betonilaboratorio

silta, vedeneristys, laadunvalvonta

Opinnäytetyön tavoitteena oli koota kattava perustietoselvitys Suomessa tehtävistä siltojen vedeneristystöiden laadunvalvonnasta Kymenlaakson ammattikorkeakoulun betonilaboratoriolle.

Opinnäytetyön alussa kerrotaan silloilla käytettävistä vedeneristysmenetelmistä, työmenetelmistä sekä eristysalustan ja vedeneristyksien laatuvaatimuksista. Vedeneristyksien laatua valvotaan erilaisin laadunvarmistusmittauksin. Työssä käydään läpi yksityiskohtaisesti laadun mittausmenetelmien eri vaiheet: teoreettinen osa, mittauksen suorittaminen ja tuloksien analysointi. Opinnäytetyön lopussa pohditaan eristyksien ja laadunvalvonnan ongelmia sekä kehityskohteita. Tätä varten haastateltiin alalla toimivia ammattilaisia, asiantuntijoita ja urakoitsijoita.

Siltojen vedeneriste on keskeinen kerros siltojen kansirakenteiden säilymisen kannalta. Työssä saatujen tuloksien perusteella sen rakentamisen aikaisia työvaiheita, materiaaleja ja laadunmittauksia tulisi kehittää entisestään. Laadunvalvonnassa on tärkeää, että mittaukset suoritetaan ammattitaitoisesti, ja tässä vastuun tulisi olla riippumattomilla pätevöityneillä asiantuntijoilla. Uusien toimivampien tuotteiden ja menetelmien kehittäminen epoksitiivistyskerroksen vaihtoehdoksi tai jopa korvaamiseksi nähdään tärkeänä. Tilaajan ja urakoitsijan avoimella yhteistyöllä parannetaan töiden lopputuloksien laatua ja vähennetään työvirheistä aiheutuvia kustannuksia.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Construction Engineering

VIROLAINEN, PETRI

Bachelor's Thesis

Supervisor

Commissioned by

March 2014

Keywords

Quality Control of Bridge Waterproofing

40 pages + 6 pages of appendices

Juha Karvonen, lecturer,

Sirpa Laakso, lecturer,

Matti Havuaho, laboratory engineer

Kymenlaakso University of Applied Sciences

Bridge, waterproofing, quality control

The purpose of this thesis was to compose a comprehensive report on the basic information on waterproofing works of bridges and the related quality control in Finland for the needs of the concrete laboratory of Kymenlaakso University of Applied Sciences.

The beginning of the thesis describes the waterproof working methods that are used in bridges, as well as the insulating substrate and waterproofing quality standards. Waterproofing quality is controlled by a variety of quality assurance measurements. The thesis examines the details of the different steps in quality measurement methods: the theoretical part, the measurement of performance, and the conclusions of the results. At the end of the thesis, the waterproofing materials, quality control problems and areas for development are discussed. For that, professionals were interviewed.

Bridge waterproofing is the core layer of bridges' structures in ensuring their durability. On the basis of the results, work stages, materials and quality measurements should be developed further. It is important in quality control that the measurements are performed by a professional, and this should be the responsibility of the independent experts. More functional new products and the development of methods should be found as an alternative to epoxy layer. Open co-operation between the client and the contractor is the key to improve the final results of the work quality and reduce the costs of workmanship.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	SILTOJEN VEDENERISTYKSET	7
	2.1 Yleistä	7
	2.2 Vedeneristeiden rasitukset	7
	2.2.1 Vauriot ja korjaustarve	7
	2.2.2 Vedeneristeen kupliminen	9
	2.2.3 Sääsuojan käyttö	9
	2.3 Eristysalustan laatuvaatimukset	10
	2.3.1 Betonikantiset sillat	10
	2.3.2 Puu- ja teräskantiset sillat	11
	2.4 Vedeneristyksien laatuvaatimukset ja työmenetelmät	11
	2.4.1 Epoksitiivistys	12
	2.4.2 Kermieristys	12
	2.4.3 Mastiksieristys	13
	2.4.4 Nestemäisenä levitettävä eristys	14
3	ERISTYSALUSTAN LAADUNVARMISTUSMITTAUKSET	14
	3.1 Eristysalustan tasaisuuden mittaaminen oikolaudalla	14
	3.1.1 Mittauksen suoritus ja apuvälineet	14
	3.1.2 Mittaustulokset ja raja-arvot	15
	3.2 Eristysalustan makrokarkeus	15
	3.2.1 Mittauksen suoritus ja apuvälineet	15
	3.2.2 Mittaustulokset ja raja-arvot	17
	3.3 Betonin absoluuttisen kosteuden tutkiminen	18
	3.3.1 Mittauksen suoritus ja apuvälineet	18
	3.3.2 Mittaustulokset ja raja-arvot	19

4	ERISTYKSIEN LAADUNVARMISTUSMITTAUKSET	21
4.1	Tartuntalujuuden mittaus	21
4.1.1	Mittauksen suoritus ja apuvälineet	22
4.1.2	Mittaustulokset ja raja-arvot	24
4.2	Vesitiiviyyden mittaaminen	26
4.2.1	Matalajännitemenetelmä	26
4.2.2	Korkeajännitemenetelmä	27
4.2.3	Vesitiiveyden arvostelu	30
5	HAASTATTELUIJEN TOTEUTUS JA KYSYMYSTEN ANALYYSINTI	31
6	TULOKSET	32
6.1	Laadunvarmistusmittaukset – asenteissa ongelmia?	32
6.2	Epoksin haasteet	33
6.3	Kipinäharavoinnin ongelmat	34
6.4	Absoluuttisen kosteuden mittaamisen nopeuttaminen	35
6.5	Tilaaajan ja urakoitsijan yhteistyö	35
7	YHTEENVETO	36
	LÄHTEET	38
	LIITTEET	
	Liite 1. Betonisen eristysalustan tasaisuuden ohjearvoja ja korjausmenetelmiä	
	Liite 2. Eristystöiden vaatimuksenmukaisuuskokeet ja tarkastukset	
	Liite 3. Kenttälomake. Pinnan karkeuden mittaaminen lasihelmimenetelmällä	
	Liite 4. Kenttälomake. Tartuntavetokoe	
	Liite 5. Kermieristyksen pintalämpötilan tartuntalujuusvaatimus siltakannella	
	Liite 6. Haastattelujen kysymykset	

## 1 JOHDANTO

Sillaksi määritellään rakenne, joka johtaa henkilö- ajoneuvo- tai muun liikenteen esteen yli ja jonka vapaa-aukko on vähintään 2,0 m. Vuoden 2012 alussa Liikenneviraston (entinen Tiehallinto) alaisuudessa oli tiesiltoja 14 470 kappaletta, joista putkisiltaja oli 3 174 kappaletta. Muut sillat ovat Metsähallituksen tai yksityisteiden hallinnoimia siltoja. Pääosa Suomen silloista on jo ehtinyt peruskorjausikään, joka on 30–40 vuotta, sillä siltojen rakennustoiminta oli vilkkaimmillaan 1950-luvun jälkeen. (Taitorakenteiden tarkastusohje 2013, 10.)

Suomen rankat ilmasto-olosuhteet, teiden suolaaminen ja siltakansilla liikkuva vesi aiheuttavat silloille rakenteellisia vaurioita, joista tiesilloille ominaisimpia ovat betonin rapautumisvauriot ja terästen korroosiovauriot. Viime vuosina ajoneuvoyhdistelmien kuormat ovat nousseet. Tämä rasittaa erityisesti vanhoja siltoja, jotka on suunniteltu vanhoille kuormayhdistelmille. Siltojen ylikuormittamisen vuoksi kantavissa rakenteissa ilmenee halkeamia, taipumia ja siirtymiä. Kaikki nämä vaikuttavat sillan käyttöikään, käytettävyyteen ja kantavuuteen. (Taitorakenteiden tarkastusohje 2013, 11.). Silloille syntyy edellä mainituista syistä korjaustarpeita. Yksi osa sillan rakentamista ja kunnostuskohteissa korjaustöistä on kannen vedeneristys.

Liikenneviraston ohjeet edellyttävät, että eristysurakoitsijoiden on osoitettava tietyillä mittauksilla eristysalustan ja valmiin vedeneristyksen laatu. Laatuvaatimukset on esitetty Infrarakentamisen yleisissä laatuvaatimuksissa (InfraRYL 2006. Osa 3, Sillat ja rakennustekniset osat.). Laadunvarmistusmittauksien määräyksiä ja työohjeita on päivitetty säännöllisesti. Tässä työssä noudatetaan vuoden 2014 maaliskuuhun mennessä tulleita päivityksiä.

Sillan toimiva vedeneriste on keskeinen sillan kuntoon vaikuttava rakenne. Opinnäytetyössä kuvataan eristysalustalle ja vedeneristysmateriaaleille asetettavat laatuvaatimukset sekä valmiin vedeneristyksen laadunvalvontamittausten suoritustavat. Työssä kerrotaan, miksi ja miten mittauksia tehdään sekä miten mittausten antamia tuloksia tulkitaan. Työssä sivutaan vedeneristeiden rasituksia ja työmenetelmiä. Työn lopussa pohditaan vedeneristemateriaalien ja laadunvalvontamittausten kehittämistä ja ongelmia haastattelujen pohjalta.

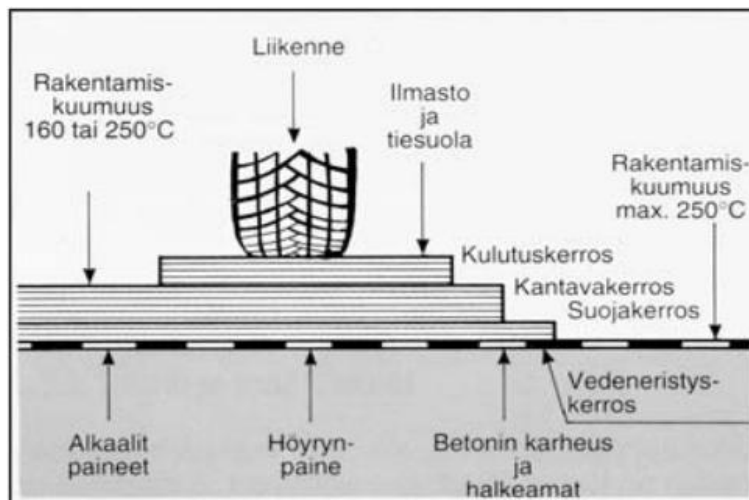
## 2 SILTOJEN VEDENERISTYKSET

### 2.1 Yleistä

Sillan vedeneriste sijaitsee kantavan laatan päällä. Vedeneristeen päälle levitetään muut kannen pintarakenteet: suojakerros, sidekerros ja kulutuskerros. Vedeneristysmateriaaleja ovat kermieristys, mastiksieristys ja nestemäisenä levitettävä eristys. Vedeneristeen on pystyttävä ominaisuuksiltaan täyttämään sille asetetut vaatimukset, joita ympäristön rasitukset sille aiheuttavat. Valmiin vedeneristeen on oltava vesitiivis ja sen tarkoitus on suojata siltakantta kosteudelta ja suolavedeltä. (SILKO 1.801 2011, 4, 5.)

