



Sillan kannen vedeneristyksen

laadunvarmistus

Epoksin vesitiiveyden mittaus

mittauspalveluna

Jarno Oravasaari

Opinnäytetyö
Joulukuu 2015
13YIRAKE
Rakennustekniikan ylempi
ammattikorkeakoulututkinto

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan ylempi ammattikorkeakoulututkinto

ORAVASAARI, JARNO:
Sillan kannen vedeneristyksen laadunvarmistus
Epoksin vesitiiveyden mittaus mittauspalveluna

Opinnäytetyö 87 sivua, joista liitteitä 6 sivua
Joulukuu 2015

Merkittävä osa kansallisomaisuudesta on sidottu rakennettuun ympäristöön. Tästä kansallisomaisuudesta maantiesillat muodostavat painoarvoltaan suuren osan. Maantiesiltojen toteuttaminen osaksi liikenneväylää on suunnittelun, rakentamisen ja kunnossapidon kannalta erittäin merkityksellinen seikka. Maantiesillat ovat liikenteen ja kuljetuslogistiikan kannalta strategisesti tärkeä osa, joka vaikuttaa nykyään yhä enemmän kuljetukseen ja sitä kautta elinkeinoihin. Siksi on tärkeää, että maantiesiltoihin kiinnitetään niiden ikääntyessä ja kunnan huonontuessa riittävästi resursseja, jotta liikenne ja kuljetukset pääsevät esteettä toimimaan.

Maantiesillan kannen vesieristys muodostaa kansirakenteessa erittäin tärkeän osan, jonka toteuttaminen oikein vaatii erityistä huolellisuutta. Toimiva ja hyvin toteutettu kannen vesieristys on edellytyksenä sille, että sillan rakenne kestää monista eri tekijöistä johtuvat rasitukset vuosikymmenienkin kuluttua. Tämän takia on tärkeää, että laadunvarmistuksesta huolehditaan eri työvaiheissa laadunvalvontamittauksin.

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin eri lähteiden perusteella maantiesiltojen korjaustarvetta ja kuntoa, teräsbetonisillan kannen kuivatusjärjestelmää ja sen vedeneristyksen pettämisen aiheuttamia vaurioita, vedeneristykseen liittyviä laadunvarmistus menetelmiä sekä rakennuslaboratorion mittauspalvelun myytäviä palveluja. Erityishuomio on kiinnitetty sillan kannen epoksin vesitiiveyden mittaukseen. Tavoitteena opinnäytetyössä oli perehtyä sillan kannen epoksin vesitiiveyden mittausmenetelmiin ja eri mittalaitteisiin, muodostaa uusi myytävä mittauspalvelu ja tehdä malliraportti mittauspalvelun tilaajaa varten.

Rakennuslaboratoriossa on mahdollista mittalaitteiden hankintojen jälkeen opettaa, esimerkiksi sillan kuntotutkimukseen liittyvän opintojakson yhteydessä, epoksin vesitiiveyden mittaamista korjaustyön laadunvalvonnassa. Myös alustan betonin, epoksinpinnoitteen ja kermipinnoitteen tartuntavetolujuuden mittaukset ovat mahdollisia samassa opintojaksossa. Sillan kannen epoksin vesitiiveyden mittaus on myös mahdollista toteuttaa mittauspalvelun myytävänä palveluna.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Civil Engineering Master's degree

ORAVASAARI, JARNO:

Quality control measurements of bridge deck waterproofing
Epoxy water resistance measurement as a commercial service

Master's thesis 87 pages, appendices 6 pages
December 2015

A significant part of the national assets are tied to the built environment. From this national property road bridges form a large part. Road bridges as a part of the transport infrastructure are in crucial importance from the design to the construction and maintenance. Road bridges are from the traffic and logistics point of view an important part, which affect today more and more to transportation and industry. Therefore, because of ageing and worsen condition, it is important to attach resources for road bridges so that traffic and transportation works without obstacles.

Bridge deck waterproofing forms a very important part of the structure, the construction of which requires very special care. A functional and well laid out deck waterproofing is a prerequisite for persistence of the bridge deck against many different factors resulting from the stresses of decades. For this reason, it is important that quality is ensured during different stages of construction with quality control measurements.

In this thesis the need for repairing and condition of road bridges, reinforced concrete bridges deck draining system, the results of water insulation failure, water insulation quality measurements has been studied from the different sources. Especially attention is paid to the bridge deck with epoxy water resistance measurement. The aim was to study epoxy water resistance measurement methods of the bridge deck and different measuring devices to form a new measurement service to sell and make a model report of the measurement for the customer.