### 2.2 Vedeneristeiden rasitukset

Sillan vedeneristeen ja sen saumojen on kestävä sille kohdistuvat ilmasto-olosuhteet, vedenpaineen ja liikenteen rasitukset sekä lämpötilasta ja kutistumasta aiheutuvat rakenteiden muodonmuutokset. Lisäksi eristeen on kestävä sillalla esiintyvien tiesuolojen, laimeiden happojen ja emästen vaikutuksia. (Sillan eristys 2010/1, 1.)



Kuva 1. Sillan kanteen kohdistuvat rasitukset (SILKO 1.801 2011, 4.)

#### 2.2.1 Vauriot ja korjaustarve

Vedeneristyksen uusimistarpeeseen voi olla useita syitä. Suunnittelu-, materiaali- ja työvirheet tai ajan kuluessa vedeneriste on yksinkertaisesti saavuttanut käyttöikänsä. Eristysalustan laatu ei välttämättä ole ollut ohjeiden mukainen vedeneristysten asennusvaiheessa. Kaidepylväät ovat saattaneet lävistää tai kansilaatan halkeamat rikkoa

vedeneristyksen. Sillan kuivatusjärjestelmää (viemärit, viettokaltevuudet) ei välttämättä ole, tai se ei toimi. Suolakorroosio on saattanut vaurioittaa suojabetonia ja täten vedeneristystä. (SILKO 1.801 2011, 6.)

Vedeneristysmateriaalin kunto selvitetään avaamalla pintarakenteet jyrsimällä tai piikkaamalla. Jos vauriot ovat yksittäisiä ja vähäisiä, ne paikataan, mutta usein sillan koko kuivatusjärjestelmän uusiminen tai täydentäminen on tarpeen. Siltakannen vaurioita tutkitaan sillan peruskorjauksen yhteydessä poraamalla pintarakenteista betonilieriöt vähintään kolmesta eri kohdasta, joista tutkitaan kloridipitoisuudet. Samalla tarkistetaan sillan kuivatuslaitteet, viettokaltevuudet vaaitaan ja selvitetään eristysalustan muotoilutarve. (SILKO 2.811 2006, 4.) Eristysalustan kloridipitoisuuksien perusteella määritetään piikkaussyvyys. Piikkaus suoritetaan terveeseen betoniin asti koineellisena piikkauksena, vesipiikkauksena tai tasoajyräntänä. (Jääskeläinen 2013, 14.)



Kuva 2. Merkkejä vedeneristyksen vaurioista ovat vuotavat halkeamat, kalkkipuikot ja kalkkiläiskät (SILKO 1.801 2011, 6.)

Eristysalustan kunnostamiseen johtavia syitä ovat:

1. Kansilaatan betoni on rapautunut tai betonin kosteuspuiteisuus on liian korkea.
2. Kansilaatan pinta on epätasainen, kun betoni on tiivistetty tai hierretty huonosti.



3. Eristysalustan viettokaltevuus on riittämätön, mikä ilmenee vesilätäköinä kannella.
4. Eristysalustan kloridipitoisuus on liian korkea, ja sen takia betoni rapautuu.
5. Betoniterästankoja on kansilaatan pinnassa.
6. Eristysalustassa on tartuntaa haittaavaa ainetta.  
(SILKO 1.801 2011, 10.)

### 2.2.2 Vedeneristeen kupliminen

Betonikannesta vapautuva kosteus muodostaa höyrytaskuja vedeneristeen alle, mikä ilmenee vedeneristeen kuplimisena. Syynä saattaa olla jokin betonialustan ja asfalttipäällystämisen aikana sattuneista työvirheistä. Kupliminen aiheuttaa myös yläpuolisen asfalttipäällysteen repeilemisen, jonka vuoksi kloridipitoinen vesi pääsee leviämään kannella. Vaurioista on eniten haittaa etenkin kansilaatalle ja reunapalkeille, koska ne aiheuttavat betonin rapautumista ja terästen korroosiota. Yleisintä kupliminen on kesähelteillä sekä uusilla että vanhoilla silloilla. (Iho 2012, 24, 25.)

Ratkaisuja kuplimisongelmiin ovat suojabetonin käyttö sekä erilaiset paineentasauskermit ja –putkistot. Eristysalustan on oltava kuiva, puhdas ja tarpeeksi karhea epoksin levitykselle. Kesähelteillä urakoitsijan on varmistuttava riittävästä ilmanvaihdosta tai talvella lämmityksestä sääsuojan sisällä. (Iho 2012, 24, 25.)

### 2.2.3 Sääsuojan käyttö

Uusi InfraRYL:n päivitys (2/2012) vaatii uusien- ja korjattavien siltojen eristys- ja tiivistystyöt tehtäväksi aina sääsuojan sisällä (InfraRYL 2006, Osa 3, 196). Sääsuojalla estetään eristysalustan kastuminen ja likaantuminen sekä suojataan muuta ympäristöstä aiheutuvilta haitoilta. Lämmitys sääsuojan sisällä mahdollistaa aikaistetun työkauden aloittamisen keväällä ja vastaavasti pidentää työkautta syksyllä. (Sillan peruskorjauksen nopeuttaminen 11/2008, 45.)

## 2.3 Eristysalustan laatuvaatimukset

Vedeneristystyön onnistuminen riippuu paljolti eristysalustan laadusta. Eristysalustan laatuvaatimuksissa asetetaan vaatimukset pinnan tasaisuudelle, kuivuudelle ja puhtaudelle ennen eristystyön alkamista. (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus 2009, 5.)

### 2.3.1 Betonikantiset sillat

Eristysalustan tasaisuuden mittauksessa käytetään oikolautaa. Menetelmässä mitataan pinnan pituus- tai poikkisuuntainen tasaisuus eli urasyvyys. (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus 2009, 9.) Eristysalustan kolojen paikkaus voidaan tehdä paikkaus- ja juotoslaasteilla. Liitteessä 1 esitetyt yksittäiset kolot voidaan tasoittaa tiivistepoksin ja kuivan hiekan seoksella tai polymeerisideaineisilla juotosmassoilla. (InfraRYL 2006 Osa 3, 198.)

Epoksitiivistyksen tartunnan varmistamiseksi eristysalustan pinnan tulee olla kuiva ja puhdas. Pinnasta poistetaan sementtiliima, jälkihoitoaine, liuottimet, öljy, rasva ja muut epäpuhtaudet sinko- tai hiekkapuhalluksella. Puhalluksen jälkeen pinta imuroidaan. Puhdistusaste määritellään betonipinnasta irronneena sementtiliimana siten, että paljaiden kiviainesraepintojen osuus on vähintään 25 % eristettävästä pinnasta. Jos kannen yläpinnassa on halkeamia, ne voidaan imeyttää tai injektoida epoksilla, joka on kuumuutta kestävä ja soveltuu käytettäväksi kumibitumin kanssa. (InfraRYL 2006 Osa 3, 198.)

Eristysalustan pinnan karheudella tarkoitetaan betonisen pinnan epätasaisuutta, joka mitataan lasihelmien avulla. Liian karkea pinta lisää vedeneristyksen kuplimisriskiä, ja liian sileä heikentää epoksin tartuntaa eristysalustan pintaan. (Sillan vedeneristystyömaan mittaus 2009, 11.)

Betonisen eristysalustan pintakerroksen kosteus mitataan absoluuttisena kosteutena. Kosteus heikentää vedeneristysmateriaalin tarttuvuutta eristysalustaan, mikä lisää vuotoriskejä ja suolaveden leviämistä siltakannelle. (Sillan vedeneristystyömaan mittaus 2009, 12.)

Aina ennen eristystöiden alkua pidetään vastaanottotarkastus, jossa tilaaja, pääurakoitsija ja eristysurakoitsijan edustajat toteavat eristysalustan täyttävän sille asetetut laatuvaatimukset. (InfraRYL 2006 Osa 3, 199.)

### 2.3.2 Puu- ja teräskantiset sillat

Puukansilla käytetyn lahonsuojausaineen ja eristysmateriaalien yhteensopivuus on aina varmistettava. Puisen eristysalustan tulee olla puhdas ja kuiva eristystä tehtäessä. Eristysmateriaalin mukaan puukansi suihku- tai paineilma puhdistetaan. Alustassa ei saa olla yli 2 mm korkea paikallista hammastusta. Puukansi voidaan eristää nestemäisellä eristyksellä, kermieristyksellä, mastiksieristyksellä tai ohutkerrospäällysteellä. (InfraRYL 2006 Osa 3, 200.)

Ennen eristystyötä teräskantinen silta suihkupuhdistetaan ja annetaan kuivua. Teräskansi voidaan eristää nestemäisellä eristyksellä sekä mastiksieristyksellä tai kermieristyksellä, joiden alle levitetään korroosiosuojaksi kumibitumia. Eristystöiden aikana ilman suhteellinen kosteus saa olla enintään 85 %. Eristettävän alueen pintalämpötilan tulee olla vähintään +2 °C ja +3 °C ilman kastepistelämpötilan yläpuolella. (InfraRYL 2006 Osa 3, 199, 200.)

### 2.4 Vedeneristysten laatuvaatimukset ja työmenetelmät

Kaikkien Liikenneviraston silloilla käytettävien vedeneristysmateriaalien ja vedeneristysrakenteiden tulee olla tutkittuja ja hyväksytyjä SILKO:n (sillankorjausmateriaalien) hyväksyntätutkimuksissa (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus 2009, 9.)

Jos vedeneristyksessä käytetään eri materiaaleja, eristysmateriaalin toimittajan on osoitettava ennakkoon niiden yhteensopivuus. Riippumattoman aineenkoestuslaitoksen on suoritettava testit ja osoitettava tutkimustuloksissaan materiaalien esimerkiksi bitumi- ja muovituotteiden olevan yhteensopivia. Lisäksi eristysmateriaali on valittava tarkoin, jos päällyste on suoraan kosketuksissa vedeneristysten kanssa, ettei kuuma päällystemassa vahingoita sitä. (InfraRYL 2006 Osa 3, 196, 197.)

### 2.4.1 Epoksitiivistys

Epoksitiivistys levitetään laatuvaatimukset täyttäneen eristysalustan päälle. Levitystyö tehdään aina kahdessa kerroksessa laskevaan lämpötilaan ja sääsuojan sisällä koko betonisen siltakannen alueelle uusilla ja korjattavilla silloilla, kun kannen paksuus on vähintään 400 mm. Poikkeuksena ovat kansilaatat, joissa eristyksen suojakerroksena käytetään suojabetonia, jolloin kansilaatta pohjustetaan kumibitumiliuoksella. Epoksia käytetään vähintään 1 kg/m<sup>2</sup>, ja ilman suhteellinen kosteus saa olla korkeintaan 85 % sekä eristysalustan pinnan lämpötilan on oltava vähintään +10 °C sekä +3 °C ilman kastepistelämpötilan yläpuolella. (InfraRYL 2006 Osa 3, 201, 260.) Levitettyinä epoksi tunkeutuu betonin huokosiin, lujittaa sekä tiivistää sitä ja estää betonin pinnan kuplimisen kermin ja asfaltin alla. (Sto Finexter Oy 2012).



Kuva 3. Eristysalustan päälle levitetty epoksitiivistys (Iho 2012.)

### 2.4.2 Kermieristys

Kermieristys kiinnitetään liimaamalla tai kuumentamalla. Liimauksessa käytetään kuumaa kumibitumiliuosta vähintään 1,2 kg/m<sup>2</sup>. Levityslämpötilan pitää olla +180...210 °C ja liimauserroksen mahdollisimman tasainen. Kumibitumipadan on oltava Liikenneviraston hyväksymä. Eristyskermi voidaan asentaa myös kuumentamalla tartuntapintaa monisuuttimisella nestekaasuliekillä, joka on suojattu tuulelta samalla kun kermiä painetaan tasaisesti esikäsiteltyyn eristysalustaa vasten. Molemmissa kiinnitystavoissa kermit limitetään reunoissa vähintään 100 mm ja jatkoksissa vähintään 150 mm. Saumat tiivistetään telaamalla. (SILKO 1.801 2011, 17.)



Kuva 4. Kermieristysten tekoa liimaamalla (SILKO 1.801 2011, 24.)

### 2.4.3 Mastiksieristys

Mastiksieristystä varten siltaan porataan paineentasausputket ja ne suojataan eristystyön ajaksi tulpilla. Ennen kumibitumimastiksin levitystä eristysalustalle levitetään paineentasausverkko (lasikangasverkko). Silmäkooltaan verkon tulee olla 4-8 mm ja paksuuden vähintään 0,7 mm. Paineentasausverkkoa ei levitetä 200 mm lähemmäksi eristettävän alueen reunoja. (SILKO 1.801 2011, 18.)

Kumibitumimastiksin levityslämpötilan tulee olla +180...210 °C ja määrän vähintään 55 kg/m<sup>2</sup>. Levitys tehdään yleensä kahtena ristikkäisenä kerroksena, mutta pienissä kohteissa vain yhtenä kerroksena. Eristyskerroksen kokonaispaksuuden on oltava jokaisessa kohdassa vähintään 15 mm ja enintään 30 mm. Saumat tiivistetään lämmittämällä nestekaasupolttimella ja lisäämällä kumibitumia. (SILKO 1.801 2011, 18.)



Kuva 5. Kumibitumimastiksieristysten tekoa (SILKO 1.801 2011, 1.)

#### 2.4.4 Nestemäisenä levitettävä eristys

Nestemäisinä levitettäviä eristyskiä tehdään tuotekohtaisten ohjeiden mukaisesti pienissä kohteissa ruiskuttamalla, siveltimellä tai telalla kahtena ristikkäisenä kerroksena. Eristyksen kokonaispaksuuden pitää olla keskimäärin 2,5 mm ja joka kohdassa vähintään 2,0 mm. (SILKO 1.801 2011, 19.)



Kuva 6. Nestemäisenä levitettävän eristyksen tekoa (SILKO 1.801 2011, 1.)

### 3 ERISTYSALUSTAN LAADUNVARMISTUSMITTAUKSET

#### 3.1 Eristysalustan tasaisuuden mittaaminen oikolaudalla

Oikolaudalla mitataan eristettävän alustan yksittäisiä pituus- ja poikkisuuntaisia epätasaisuuksia. Menetelmässä käytetään standardin SFS-EN 13036-7 mukaista oikolautaa, jonka pituus on 3,0 metriä. Käytännössä menetelmä on nopea, ja sitä voidaan soveltaa teillä, lentokentillä tai muilla liikennealueilla. (PANK-5102, 2001.)

##### 3.1.1 Mittauksen suoritus ja apuvälineet

Pituussuuntaisessa mittauksessa oikolautaa asetetaan tien pinnalle kohtisuoraan tien keskiviivan suuntaisesti ja poikkisuuntaisessa mittauksessa tien keskiviivaan nähden kohtisuoraan. Mitattavan pinnan ja oikolaudan mittausreunan väliin jäävä etäisyys mitataan kalibroidulla kiilalla. Kiila työnnetään kohtisuoraan päällysteen ja oikolaudan väliin, kunnes vastus tuntuu, ja luetaan korkeus kiilan kaltevalta reunalta. (PANK-5102, 2001.)

### 3.1.2 Mittaustulokset ja raja-arvot

Tutkimusselostuksessa ilmoitetaan:

- onko mittaus on tehty menetelmän PANK-5102 menetelmän mukaisesti tai mahdolliset poikkeamat siitä
- mittauksen suorituspäivämäärä ja mitattavan kohteen sijainti
- oikolaudan ja kiilan tunnistenumerot
- mittauksen tyyppi, esimerkiksi pituus- tai poikkisuuntainen epätasaisuus. (PANK-5102, 2001.)

## 3.2 Eristysalustan makrokarkeus

Eristysalustasta tutkitaan sillan kannen betonipinnan makrokarkeus keskimääräisenä syvyytenä. Makrokarkeutta tutkitaan betonin pinnasta, koska sillä arvioidaan betonipinnan ja eristyksen välistä tartuntaominaisuutta, betonin tasoitetarvetta, tiivistysepoksimenekkiä sekä pohjustusaine- tai liimausbitumimenekkiä. Lasihelmimenetelmä soveltuu myös asfalttipäällysteisille pinnoille, mutta ei huokoisille tai syväuurteisille pinnoille. (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus, 2009, 11; PANK-5103, 1997.) Makrokarkeus mitataan kolmesta kohdasta jokaiselta alkavalta 500 m<sup>2</sup> alueelta (InfraRYL Osa3 2006, 207).

### 3.2.1 Mittauksen suoritus ja apuvälineet

Eristysalustan pinnan on oltava kuiva ja puhdas ennen mittausta. Mitattava pinta puhdistetaan pölystä ja roskista ensin teräsharjalla hellävaraisesti. Jouhiharjan käyttöä suositellaan teräsharjan jälkeen betonipölyn poistamiseksi. Tuulensuojus asetetaan suojaamaan mahdollisilta ilmavirroilta lasihelmien ympärille kokeen ajaksi. (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus 2009, 11; PANK-5103, 1997.)

Menetelmässä lasihelmien tilavuus tunnetaan ja ne mitataan 25 ml:n lieriöastiaan. Lasihelmet kaadetaan eristysalustalle varovaisesti ja levitetään ympyränmuotoisilla liikkeillä mahdollisimman laajalle alueelle menetelmään soveltuvalla levitystyökälulla,

joka voidaan valmistaa kovakumisesta jääkiekosta. Lopuksi mitataan helmien muodostaman ympyränmuotoisen alueen halkaisija tasavälein neljästä eri kohdasta, ja mistä saadaan peitetyn alueen halkaisijoiden keskiarvo. Mittaustulokset kirjataan liitteeseen 3. (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus 2009, 11; PANK-5103, 1997.)



Kuva 7. Eristysalustan makrokarkeuden mittaukseen käytettävät mittausvälineet ovat metrimitta, lasihelmet, metallinen lieriöastia, kovakuminen kiekko kahvalla ja tuulensuojus (SILKO 1.801 2011, 26.)

Menetelmän apuvälineitä ovat:

1. Lasihelmiä, joista vähintään 90 massa - % läpäisee 0,25 mm verkkoseulan ja jää kaikki 0,18 seulalle. Seula ISO 565:n mukainen.
2. Mitta-astia, joka on lieriönmuotoinen metalli- tai muoviastia tilavuudeltaan 25 ml.
3. Levitystyökalu, joka on pyöreä ja tasapohjainen halkaisijaltaan 60–75 mm esimerkiksi kovakuminen jääkiekko.
4. Erilaiset harjat. Koealustan puhdistamiseen tarvitaan jäykkä teräsharja ja pehmeä jouhiharja.
5. Tuulensuojus, joka estää lasihelmien kulkeutumasta ilmavirtojen mukana.



6. Metrimitta, jolla mitataan lasihelmien muodostamat halkaisijat.
7. Vaaka, jolla lasihelmimäärä voidaan varmistukseksi punnita, jolloin käytetään täsmälleen saman painoista lasihelmiannosta kaikissa mittauksissa.

(Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus 2009, 11; PANK-5103, 1997.)

### 3.2.2 Mittaustulokset ja raja-arvot

Betonisen eristysalustan pinnan karkeuden raja-arvojen tulisi ennen eristämistä olla 0,3 – 1,2 mm. Vaatimusrajaa karkeampi betoni työstetään erityisellä tasoitteella ennen eristämistä. Liian karkea pinta lisää vedeneristyksen kuplimisriskiä. Eristysalustan pinnan ollessa liian sileä se voidaan karhentaa sinko- tai hiekkapuhalluksella. Liian sileä pinta heikentää tartuntaa. (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus 2009, 12; PANK-5103, 1997.)

Mittalieriön tilavuuden ollessa 25 ml makrokarkeus lasketaan kaavasta:

$$\text{Markrokarkeus [mm]} = \frac{31830}{D^2}$$

jossa D = peitetyn alueen halkaisijan keskiarvo [mm].

Tutkimusselostuksessa ilmoitetaan:

- mittauksen suorittamisesta PANK-5103 menetelmän mukaisesti
- ilmoitukset mahdollisista poikkeamista menetelmäkuvauksen mukaisesta koejärjestelystä
- mittauspaikkojen sijainti ja tunnistetiedot
- kokeen suorituspäivämäärä
- jokaisessa kokeessa käytetty lasihelmimäärä

- testimittausten lukumäärä
- jokaisen lasihelmillä peitetyn alueen keskimääräinen halkaisija
- kussakin kokeessa mitattu makrokarkeus [mm]
- lopuksi koko tutkitun alueen keskimääräinen makrokarkeus [mm].  
(Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus 2009, 11; PANK-5103, 1997.)

### 3.3 Betonin absoluuttisen kosteuden tutkiminen

Menetelmän tarkoituksena on selvittää betonisen siltakannen pintakerroksen absoluuttinen kosteus. Koemenetelmä toteutetaan kuivatus-punnitus periaatteella, joka on kostean ja kuivatun betonin punnitustuloksien vertaileminen. Kosteus ilmoitetaan painoprosentteina kuivapainosta. (VTT 2650–2013.)

Kesällä 2013 julkaistun VTT:n määräyksen mukaan absoluuttisen kosteuden määrittämistä varten tulee betonisella siltakannella kuivaporata 30 mm:n syvyyteen. Yhden betonilieriönäytteen koon tulee olla noin 150 g. (VTT 2650–2013.) Näytepalat otetaan vähintään aina kolmesta kohdasta. Jos kannen pinta-ala on yli 500 m<sup>2</sup>, otetaan aina yksi lisänäyte jokaista alkavaa 500 m<sup>2</sup>:ä kohti. (Sillan eristys 2010/1, 7.)