In the future, it is possible to teach in the construction laboratory after purchasing measure devices, for example in a bridge deck repairing related course, the measurement of water tightness from bridge deck epoxy as a quality control. Also pull-off tests for strength of base concrete, epoxy layer and bitumen membrane are possible to teach in the same course. It is also possible to implement bridge deck epoxy water tightness measurement as a measurement service.

Key words: bridge deck, epoxy compound, quality assurance, measurements

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	11
2	MAANTIESILTOJEN KORJAUSTARVE.....	12
	2.1. Maanteiden siltatyypit, lukumäärä, ikä ja kunto.....	12
	2.2. Maantiesiltojen kuntoluokitus ja korjaustarve.....	15
3	TERÄSBETONISILLAN KANNEN KUIVATUSJÄRJESTELMÄ.....	19
	3.1. Kuivatusjärjestelmän rakenne.....	19
	3.2. Vedeneristyksen rakenne.....	26
	3.3. Vedeneristysmateriaalit.....	27
	3.4. Vedeneristyksen toiminta.....	29
	3.5. Vedeneristyksen rasiukset.....	29
	3.6. Vedeneristyksen kupliminen.....	32
4	TERÄSBETONISILLAN KANNEN VEDENERISTYKSEN TYYPILLISET VAURIOT JA KORJAUSMENETELMÄT.....	34
	4.1. Vedeneristyksen tyypillisiä vaurioita.....	34
	4.2. Kannen vedeneristykset.....	37
	4.3. Kannen päällysteet.....	39
5	TERÄSBETONISILTOJEN VEDENERISTYSTEN LAADUNVARMISTUS.....	42
	5.1. Ohjeisto.....	42
	5.2. Vedeneristyksen yleiset laatuvaatimukset betonisilloilla.....	44
	5.2.1 Eristysalusta.....	44
	5.2.2 Epoksitiivistys.....	48
	5.2.3 Kermieristys.....	50
	5.2.4 Kannen vedeneristysten vaatimustenmukaisuuden varmistaminen.....	54
	5.2.5 Eristystyönaikaiset olosuhteet.....	56
	5.3. Vedeneristystöiden valvojan ja työnjohtajan koulutus.....	57
6	TAVALLISIMPIA TYÖVIRHEITÄ VEDENERISTYSTYÖSSÄ.....	58
	6.1. Vedeneristystyön laadunvarmistuksessa huomioitavia asioita.....	59
7	TAMK RAKENNUSLABORATORION MITTAUSPALVELU.....	60
	7.1. Eristysalustan kosteusmittaukset.....	61
	7.2. Eristysalustan karheuden mittaus, lasihelmimenetelmä.....	63
	7.3. Tartuntavetomittaukset.....	65

8	EPOKSIIN VESITIIVEYDEN MITTAUSPALVELU.....	69
	8.1. Epoksitiivistyksen vesitiiveydenmittaus.....	69
	8.2. Palvelun sisältö	69
	8.3. Epoksin vesitiiveyden mittausmenetelmät.....	70
	8.3.1 Matalajännitemenetelmä	70
	8.3.2 Korkeajännitemenetelmä eli ”kipinäharava”	72
	8.3.3 Vesitiiveyden mittauksen virhetekijöitä.....	79
	8.4. Epoksitiivistyksen vesitiiveyden mittauksen tutkimusselostus	80
	8.5. Markkinointi	82
9	POHDINTA.....	83
	9.1. Mittauspalvelun toimintaedellytykset.....	83
	9.2. Mittauksen kannattavuus	83
	9.3. Mittauksen kriittiset tekijät ja haasteet	84
	9.4. Mittauksen kilpailuetu	84
10	LÄHTEET	85
11	LIITTEET.....	87