#### 3.3.1 Mittauksen suoritus ja apuvälineet

Näytteet kuivaporataan kohdista, joissa betonin kosteus on todennäköisesti suurin siltakannella. Näitä kohtia ovat esimerkiksi reunapalkin vierustat tai kourumaiset taitteet (VTT 2650–2013).

Kuivaporauksen jälkeen näyte irrotetaan kiilan sekä vasaran avulla. Näytteenottokohdat ja näytteiden tunnistetiedot merkitään. Näytteenottoreiät paikataan ja näytepalat pakataan ilmatiiviisti kuljetuksen ajaksi. (VTT 2650–2013.)

Betonipeitemittarilla voidaan ennen porausta tutkia raudoituksen sijainti. Näyte voidaan rikkoa lyömällä kuitenkin, jos se sisältää rautaa (VTT 2650–2013). Näytepala tulisi rikkoa vasta hieman ennen sen laittamista lämpökaappiin, jotta se ei ehdi kerätä kosteutta ympäröivästä ilmasta.

Menetelmän apuvälineitä ovat:

1. Laboratoriovaaka, jossa 0,1 g:n punnitustarkkuus.
2. Lämpökaappi, jossa on oltava ilmanvaihto ja lämpötilan mittaustarkkuus enintään 2 °C.
3. Betonipeitemittari, jolla havaitaan raudoituksen sijainti ennen poraustyön aloittamista.
4. Timanttipora, johon kiinnitetään halkaisijaltaan 80 mm:n terä.
5. Irrotuskiiloja ja vasara porattujen betonilieriöiden irrottamiseen.
6. Ilmatiiviä näytepusseja (minigrip-pussit), joihin kirjoitetaan kyseisen näytteen tunnistetiedot ja väliaikaisesti säilötään näyte.
7. Näytteenottajalla henkilökohtainen rakennustyömaan suojavarustus.
8. Metrimitta, jolla mitataan näytteenottoaikkojen sijainnit näytteenottokarttaa varten.
9. Näytteenottoreikien paikkaustarvikkeet.  
(VTT 2650 – 2013.)

### 3.3.2 Mittaustulokset ja raja-arvot

Lämpökaapissa näytteet kuivataan 105 °C:ssa ( $\pm 2$  °C). Kuivausaikana näytteet punnitaan kerran päivässä, kunnes peräkkäisinä punnituksina todetaan, ettei näytteen paino enää muutu. Lämpökaapit ja laboratoriovaa'at on kalibroitava säännöllisesti. (VTT 2650 – 2013.)



Kuva 8. Absoluuttisen kosteuden tutkimiseen tarvittavat laboratoriovälineet ovat lämpökaappi, laboratoriovaaka ja keraaminen astia betoninäytteelle (Valokuva Petri Virolainen 2013.)

Absoluuttinen kosteus lasketaan massaprosentteina kuivan näytteen massasta kaavalla:

$$\text{Kosteus} = (m - \%) = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$$

$m_1$  = näytteen massa ennen kuivausta ja

$m_2$  = näytteen massa kuivauksen jälkeen

Taulukko 1. Eristysalustan suurin sallittu kosteus ennen eristystöiden aloitusta (Siltöjen korjaus SILKO 1.801 2011, 9.)

<b>Materiaali</b>	<b>Eristysalustan suurin sallittu kosteus</b>
Kauttaaltaan kiinnitetty kermi, nestemäisenä levitettävä eristys tai epoksitiivistys	5,0
Paineentasauskermi tai kumibitumimastiksi	6,0

Tutkimusselostuksessa ilmoitetaan:

- tien numero, työmaan nimi, sillan nimi, tiepiiri, kunta
- työn tilaaja, tilausnumero, tilauspäivämäärä
- näytteenottopäivämäärä
- näytteenottokohdat
- näytteiden irrotustapa
- näytteiden koko
- näytteenottoreikien paikkausmateriaali ja -päivä
- koemenetelmä
- lämpökaapin kuivatuslämpötila ja -aika
- punnitustulokset (g), yhden desimaalin tarkkuudella
- näytteen absoluuttinen kosteus (p- %), yhden desimaalin tarkkuudella (VTT 2650 – 2013.)

## 4 ERISTYKSIEN LAADUNVARMISTUSMITTAUKSET

### 4.1 Tartuntalujuuden mittaus

Kokeen tarkoituksena on mitata tartuntalujuutta, jolla eristyskerros on alustassaan kiinni irtoamatta. Tartuntavetokoe tehdään kermieristyksille, tiivistysepoksille tai nestemäisinä levitettäville eristyksille. (VTT 2651 – 2001.) Tartuntavetokoe mitataan kolmesta eri kohtaa jokaiselta alkavalta 1000 m<sup>2</sup>:n alueelta (InfraRYL 2006 Osa 3, 207).

Huonosti eristysalustansa kiinnittynyt eriste saattaa aiheuttaa laaja-alaisia vaurioita sillan kannelle ja raudoitukselle, sillä kansi ei ole enää vesitiivis. (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus 2009, 14). Mittauksia tulisi tehdä aina sillan kannen kohdista, joissa eristysalustan kosteudet ovat suurimmat, esimerkiksi reunapalkin vierustoilta tai kourumaisista taitteista. (VTT 2651 – 2001).

#### 4.1.1 Mittauksen suoritus ja apuvälineet

Nestemäisenä levitetyn eristyksen tai epoksin vetoalueen reunat kuivaporataan ennen liimausta reikäsahalla tai timanttikoralla. Sahatessa käytetään ohjainta, jotta saadaan kohtisuora ja pistomainen sahausjälki. (VTT 2651 – 2001.) Porauksen on mentävä eristyskerroksen läpi betoniin. Kermivedoissa liiman kuivumisen jälkeen vetolaikan ympärille leikataan koukkumaisella mattoveitsellä vetolaikan reunoja mukailleen 3-5 mm leveä ura (VTT 2651 – 2001).

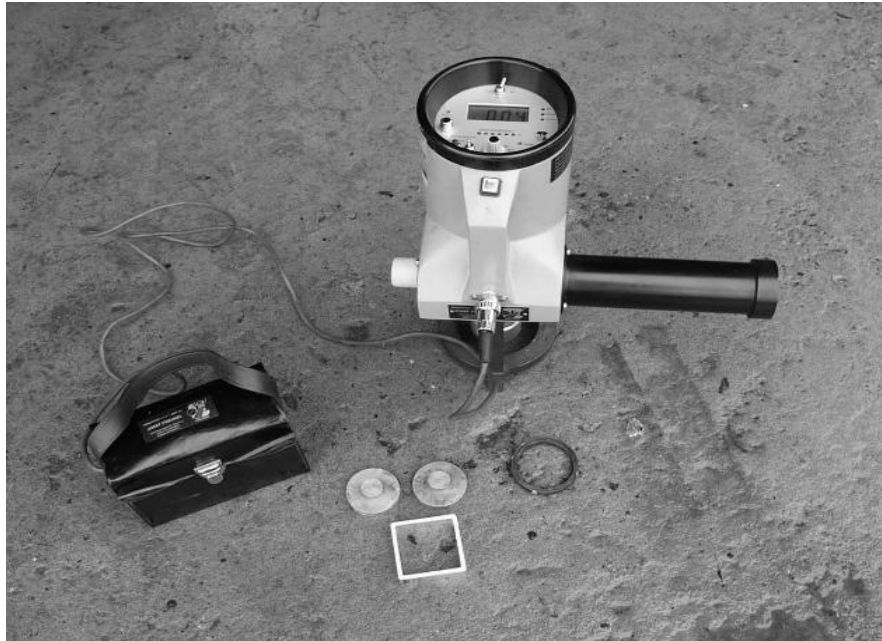
Vedettävän eristyksen pinta puhdistetaan ennen liimausta pölystä ja roskista. Epoksin pinta pyyhittään liuottimella ja kankaalla, jos liiman käyttöohjeessa näin kehoitetaan. (VTT 2651 – 2001.)

Ylimääräinen vetolaikkojen alta pursunut tuore liima on pyyhittävä aina pois, koska se tarttuu suuremmalle pinta-alalle ja voi vääristää vetotuloksen. Liiman kovettumisaika riippuu eristyksen pintalämpötilasta. Kovettumista voidaan nopeuttaa lämmittämällä vetolaikkoja tai liimauskohtia kuumailmapuhaltimella. (VTT 2651 – 2001.)

Tartuntavetokokeen aikana vetovoimaa lisätään tasaisesti nopeudella 0,15 MPa/s. Vetolaikan irtoamisen ja siihen syntyneen reiän kautta mitataan kermieristyksen alustan pintalämpötila, joka tulee vetohetkellä olla +5...+25 °C. Lämpötila mitataan esimerkiksi digitaalisella laserlämpömittarilla. Epoksin vedoissa alustan pintalämpötilaa ei tarvitse mitata. (VTT 2651 – 2001.)

Vetolaitteista halvimmat ovat käsikäyttöisiä. Eristykseen kohdistuvaa kuormitusta saadaan nostettua tasaisesti kiertämällä käsin kampea tai kuormitusruuvia, koska käsikäyttöisten vetolaitteiden antama tulos ei kuitenkaan ole riittävän tarkka valmiiden eristeiden kelpoisuuskokeiden tekemiseen, ne soveltuvat vain eristystyöntekijän oman työn laadunohjaukseen. (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus 2009, 15.)

Pienillä alle 100 m<sup>2</sup>:n silloilla kermieristykseen käsin tehtävä vetokoe on korvannut tartuntavetolaitteella tehtävän kokeen. Menetelmässä koputellaan ensin eristyksen pintaa puu- tai metallitangolla. Koputusäänen perusteella voidaan erottaa heikoimmat tartunnat. Kermin läpi alustaan tehdään mattoveitsellä 30x200 mm<sup>2</sup>:n alueelle viillot. Kaistan molemmista päistä otetaan kiinni ja vedetään käsin kohtisuoraan siltakannta vastaan. Kermieristyksen eristysalustan pintalämpötila mitataan myös tässä menetelmässä. (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus 2009, 15.)



Kuva 9. Tartuntavetolaite, akku, vetolaikkoja ja kermieristyksen reunojen leikkausohjaimia (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus 2009, 16.)

Tartuntavetokokeiden jälkeen syntyneet reiät paikataan. Paikkaustyön tekijästä on sovitettava tilaajan kanssa, jos mittajana on ollut ulkopuolinen konsultti. Epoksin reiät paikataan tiivistysepoksilla. Nestemäisenä levitettävien eristysten ja ohutkerrospäällysteiden paikkaukseen tulee käyttää siihen soveltuvaa paikkausmassaa. Kermieristys paikataan hitsaamalla tai liimaamalla koestuskohtiin kermipaikat. (VTT 2651 – 2001.)

Menetelmän apuvälineitä ovat:

1. Vetolaite, jonka maksimivetovoima on vähintään 2 kN. Lisäksi kuormituksen nopeuden oltava vedon aikana 0,15 MPa/s ja mittaustarkkuuden  $\pm 2 \%$ .
2. Vetolaikat, jotka valitaan tutkittavan eristyskerroksen materiaalin mukaan. Kermille käytetään pyöreätä vetolaikkaa halkaisijaltaan 50 mm tai neliön-

muotoista, jossa sivunpituus on 44 tai 50 mm. Massaeristyksille ja ohutkerrospäällysteelle on olemassa lisäksi 28 mm:n vetolaikat. Epoksin tartunta-vedoissa käytetään halkaisijaltaan 20 mm:n tai 28 mm:n vetolaikkoja.

3. Liima, jolla vetolaikat liimataan eristyskerrokseen valitaan liimauspintojen, liimauslämpötilan ja kovettumisajan perusteella.
4. Karhennus- ja puhdistusväline, johon soveltuu santapaperi tai tiheäpiikkinen teräsharja. Nestemäisenä levitettävän eristyksen pinta karhennetaan tarvittaessa.
5. Mattoveitset, joissa on koukkumainen ja suora terä.
6. Pintalämpötilamittari.
7. Kuumailmapuhallin.
8. Näytteenottoreikien paikkausvälineet paikattavan materiaalin mukaan.  
(VTT 2651 – 2001.)

#### 4.1.2 Mittaustulokset ja raja-arvot

Jokaisen yksittäisen vedon jälkeen kirjataan, irtoaako tartunta betonia murtaen eristyksen ja vetolaipan välisestä liimasaumasta vai eristyksen ja eristysalustan rajapinnasta. Jos irtoamispinta koostuu kahdesta eri materiaalista, merkitään niiden irtoamispinnan pinta-ala prosentteina, esimerkiksi eristys 75 % ja betoni 25 %. (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus 2009, 17.)

Epoksin tartuntalujuudelle eristysalustaan on asetettu vaatimus, joka on jokaisessa kohdassa vähintään 1,0 N/mm<sup>2</sup> ja keskimäärin 1,5 N/mm<sup>2</sup>. Nestemäisinä levitettävillä eristyksillä vaatimus on keskimäärin  $\geq 1,2$  N/mm<sup>2</sup> ja joka kohdassa  $\geq 1,0$  N/mm<sup>2</sup>. Mittaustulokset kirjataan liitteeseen 4. Kermieristysten tartuntalujuus vaatimus todetaan eristysalustan pintalämpötilan perusteella, mikä esitetään liitteessä 5. (Sillan eristys 2010/1, 9, 11, 14.)



Huonoon tartuntavetolujuustulokseen voi olla useita syitä. Eristystyön aikana on saatettu tehdä työvirheitä, olosuhteet työlle ovat olleet huonot tai tartuntavetokokeessa irtoamisen rajapinta on muu kuin eritysalustan ja eristyksen rajapinta. (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus 2009, 17, 18.)

Tutkimusselostuksessa ilmoitetaan:

- mittauskohteen tiedot (esimerkiksi tienumero, työmaan nimi, sillan nimi, tiepiiri, kunta)
- mittauksen tilaaja, tilausnumero, tilauspäivämäärä
- eristysurakoitsijan yhteystiedot
- eristyksen rakennetyyppi
- tutkimusmenetelmä ja ajankohta
- sääolosuhteet mittaushetkellä
- yksittäiset vetotulokset
  - tartuntalujuus (N/mm<sup>2</sup>) ja irtoamispinta
  - eristysalustan pintalämpötila (kermivedot)
  - mittausajankohta
- mahdolliset poikkeamat koemenettelyssä
- vetoreikien paikkaukseen materiaali
- tutkimuksen vastuhenkilö.  
(VTT 2651 – 2001.)

## 4.2 Vesitiiviyyden mittaaminen

Menetelmässä mitataan betonin päälle levitetyn nestemäisen vedeneristyskerroksen tai tiivistysepoxsin paksuus- ja vesitiiviysvaatimuksen täyttyminen. Vesitiiveyttä arvioidaan matala- ja korkeajännitemenetelmillä. Vesitiiveyttä heikentävät eristyskerroksen vuotokohdat ja ohut kerrospaksuus. (VTT-S-05050-09, 2013.)

### 4.2.1 Matalajännitemenetelmä

Matalajännitemenetelmässä epoxsin läpi betoniin porataan halkaisijaltaan 8-10 mm reikä. Suodatinkangas kastellaan testinesteellä, jonka päälle asetetaan kuparilevy. Yhdessä ne laitetaan 30 cm:n etäisyydelle poratusta reiästä, ja niiden välisen alueen on oltava kuiva. Porareikään tiputetaan hieman testinestettä. Toinen piikkimäinen elektrodi kytketään porattuun reikään ja toinen kuparilevyn päälle. Suljettuun virtapiiriin johdetaan virtaa 500 V:n jännitteellä. Luetaan mittauslaitteesta elektrodien välinen sähkövastus. Mittauskohdiksi valitaan alueet, jotka silmämääräisesti epoksissa näyttävät ohuimmilta. Mittaustyön aikana mittaja ei saa missään tapauksessa koskettaa yhtä aikaa elektrodipiikkien metalliosia eikä mitattavalla pinnalla saa olla kosteutta. (VTT 2654–2001.)



Kuva 10. Tiivistysepoxsin eristysvastuksen mittaus matalajännitemenetelmällä (Siltojen korjaus SILKO 1.801 2011, 26.)

Valmis epoksi on riittävän tiivis, jos vähintään 95 % mittaustuloksista ylittää 500 M $\Omega$  ja loput tulokset täyttävät vähimmäisvaatimuksen 10 M $\Omega$ . Tehdyt reiät paikataan aina samasta epoksista ja kvartsihiekasta sekoitetulla massalla. (VTT 2654–2001.)

#### 4.2.2 Korkeajännitemenetelmä

Korkeajännitemenetelmässä valitaan mittausjännite koealueen avulla tai ilman. Mittauksen aikana epoksitiivistyksen tulee olla kuiva ja saavuttanut riittävän lujuuden ennen vesitiiviysmittausta.

Mittauksessa käytetään mittalaitetta, jota kutsutaan ”kipinäharavaksi”. Kipinäharavalla paikannetaan eristyksen ohuimpia ja huokoisia kohtia, reikiä, kuplia sekä halkeamia. Nestemäisenä levitetyn tai epoksitiivistyksen vesitiiveyttä heikentävät eristyskerroksen vuotokohtat. Kipinäharavan läpilyöntijännite tarkoittaa ”matalinta sähköjännitettä, jossa mittauslaitteen anturista kulkeutuu sähkövirta betonin päälle levitetyn pinnoitteen läpi ja edelleen pinnoitteen betonialustaan kytkettyyn maadoituselektrodiin”. Läpilyöntiin vaikuttaa myös betonin ominaisuudet, raudoitus sekä betonin ja ilman kosteus. (VTT-S-05050-09, 2013.)

##### 4.2.2.1 Mittausjännitteen valinta koealueen avulla

Kalibrointikoealue valitaan samalta siltakannelta, jolla mittaus on tarkoitus tehdä. Alueen on oltava ehjä ja hyvälaatuinen, ja sen pinta-alan on oltava vähintään 1-2 m<sup>2</sup>. Koealueelle levitetään ensimmäinen kerros epoksia ja tartuntasirote. Toinen kerros epoksia levittää telalla siten, että pinnoitekerros paksunee kiilamaisesti. ”Kiilamaisen paksuuden vuoksi matalajännitemenetelmän avulla pystytään paikallistamaan kalibrointikohta, jonka eristysvastus on vaihteluvälillä 500–1000 M $\Omega$ ”. Onnistunut kalibrointikohta merkitään koealueen epoksin pintaan tussilla. Kalibrointikohdasta määritetään korkeajännitemenetelmällä kipinäharavan läpilyöntivastus.

”Jos matalajännitemenetelmällä mitattu eristysvastus on välillä 500 – 800 M $\Omega$ , valitaan korkeajännitemenetelmässä käytettäväksi kipinäharavan mittausjännitteeksi kalibrointikohdassa todettu läpilyöntijännite. Jos kalibrointikohdassa eristysvastus on vaihteluvälillä 801 – 1000 M $\Omega$ , valitaan korkeajännitemenetelmässä käytettäväksi kipinäharavan mittausjännitteeksi kalibrointikohdassa todettu korkeajännitemenetelmän mukainen läpilyöntijännite, josta on ensin vähennetty 200–300 V”. Jos matalajänni-

temenetelmällä mitattu eristysvastus on suurempi kuin 1000 M $\Omega$  koealueen jokaisessa kohdassa, kalibrointia ei voida suorittaa. Tällöin kalibrointi suoritetaan ilman koealuetta. (VTT-S-05050-09, 2013.)



Kuva 11. Kalibrointikohdassa käytetään kapeaa harjamaista kipinäanturia (Iho 2012, 21.)

Nestemäisenä levitetyn eristeen vesitiiviyyden ja paksuuden testauksessa mittausjännite valitaan korkeajännitemenetelmällä tekemällä ensin koealue, jonka eristyksen paksuus on vähimmäispaksuusvaatimuksen mukainen. Vähimmäispaksuusvaatimus nestemäisinä levitettävälle eristykselle on keskimäärin vähintään 2,5 mm ja joka kohdassa vähintään 2,0 mm. Tehdystä koealueesta mitataan ensin läpilyöntijännite kipinäharavalla ja tämän jälkeen käytetään sillan kannen alueella mittausjännitteenä kipinäharavan läpilyöntijännitettä, josta ensin on vähennetty 300 – 500 V. Eristyskerroksen paksuus voidaan mitata silta kannesta irrotetusta eristysnäytepalasta työntömitan avulla. (VTT-S-05050-09, 2013.)

#### 4.2.2.2 Mittausjännitteen valinta ilman koealuetta

Valmiin epoksin pinnasta yritetään löytää silmämääräisesti kerrospaksuuseroja. Valituista kohdista mitataan matalajännitemenetelmän mukainen eristysvastus, jonka on oltava 500–1 000 M $\Omega$ . Tämä kohta valitaan kipinäharavan mittausjännitteen kalibrointikohdaksi. (VTT-S-05050-09, 2013.)

Jos ohuimmalta näyttävästä kohdasta eristysvastus on yli 1 000 M $\Omega$ , etsitään kohdan läheltä epoksista reikä ja mitataan ilmavälin läpilyöntijännite kipinäharavalla kyseisen reiän kohdalla. Valitaan läpilyöntijännite epoksin mittaussännitteeksi tällä sillalla. Läpilyöntijännite reiän kohdalla on tyypillisesti 2-3 kV. (VTT-S-05050-09, 2013.)