ERITYISSANASTO

lähde: SILKO 1.801 Vedeneristykset 04/11

sillan pintarakenne, pintarakenne	sillan päällysrakenteen osa, joka peittää sillan kantavat rakenteet. Sillan pintarakenteen osat ovat vedeneristys, suojakerros ja päällyste.
suojakerros	sillan pintarakenteen osa, jonka tarkoituksena on suojata vedeneristystä. Suojakerros voi olla suojakermi, -asfaltti, -betoni tai hiekkakerros ja kuitukangas.
liukukerros, irrotuskaista	sillan pintarakenteen osa, joka erottaa vedeneristyksen eristysalustasta ja estää vaakaliikkeen siirtymisen vedeneristykseen. Kalvomaista liukukerrosta käytetään muun muassa liikuntasaumoissa.
sillan päällyste, päällyste	sillan kannen pintarakenteen päällimmäinen osa. Sillanpäällysteen kerrokset ovat sidekerros ja kulutuskerros.
vedeneristys (1)	kantavan kansirakenteen tai sillan kannen eristäminen veden ja siihen liuenneiden aineiden haitalliselta vaikutukselta.
vedeneristys (2), vedeneristysrakenne	vedeneristeiden muodostama rakenne. Vedeneristys on sillan pintarakenteessa alimmana kerroksena. Tavallisimmat vedeneristystyypit ovat kermieristys, nestemäisenä levitettävä eristys ja mastiksieristys.

tartunta-aine, tartukeaine	mieluummin kuin esisivelyaine, tartuntasivelyaine, primer. Eristettävälle pinnalle levitettävä aine, jonka tarkoituksena on parantaa vedeneristyksen tarttuvuutta sekä sitoa pölyä ja kosteutta.
tiivistysaine	eristettävälle pinnalle levitettävä aine, jonka tarkoituksena on tiivistää betonin pintaa vedeneristyksen kuplimisen estämiseksi. Siltakannen tiivistys tehdään kaksinkertaisena epoksitiivistyksenä.
epoksitiivistys	betonisen siltakannen kaksinkertainen epoksihartsikäsitteily.
massakomposiitti	komposiitti, joka koostuu eri materiaalien sekoituksesta. Esimerkiksi asfaltti, betoni, nestemäisenä levitettävä eristysmassa ja eristysmastiksi ovat massakomposiitteja.
kerroskomposiitti	komposiitti, joka koostuu erillisistä materiaali-kerroksista. Esimerkiksi kermi ja vaneri ovat kerroskomposiitteja.
kermi, siltakermi	vedeneristystarkoituksiin käytettävä vettä läpäistämätön tuote, joka yksinään tai liitettynä toisiin samanlaisiin tai vastaaviin tuotteisiin muodostaa yhtenäisen vedeneristyskerroksen. Siltojen vedeneristyksissä käytettävät kermit ovat kumibitumikermejä, joiden eristyskerros on kumibitumia ja tukikerros polyesterihuopaa.

kermieristys	yhtenäinen kermeistä eristysalustalle tehtävä vedeneristysrakenne. Kermieristyksessä on yleensä kaksi kermikerrosta; aluskermi ja pintakermi.
paineentasauskermi	aluskermi, joka kiinnitetään eristysalustaan vain osittain siten, että kermin alle syntyvät höyrynpaineet pääsevät tasaantumaan ja poistumaan urituksen kautta paineentasausputkiin.
liimaamalla kiinnitettävä kermi	alus- tai pintakermi, joka kiinnitetään eristysalustaan kumibitumilla. Kumibitumin sulatuspadan pitää olla Liikenneviraston käyttöönsä hyväksymä.
kuumentamalla kiinnitettävä kermi	alus- tai pintakermi, joka kiinnitetään eristysalustaan kuumentamalla kermin alapintaan valmistusvaiheessa lisätty kumibitumi. Kuumentamalla kiinnitettävän kumibitumikermin numerotunnus on sama kuin liimattavan kermin, mutta tunnuksen on lisätty sana ”hittattava”. Kermin pinnassa on paksumpi kumibitumikerros, joten kermi on painavampi kuin neliömassa ilmoittaa.
mastiksieristys	kumibitumimastiksia käyttäen tehty vedeneristys.
eristysmastiksi, kumibitumimastiksi	eristämiseen käytettävä massakomposiitti, jonka sideaineena on kumibitumi, runkoaineena hienorakeinen kiviaines ja täyteaineena kalkkikivijauhe. Eristysmastiksista tehtyä vedeneristystä kutsutaan mastiksieristykseksi.