Jos matalajännitemenetelmän mukaan läpilyöntijännite on yli 2 000 M $\Omega$  eikä reikiä löydy, mitataan kohdan läpilyöntijännite korkeajännitemenetelmällä. Läpilyöntijännitteestä vähennetään tämän jälkeen 1 kV ja valitaan saatu arvo kipinäharavan mittaussännitteeksi. (VTT-S-05050-09, 2013.)

#### 4.2.2.3 Kipinäharavointi

Ennen kipinäharavoinnin aloittamista käydään epoksilla tiivistetty siltakansi silmämääräisesti läpi mahdollisten vuotokohtien varalta. Vuotokohdat ympyröidään tussilla epoksiin. Kipinäharavaa liikutetaan vedeneristeen pinnalla nopeudella 15 m/min, joka tarkoittaa pinta-alana 200–300 m<sup>2</sup>/h, jos käytössä on 0,5 m leveä harja. Mittalaite antaa merkkiäänäen läpilyöntikohdissa, jotka myös merkitään tussilla epoksiin. (VTT-S-05050-09, 2013.)



Kuva 12. Kipinäharava (Kokkarinen 2012, 59.)

Kipinäharavan maadoituskaapeli on aina kytkettävä rakenneseosaan, jolla on sähköä johtava kontakti sillan betonikanteen. Rakenneseosa voi olla esimerkiksi sillan metallinen kaide. Kipinäharavan käyttäjällä täytyy olla jalassaan aina turvakengät korkean

jännitteen vuoksi. Käyttäjällä ei saa olla sydämentahdistinta eikä sydänvikaa, ja siltakannen on oltava kuiva. Mittauksessa syntyvät kipinät voivat aiheuttaa paloturvallisuusriskejä. (VTT-S-05050-09, 2013.)

Menetelmän apuvälineitä ovat:

1. Sähkövastuksen mittauslaite, jonka mittausjännite on säädettävissä eristysmateriaalin mukaan.
2. Maadoituskaapeli.
3. Eri levyisiä mittausantureita, joissa on metalliharjaksia ja varsi.
4. Epoksitiivistyksen mittausjännitteen valinnassa tarvitaan matalajännitemenetelmän mukaiset mittauslaitteet ja tarvikkeet.  
(VTT-S-05050-09, 2013.)

#### 4.2.3 Vesitiiveyden arvostelu

Korkeajännitemenetelmällä mitatulle epoksitiivistyksen läpilyöntijännitteelle ei ole asetettu minimivaatimusta. Siltakannen kohdat, joissa läpilyöntijännite on alhaisempi kuin valittu mittausjännite, eivät täytä InfraRYL:n vesitiiviysvaatimuksia. (VTT-S-05050-09, 2013.)

Nestemäisinä levitettävillä eristyksillä ne siltakannen kohdat, joissa läpilyöntijännite on alhaisempi kuin valittu mittausjännite ja näytepala on ohuempi kuin kerroksen minimipaksuus, eivät täytä InfraRYL:n mukaista eristyksen minimipaksuusvaatimuksia. (VTT-S-05050-09, 2013.)

Tutkimusselostuksessa ilmoitetaan:

- tien numero, työmaan nimi, sillan nimi, ELY-keskus, kunta
- mittauksen tilaaja, tilausnumero, tilauspäivämäärä
- mittauksen suorittajan yhteystiedot, yrityksen nimi

- eristyksien levityspäivämäärät
- kipinäharavamittauksen päivämäärä
- tutkitun materiaalin tuotemerkki
- koemenetelmän numero
- onko mittaus tehty sääsuojassa
- korkeajännitemittauksissa käytetyn laitteen merkki ja malli
- harjamaisen mittauselektrodin leveys
- maadoituselektrodin kiinnitystapa siltakanteen
- korkeajännitemenetelmällä mitatun alueen laajuus ja sijainti kannella
- mittausjännite ja sen valintamenettely
- korkeajännitemenetelmän mittausjännite ja valintatapa
- korkea- ja matalajännitemenetelmien vertailumittauksien tulokset
- korkeajännitemittauksessa kipinäharavan läpilyöntikohdat ja niiden sijainti
- nestemäisenä levitetyn eristyksen paksuusvaatimuksen alituskohdat ja niiden sijainti
- mahdolliset poikkeamat menetelmäkuvauksen (VTT-S-05050-09) mukaisesta koemenettelystä.  
(VTT-S-05050-09, 2013.)

## 5 HAASTATTELUJEN TOTEUTUS JA KYSYMYSTEN ANALYSOINTI

Tässä opinnäytetyössä käytettiin haastattelumenetelmää, jossa kaikille haastateltaville esitettiin likipitään samat kysymykset samassa järjestyksessä. Kysymyksistä osa oli

melko tarkkoja tietyistä teemoista, jotka ovat ajankohtaisia. Osa kysymyksistä jätettiin avoimiksi, koska haluttiin saada esille vastaajien mielipiteitä. Haastattelukysymykset toimitettiin vastaajille sähköpostitse. Vastaajiksi pyydettiin henkilöitä, jotka ovat tekemisissä siltojen laadunvarmistusmittausten kanssa. Näin vastauksiin saatiin näkökulmaa erityisesti laadunvarmistuksen puolelta. Lisäksi haastattelun vastaajissa oli siltaurakoitsijoiden työmaapäälliköitä, joilla on käytännönläheistä kokemusta erityisesti siltojen vedeneristystöistä ja laadunvarmistuksesta.

Haastatteluilla haluttiin selvittää, millaisia ongelmia siltojen vedeneristemateriaaleissa ja laadunvarmistuspuolessa on. Lisäksi haastatteluilla pyrittiin löytämään kehitysideoita siltojen vedeneristystöiden laadunvarmistamisen parantamiseksi. Yksi lähtökohta haastatteluille oli myös, että ongelmista puhutaan paljon, mutta ne eivät johda konkreettisiin toimenpiteisiin. Haastattelukysymykset on esitetty liitteessä 6.

Haastateltaville kerrottiin, että vastaukset käsitellään anonyymeinä. Kysymykset laadittiin opinnäytetyön aikana esiin tulleiden ideoiden ja opinnäytetyön tekijän työkokemusten perusteella.

Koska kysymykset liittyivät asiayhteydessä toisiinsa, oli saaduista vastauksista selkeintä tehdä kappaleita alaotsikoin. Kaikelle edellä kirjatulle tiedolle ei voida määrittää lähdettä, koska osa tekstistä on siltatyömaiden ”hiljaista tietoa”.

## 6 TULOKSET

### 6.1 Laadunvarmistusmittaukset – asenteissa ongelmia?

Liian usein työmaan aikataulut ja tulospaineet ajavat laadun edelle. Koska urakoitsija on vastuussa oman työnsä laadusta ja laadunvarmistuksesta, laadunalitukset voidaan jättää merkkäämatta tai pahimmassa tapauksessa tuloksia voidaan muunnella. Mittauskohtien valintaan voidaan vaikuttaa ratkaisevasti. Mittauksia otetaan kohdista, joista saadaan todennäköisemmin vaatimukset täyttävä tulos. Esimerkiksi kosteuspalat porataan sieltä, mistä pintakosteusmittarilla on ensin mitattu alhaisimmat kosteudet. Vastuu virheistä sysätään seuraavalle urakoitsijalle.

Joillakin urakoitsijoilla ei ole edes käytössään vaatimuksen mukaista mittausvälineistöä, jolloin mittauksesta ei saada luotettavaa tulosta. Esimerkkinä ovat mekaaniset ve-



tolaitteet, joissa kampea kääntämällä saadaan vetonopeutta muutettua. Uusimmat vetolaitteet määrittävät automaattisesti vetolaikan mukaan tasaisen vetonopeuden, joten tulos on tarkempi eikä ole tekijään sidoksissa. Yhtenä ongelmista on se, että vedot otetaan paikoista, joissa epoksi näyttää silmämääräisesti parhaalta. Jos yksittäinen sallittu raja-arvon alittava tulos sattuu tulemaan, otetaan uusi veto vierekkäisestä kohdasta, mistä hyvä tulos aikaisemmin saatiin. Näin myös pystytään jättämään huonot tulokset merkkeämättä. Tämä onnistuu helposti, sillä nykyiset vetolaitteet tai mitkään muutkaan laadunvarmistuslaitteet eivät tallenna mittaustulosta. Siksi vedon mittaajalla tulisi olla käytössään digikamera, jolla otettaisiin kuva niin mittaustuloksesta kuin vedettävästä pinnasta. Yksi kehitysidea haastatteluiden mukaan olisikin vetolaite, joka tallentaisi tuloksen ja päivämäärän heti mittauksen jälkeen. Tulosten automaattinen tallennus hyödyttäisi työmaan kaikkia osapuolia erityisesti ongelmatilanteissa, joissa dokumentteja tarvitaan.

Haastattelun vastaajien mukaan nykyiset menetelmät ja määräykset ovat toimivia kiipinäharavaa lukuun ottamatta, mutta eroja mittaajien välillä voi tulla mittaustekniikan ja valitun mittauskohdan mukaan hyvinkin paljon. Urakoitsijoiden tulisi aina konsultoida ulkopuolista yritystä laadunvarmistusmittauksien suorittamiseen. Yksi ratkaisu vastaajien mukaan voisi olla pätevyyskurssin suorittaneet laadunvarmistajat. Samalla määrättäisiin pakolliseksi ulkopuolisen puolueettoman konsultin käyttö. Näin kaikilla olisi samat, selvemmat pelisäännöt.

## 6.2 Epoksin haasteet

Työhön saatiin yhdeltä haastatelluista kattava vastaus epoksin haittapuolista ja kehitysideoista.

”Epoksilla tehty tiivistyskerros tulisi korvata paremmilla materiaaleilla. Epoksille ominaista on huono elastisuus, jolloin se halkeilee kannen eläessä kuivumisen, liikennekuorman tai epätasalaatuisen betonimassan vaikutuksesta. Ongelmiin pitäisi hakea ratkaisua ainevalmistajien puolelta. Aineentoimittajien tulisi selvittää tai tarjota tuotteita, joiden halkeamien silloituskykyä on paranneltu ylimääräisen loppulujuuden kustannuksella. Nykyisillä epokseilla ei ole halkeamia silloittavaa kykyä, joten epoksitiivistys halkeaa kannen mukana. Tiivistyskerroksen paksuudella ei ole merkitystä tässä asiassa. Nestemäisten eristeiden etuna on, että ne ovat hyvin elastisia. Niiden ongel-

mana on kuitenkin tyypillisimmin ollut huonoista olosuhteista johtuneet tartunta ongelmat sekä asfalttipäällysteen huono tartunta. Yleisesti nestemäisten eristeiden kanssa suositellaan käytettäväksi valuasfalttia. Toisaalta nestemäisten eristeiden käyttöä on rajoitettu tietoisesti kermikulttuurin suosimiseksi”.

Yleensä hyvälaatuisen epoksin tartuntalujuuden tulos on 2,0–3,5 N/mm<sup>2</sup> eli hyvinkin paljon yli vaaditun 1,5 N/mm<sup>2</sup> raja-arvon. Vastajaan mukaan nykyisen arvon pitäisi olla riittävä tartuntalujuuden arvo kannesta nousevaa vesihöyryä vastaan, jotta silloituskyvyn parantaminen mahdollistuisi. ”Sillan vedeneristyksissä pitäisi suosia toimintavarmempia kuplimattomia rakenteita, esimerkiksi suojabetonia kermieristyksen päällä. Urakoitsijat vaihtavat työmaalla aina epoksitiivistetyn kannen suojabetonilliseen, jos vaihto on vain mahdollista. Suojabetonin käyttö kiellettiin aikoinaan 80-luvulla, kun hyvin lyhyen aikavälin sisällä useat uudet suojabetonoidut kannet murentuivat päällysteen alla. Kyseinen ilmiö liittyi ennemminkin huonoon betonin silloiseen suhteutukseen, kuin rakenteen toimimattomuuteen. Betonitekniikka on kehittynyt paljon ja nykyään voidaan valmistaa erittäin tiiviitä ja klorideja kestäviä betonilaatuja, jolloin betonin rapautuminenkaan ei ole enää ongelma. Olen itse ollut avaamassa vanhoja 50–60 luvun siltoja, joissa suojabetonoitu kansi on ollut moitteettomassa kunnossa”.

Haastatellun mukaan eristys- ja tiivistysurakoitsijoiden suurin riski on joutua maksu-miehiksi pintarakenteen kupliessa. ”Epoksin tiiveyttä mitataan silloin, kun silta on vielä työn alla ja epoksi laadukkaimmillaan. Liikennekuormien tullessa sillalle kasvavat halkeamariskitkin. Eräs kuplimiseen kyllästynyt eristäjä joutui maksamaan kuplineita siltakansia omasta pussistaan ja osti mikroskooppikameran. Kuvauksissa lähestulkoon ainoa kuplimisen syy oli haljennut epoksitiivistys”. Eristysurakoitsija ei vastaa kuplimisen aiheuttamista vaurioista, jos se ei johdu selvästä työvirheestä. Epoksitiivistys vain on erittäin altis työvirheille. Epoksia parempia tiivistysmateriaaleja ollaan vastajaan mukaan jo kehittämässä. Toivon mukaan uusien tiivistysepoksin myötä kosteampien eristysalustojen käsittely näin mahdollistuu.

### 6.3 Kipinäharavoinnin ongelmat

Kipinäharava jakoi haastateltujen mielipiteet. Yksi vastaajista totesi kipinäharavan olevan ”tehokas mittausväline”. Muut vastaajista sanoivat sen olevan ”turha laite”. Yhtä mieltä oltiin, että käyttäjän tulee olla hyvin perehtynyt niin kipinäharavan turval-

lisuusseikkoihin kuin itse mittauksen oikeanlaiseen suorittamiseen. ”Väärinkäyttö voi vaurioittaa epoksitiivistystä tai jopa mittalaitteen käyttäjää. Käytettävän vedeneristeen materiaalista riippuen tulee aina varmistaa oikea mittaajännite, jotta eristemateriaalia ei turhaan rikota liian suuren sähkövirran avulla. Mittaajien tulisi käyttää korkeajännitemittalaitetta, joka läpilyöntikohdissa alentaa itse jännitteen eikä käytä säädettyä maksimi jännitettä, jos alusta on syystä tai toisesta huono”.

”Kipinäharavoinnin olosuhde vaatimukset tulee myös huomioida ennen mittausta, jotta vältetään turhia mittausrvirheitä sekä parannetaan mittaajan turvallisuutta. Uusille vedeneristemateriaaleille tulisi aina määrittää koekappaleista mittaajännitteet ennen kuin varsinaisen eristeen tiiveys mitataan. Matalajännitemenetelmä antaa oikeita tuloksia, mutta pistemäisen mittatuloksen takia niillä ei voida kuin arvioida epoksin paksuutta, ei tiiveyttä. Epoksitiiveyden mittaamisen hankaluus on yksi syy lisää pyrkiä käyttämään muita eristysrakenteita”.

#### 6.4 Absoluuttisen kosteuden mittaamisen nopeuttaminen

Absoluuttisen kosteuden mittauksen nopeuttamista on yhden vastaajan mukaan kehitetty mikroalouunissa. ”Yrityksellä tulisi olla taulukoitua tutkimustietoa, jota vertaamalla mikrossa kuivattuun näytteeseen voitaisiin arvioida betonin kosteutta riittävällä tarkkuudella. Lopullisesta mittauksesta tulisi kuitenkin olla mittaustandardin mukaiset tulokset tilaajalle näytettäväksi. Nopeutettu tuloksen saaminen olisi hyvä esimerkiksi nopeissa sillan kannen korjauksissa”.

#### 6.5 Tilaajan ja urakoitsijan yhteistyö

Haastatellut pitivät tilaajan ja urakoitsijan välistä kommunikointia ja avoimuutta erityisen tärkeänä. ”Urakan alussa tulisi jo realisoida aikataulu toimivaksi tilaajan ja urakoitsijan välillä eikä tehdä siitä liian kireää. Mieluummin sovitusta aikataulusta valmistutaan etuajassa kuin myöhässä. Usein tilaajalla on jokin ”porkkana” etuajassa valmistumisesta, mutta urakoitsijan tulisi kuitenkin tehdä työnsä mahdollisimman laadukkaasti kaikesta huolimatta. Erityisesti vedeneristystöissä molemminpuolinen ymmärrys tilaajan ja urakoitsijan kanssa on erittäin tärkeää vedeneristystöiden määräysten noudattamiseksi. Tilaajien pitäisi aikataulutuksessaan varata varsinkin siltakannelle vaatimuksia pidemmät kuivumisajat. Nyrkkisääntönä on pidetty 1 cm/vk kuivumisnopeutta, joka ei aina ole riittävä”.

Ongelmallisia tilanteita on syntynyt, kun urakoitsijat ovat pyytäneet poikkeuslupaa aloittaa tiivistystyöt, vaikka kosteudet ovat vielä olleet yli sallittujen arvojen eivätkä ole laskeneet moneen viikkoon. ”Vedeneristysurakoitsijan ei tulisi tehdä eristettä huonoille pohjille, ja pääurakoitsijan ei tulisi hyväksyttää huonoja pohjia. Kehitystyön alla on entistä nopeammin kuivuvia betonilaatuja siltojen kansilaattoihin”.

”Huolellisella työnteolla saavutetaan tasalaatuinen lopputulos, kunhan pääurakoitsija pitää aliurakoitsijaketjunsä kurissa. Epoksi saadaan takuuvarmasti tiukasti kanteen, samoin kermi kiinni epoksiin, kunhan työ tehdään asiallisesti. Mittauskohtia lisäämällä ei paranneta huonoja asenteita”.

## 7 YHTEENVETO

Suomen rankkojen ilmasto-olosuhteiden ja tarkkojen laatuvaatimusten takia siltojen vedeneristystyöt ovat rakentamisen haasteellisimpia työvaiheita niin siltojen uudis- kuin korjausrakennuskohteissa.

Laadun varmistamiseksi lähtökohtana on, että laadun mittauksia tekevän henkilön tulee olla hyvin perehtynyt siihen, miten mittaus suoritetaan ja mitä mittauksen antama tulos tarkoittaa. Jatkuvalle laaduntarkkailulle varmistetaan, että työmaalla työvaihe saadaan kerralla onnistuneesti tehtyä, parannetaan töiden lopputuloksien laatua ja vähennetään työvirheistä aiheutuvia kustannuksia.

Haastatteluiden perusteella nykykäytäntö ei ole riittävä siltojen vedeneristystöiden laadun varmistamiseksi. Kehitettävää on siltatöiden työmenetelmissä, materiaaleissa ja laadunvalvonnassa. Haastatellut asiantuntijat toivat esille, että hyvän lopputulokset saamiseksi tilaajan ja urakoitsijan välinen avoimuus on erittäin tärkeää. Epoksin kurlimisen ja vesitiiviyyden mittaamisen ongelmien vuoksi epoksitiivistäminen saatetaan korvata tulevaisuudessa muilla tuotteilla ja menetelmillä. Vedeneristysten laadunvalvonnassa tulee ensisijaisesti käyttää ulkopuolista riippumatonta ja pätevoitynyttä konsulttia. Urakoitsijan omaan laadunvalvontaan ei voi yksinään turvautua edes aikataulu- tai kustannussyistä.

Opinnäytetyön tuloksien ja työkokemusten perusteella voidaan todeta, että siltäalalla työskentelee ammattitaitoisia ja kunnianhimoisia ihmisiä, joiden osaamisen kautta saadaan kehitettyä parempia ja toimivampia tuotteita, menetelmiä ja rakenteita.

Ala edellyttää jatkuvaa oman ammattitaidon ylläpitämistä. On kaikkien etu, että nämä voimavarat käytetään hyväksi.

## LÄHTEET

Iho, Janne 2012. Betonisten siltakansien epoksitiivistys. Tie & Liikenne 7/2012. Suomen Tiejhdistyksen ammattilehti.

Saatavissa:

<http://www.tieyhdistys.fi/binary/file/-/id/44/fid/420/>

[viitattu 12.2.2014].

InfraRYL 2006. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 3: Sillat ja rakennustekniset osat. 2008. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Jääskeläinen, J. 2013. Siltojen vedeneristysmenetelmät. Opinnäytetyö. Kotka: Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.

Kokkarinen, J. 2012. Siltojen korjausrakentamisen työmenekkien selvittäminen ja hyödyntäminen aikataulutuksessa. Opinnäytetyö. Kuopio: Savonia ammattikorkeakoulu.

Liikennevirasto 2011. Palvelun tuottajat. Siltatöiden toimittajavaatimukset.

Saatavissa

[http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/urakoitsijat\\_suunnittelijat/taitorakent/ammattilaiset/urakoitsijat/Toimittajavaatimusten\\_muutos.pdf](http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/urakoitsijat_suunnittelijat/taitorakent/ammattilaiset/urakoitsijat/Toimittajavaatimusten_muutos.pdf)

[viitattu 24.1.2014].

PANK-5102, 2001. Päällysteen tasaisuus, oikolauta. Päällystealan neuvottelukunta.

Saatavissa:

<http://pank.fi/tekniset-vaatimukset/pank-menetelmat/pank-5-paallysteet>

[viitattu 12.2.2014].

PANK-5103. Päällysteen pintaominaisuudet. Makrokarkeus, lasihelmimenetelmä.

Päällystealan neuvottelukunta, teoksessa Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus, liite 1.

SILKO Siltojen korjausohjeet 2010. Verkkojulkaisu. Tiehallinto.

Saatavissa:

<http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/silko1.htm>

[viitattu 10.3.2014].