bitumi	maaöljystä valmistettu, normaalilämpötilassa jähmeä tai puolijähmeä seos, joka sisältää enimmäkseen hiilivetyjä.
tunkeuma, bitumin tunkeuma	bitumin jäykkyyden mitta. Tunkeuma on tiebitumien luokitusperuste. Se ilmaistaan standardineulan tunkeutumissyvyytenä koeoloissa. Yksikkönä on millimetrin kymmenesosa.
painuma, valuasfaltin leimapainuma	valuasfaltin muodonmuutosherkkyyden (eli deformatuvuuden) mitta. Painuma ilmaistaan matkana, jonka leimakuormituslevy uppoaa valuasfalttinäytteen pintaan koeoloissa. Yksikkönä on millimeri.
liuote	mieluummin kuin; liuotin, liuotinaine. Neste, joka pystyy liuottamaan toista ainetta. Liuote on yleensä haihtuva orgaaninen aine (esim. lakabensiini, ksyleeni, tolueni).
paineentasausputki, paineentasausreikä	mastiksieristyksen tai paineentasauskermillisen eristyksen yhteydessä käytettävä sillan varuste, jonka kautta vedeneristyksen alle syntyvä paine purkautetaan sillan kansilaatan läpi. Putkia käytetään sillan rakennusvaiheessa ja reikiä yleensä siltaa korjattaessa.

lähde: Siltojen ylläpito, Tiehallinto 2009

LYK laskettu yleiskunto. Sillantarkastajan antamista päärakennosien kuntoarvioista rakennosien painokertoimilla painotettuna keskiarvona laskettu sillan yleiskunto.

YKA sillantarkastajan antama arvio sillan yleiskunnosta.

lähde: Tiesillat 2010, Liikennevirasto

korjaustarveindeksi (KTI)

sillan korjaustarvetta kuvaava tunnusluku, jota Hanketason Siltojenhallintajärjestelmässä eli Hanke-Sihassa käytetään valittaessa siltoja korjausohjelmiin.

vauriopistesumma (VPS)

sillan vaurioitumisen astetta ja määrää kuvaava luku, jota käytetään ELY-keskusten tulostavoitteen mittarina.

1 JOHDANTO

Maantiesiltojen kunnan huononeminen on ollut esillä mediassa. Lähinnä kuljetusala on ollut huolissaan maantiesiltojen lisääntyvistä painorajoituksista koskien aiempaa painavampien rekkojen sallimista liikenteessä. Suurin sallittu kokonaispaino Suomen maanteilla nousi lokakuussa 2013 aiemmasta 60 tonnista 76 tonniin. Samalla suurinta sallittua korkeutta nostettiin aiemmasta 4,2 metristä 4,4 metriin. Painorajan osalta tämä lisäys tarkoittaa yhdeksänakselisessa rekassa noin 1,8 tonnin lisäystä akselia kohti. Myös mahdollisten jättirekkojen, eli 30 metriä pitkien ja 100 tonnia painavien rekkojen, kokeilua joillain tieosuuksilla Suomessa on esitetty. Liikenneviraston mukaan tämä muutos tuo kuljetuskustannuksiin laskelmien mukaan vuosittain noin 160 miljoonan euron säästöt. Samalla pitäisi osoittaa maanteille ja erityisesti maantiesilloille riittäviä korjaus- ja ylläpitomäärärahoja. Erityisesti kysymykseen tulevat Liikenneviraston selvityksen mukaan 1960- ja 1970-lukujen sillat. Kyseisinä aikoina rakennetuissa maantiesilloissa, ja erityisesti teräsbetonisilloissa, on määrällisesti eniten korjattavaa.

On kuitenkin tässä yhteydessä otettava huomioon, että maantiesillan korjaaminen ei useinkaan lisää sen kantavuutta entisestään, vaan kysymyksessä on kantavuuden säilyminen alkuperäisesti suunnitellulla tasolla. Tämä luo kokonaisuudessaan haasteita ja myös paineita maantieverkoston siltojen ylläpitoon ja korjauksiin. Erityisesti vedeneristyksen huonoon kuntoon liittyvät vauriot aiheuttavat korjaustarpeita ikääntyneissä silloissa. Työtä on siis tarjolla infran kyseisellä toimialalla suunnittelu- ja korjauspuolella sekä tällä hetkellä että tulevaisuudessakin.

Tässä opinnäytetyössä on aihepiirinä eräs tärkeimmistä asioista liittyen teräsbetonisillan kannen pitkäaikaiskestävyyteen eli vesieristyksen alapuolinen epoksitiivistys. Työssä käsitellään myös tiesillan kannen vesieristystä vedenpoistojärjestelmineen kosteuden aiheuttamien vaurioiden estämisessä.