Sillan eristys 2010/1. 42310 Eristys. InfraRYL. Rakennustieto.

Saatavissa:

[http://www.rts.fi/infraryl/42310\\_Eristys\\_2010\\_1.pdf](http://www.rts.fi/infraryl/42310_Eristys_2010_1.pdf)

[viitattu 21.1.2014].

Sillan peruskorjauksen nopeuttaminen 11/2008. Verkkojulkaisu. Helsinki: Tiehallinto.

Saatavissa:

[http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/sillan\\_peruskorjauksen\\_nopeuttaminen\\_2008.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/sillan_peruskorjauksen_nopeuttaminen_2008.pdf)

[viitattu 6.3.2014].

Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus 2009. Helsinki: Tiehallinto.

Sto Finexter Oy 2012. Siltakansien epoksitiivistys.

Saatavissa:

[http://www.stofi.fi/89390\\_FI-Siltakansi-Siltakansien\\_epoksitiivistys.htm](http://www.stofi.fi/89390_FI-Siltakansi-Siltakansien_epoksitiivistys.htm)

[Viitattu 26.2.2014]

Taitorakenteiden tarkastusohje 2013. Liikenneviraston ohjeita 17/2013. Helsinki: Liikennevirasto. Verkkojulkaisu.

Saatavissa:

[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2013-17\\_taitorakenteiden\\_tarkastusohje\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2013-17_taitorakenteiden_tarkastusohje_web.pdf)

[viitattu 17.2.2014].

VTT 2650–2013. Betonisen siltakannen absoluuttisen kosteuden mittaus. Kuivatuspunnitusmenetelmä, päivitetty ohje (6.6.2013) teoksesta Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus, liite 3.

Saatavissa:

[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/ohje\\_2013\\_vtt\\_2650\\_betonisen\\_siltakanen.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/ohje_2013_vtt_2650_betonisen_siltakanen.pdf)

[viitattu 31.1.2014].

VTT 2651 – 2001. Vedeneristyksen ja eristysalustan välisen tartuntalujuuden mittaus-työmaalla. Tartuntavetokoe, teoksessa Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus, liite 4.

VTT 2654–2001. Vedeneristyksen ja eristysalustan välisen tartuntalujuuden mittaus-työmaalla. Matalajännitemenetelmä, teoksessa Sillan vedeneristystyömaan laadunmit-taus, liite 5.

VTT-S-05050-09, 2013. Siltakannen nestemäisenä levitetyn vedeneristyksen tai tiivis-tysepoksin vesitiiviiden mittaus. Korkeajännitemenetelmä. Verkojulkaisu.

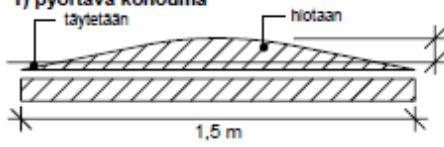
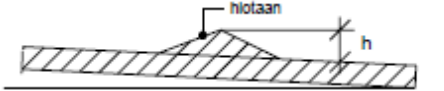
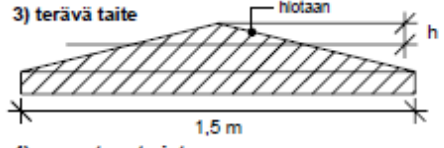
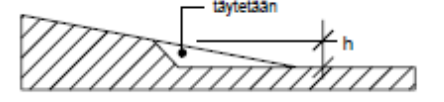

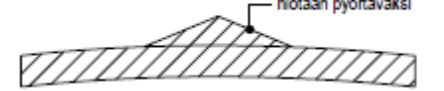
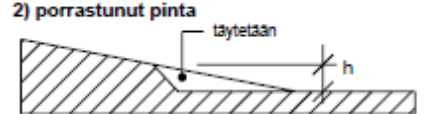

Saatavissa:

[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/ohje\\_2013\\_vtt\\_s\\_05050-09\\_korkeajanni-temenetelma.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/ohje_2013_vtt_s_05050-09_korkeajanni-temenetelma.pdf)

[viitattu 15.1.2014].



Liite 1. Betonisen eristysalustan tasaisuuden ohjearvoja ja korjausmenetelmiä.  
(InfraRYL 2006 Osa 3, 277.)

Mastiksieristys		Vaatus	Huom.
<p>1) pyörtävä kohouma</p> 	$h \leq 4 \text{ mm}/1,5 \text{ m}$	mastiksikerros voi jäädä liian ohueksi, kun eristyksen pinta kolataan suoraksi	
<p>2) terävä harjanne</p> 	$h < 3 \text{ mm}$	mastiksikerros voi murtua terävän harjanteen kohdilta (lovivaikutus)	
<p>3) terävä taite</p> 	$h < 4 \text{ mm}/1,5 \text{ m}$	mastiksikerros voi jäädä liian ohueksi, kun eristyksen pinta kolataan suoraksi	
<p>4) porrastunut pinta</p> 	$h \leq 4 \text{ mm}$	mastiksikerros voi jäädä liian ohueksi taio murtua harjanteen kohdalta	
<p>5) betoniroiskeet, kivet yms.</p>	Vaatus poistetaan		
<p>6) kolot - kolot paikataan</p> 	Vaatus vesi ei lammikoidu		
Kermieristys		Vaatus	Huom.
<p>1) terävä harjanne tai taite</p> 	harjanteen korkeus ei ole rajoitettu	terävä harjanne voi rikkoa kermin	
<p>2) porrastunut pinta</p> 	$h \leq 4 \text{ mm}$	kermi voi jäädä irti alustasta pykälän vierestä, korkea pykälä voi rikkoa kermin	
<p>3) betoniroiskeet, kivet yms.</p>	Vaatus poistetaan	voivat rikkoa kermin	
<p>4) kolot - kolot paikataan</p> 	Vaatus vesi ei lammikoidu		
Polyuretaani eristys		Vaatus	Huom.
Kuten mastiksieristyskohdat 2, 3, 5, ja 6		kuten mastiksieristyskohdissa	

## Liite 2. Eristystöiden vaatimuksenmukaisuuskokeet ja tarkastukset.

(Sillan eristys 2010/1, 19.)

Rakenneosa ja näyte	Ominaisuus	Milloin tutkitaan	Näytemäärä
<b>Eristysalusta</b>	tasaisuus	aina	epätasaiset kohdat
	kosteus	aina	3...6 kohtaa/silta
	karheus	aina	3 kohtaa/ alkava 500 m <sup>2</sup>
	tiivistysepöksiin tai muun tiivistysaineen tiiviyys ja tartunta	aina	≥ 3 kohtaa/silta
	lätäköityminen	tarvittaessa	≥ 1 vesikoe/silta
<b>Kermieristys</b>	tartunta	aina	3x2 kpl/alkava 1000 m <sup>2</sup>
kumibitumi padasta	laatuominaisuudet	tarvittaessa	1 kpl/silta 0,3 kg padasta
kumibitumi säkistä	laatuominaisuudet	tarvittaessa	1 kpl/silta 0,3 kg säkistä
kumibitumiliuos	laatuominaisuudet	tarvittaessa	1 kpl/silta 2,5 kg
kermi	laatuominaisuudet	tarvittaessa	1 kpl/silta 2 m <sup>2</sup> :n pala
<b>Mastiksieristys</b>			
massanäyte	sideainepitoisuus	aina	<b>1 massanäyte/1500 m<sup>2</sup> ja vähintään 2 kpl/silta Näytekoko: 5 kg massaa</b>
	rakeisuus	aina	
	painuma	aina	
	palautuma	tarvittaessa	
	sideaineen ominaisuudet	tarvittaessa	
valmis eristys	paksuus	aina	≥ 1 kpl/alkava 250 m <sup>2</sup> kuitenkin vähintään 3 kpl

Liite 3. Kenttälomake. Pinnan karkeuden mittaaminen lasihelmimenetelmällä.  
(Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus 2009, liite 7 (2/3).)

### PINNAN KARKEUDEN MITTAAMINEN LASIHELMIMENETELMÄLLÄ

Sivu \_\_\_\_\_

Tiepiiri		Mittauspvm
Tienumero/teosa	Kunta	
Rakennustyömaa		
Mittauskohde (esim. sillan nimi ja numero)		
Mittauspisteiden sijainnit kohteessa		
Mittattavan pinnan materiaali (esim. betoni tai epoksi).	Onko mittauspinta hiekkapuhallettu?	
Mittaajan nimi	Työnumero	

Mittaus- piste	Lasihelmiympyrän halkaisija 4:ssä suunnassa				Keskim. halkaisija D (mm)	Pinnan kar- keus*) (mm)
	halk. 1 (mm)	halk. 2 (mm)	halk. 3 (mm)	halk. 4 (mm)		
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

\*) Pinnan karkeus lasketaan seuraavalla kaavalla (kun mittalierrön koko on 25000 mm<sup>3</sup>)

$$Pinnan\ karkeus\ [mm] = 31830/D^2$$

jossa D mm = lasihelmiympyrän keskimääräinen halkaisija



Liite 5. Kermieristyksen pintalämpötilan tartuntalujuusvaatimus siltakannella.  
(Sillan eristys 2010/1, 11.)

Eristysalustan pintalämpötila (°C)	Tartuntalujuus- vaatimus (N/mm <sup>2</sup> )
5	1,06
6	1,00
7	0,95
8	0,90
9	0,85
10	0,81
11	0,77
12	0,73
13	0,69
14	0,65
15	0,62
16	0,58
17	0,55
18	0,52
19	0,50
20	0,47
21	0,45
22	0,42
23	0,40
24	0,38
25	0,36

## Liite 6. Haastattelujen kysymykset

1. Pitäisikö laadunvalvonnan mittausmenetelmiä tai vedeneristeiden työmenetelmiä muuttaa epoksin kuplimisen vähentämiseksi tai tutkimiseksi?
2. Pitäisikö laadunvarmistusmittaajille järjestää koulutuksia tai kursseja, joiden kautta myönnettäisiin esimerkiksi pätevyksiä?
3. Pitäisikö vesieristykset tehdä aina erillisenä urakkana? Onko liian monta aliurakoitsijaa tekemässä samaan aikaan eristystöitä?
4. Onko mahdollista saada betonin absoluuttisten kosteuspalojen tulokset nopeammin?
5. Mitä mieltä olette korkea- ja matalajännitemenetelmistä?
6. Ovatko kermille ja epoksille tehtävät tartuntavedot liian paikallisia? Saadaanko vetojen määrän takia kattava kuva koko eristeen tartunnasta? Ovatko raja-arvot tarpeeksi vaativia?
7. Pitäisikö siltaurakoitsijoilta poistaa oikeus tehdä omista töistään laadunvarmistuskokeita? Pitäisikö laadunvarmistusmittaukset ulkoistaa?
8. Miten parannettaisiin siltatyömaiden olosuhteita? Miten saataisiin talvityöt halvemmiksi?
9. Kuinka tärkeänä pidätte tilaajan ja urakoitsijan välistä yhteistyötä?