Tarkoituksena on kehittää ja laajentaa TAMK:n rakennuslaboratorion mittauspalvelun laadunvalvontamittausten tarjontaa vanhoihin ja uusiin siltakohteisiin. Tavoitteena on luoda uusi laadunvalvonnan mittauspalvelu eli sillan kannen epoksin vesitiiveyden mittauspalvelu sekä siihen liittyvä raportointimalli.

2 MAANTIESILTOJEN KORJAUSTARVE

2.1. Maanteiden siltatyypit, lukumäärä, ikä ja kunto

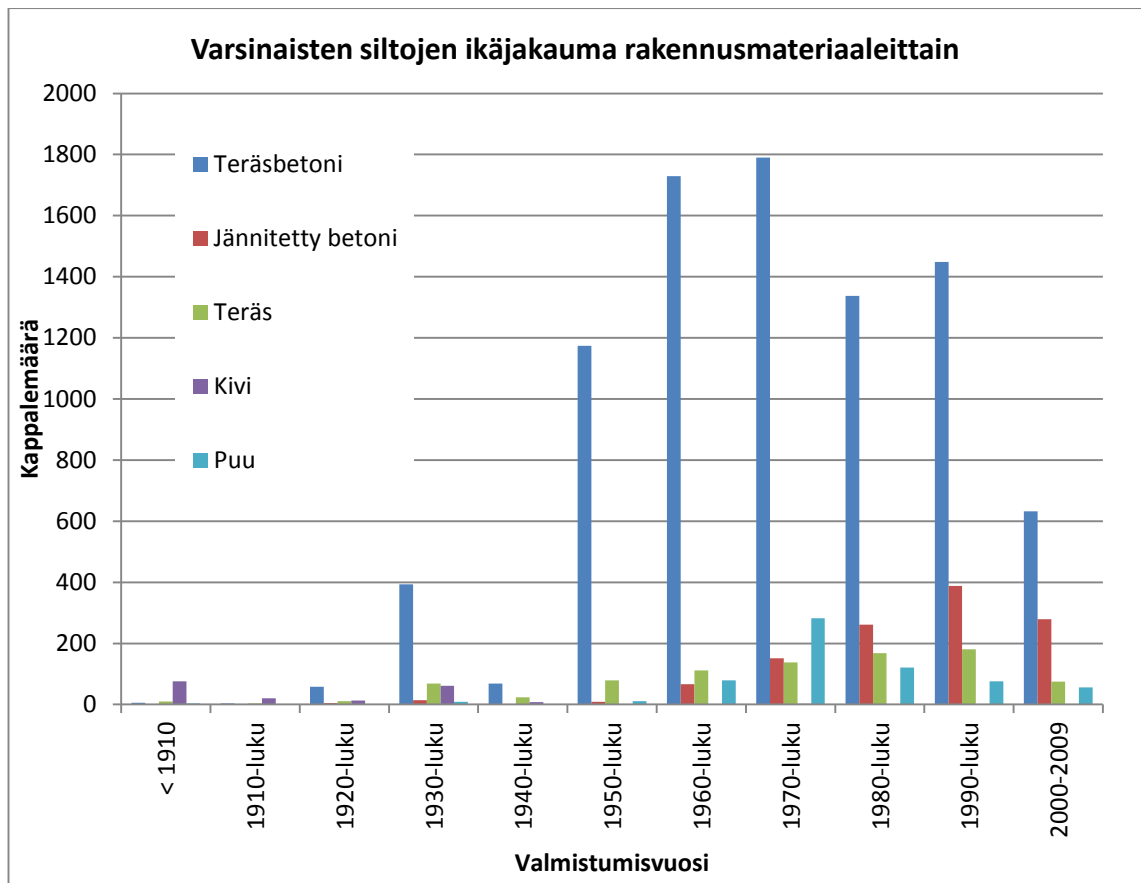
Suomen maanteiden siltatyypit ovat päärakennusmateriaalin mukaan jaoteltuna; teräsbetonisillat, terässillat, puusillat, kivisillat, jännitetyt betonisillat ja putkisillat. Yleisimmät teräsbetonisiltatyypit ovat laatta-, palkki-, kotelopalkki-, laattakehä-, kaari-, holvisillat. Siltatyypit voivat olla yksiaukkoisia tai jatkuvia rakenteita (Tiesillat 2010, Liikennevirasto).

Suomessa oli 1.1.2010 Liikenneviraston hallinnassa yhteensä 11512 varsinaista siltaa ja 3113 putkisiltaa. Yhteensä siltojen lukumäärä on 14625 kpl.

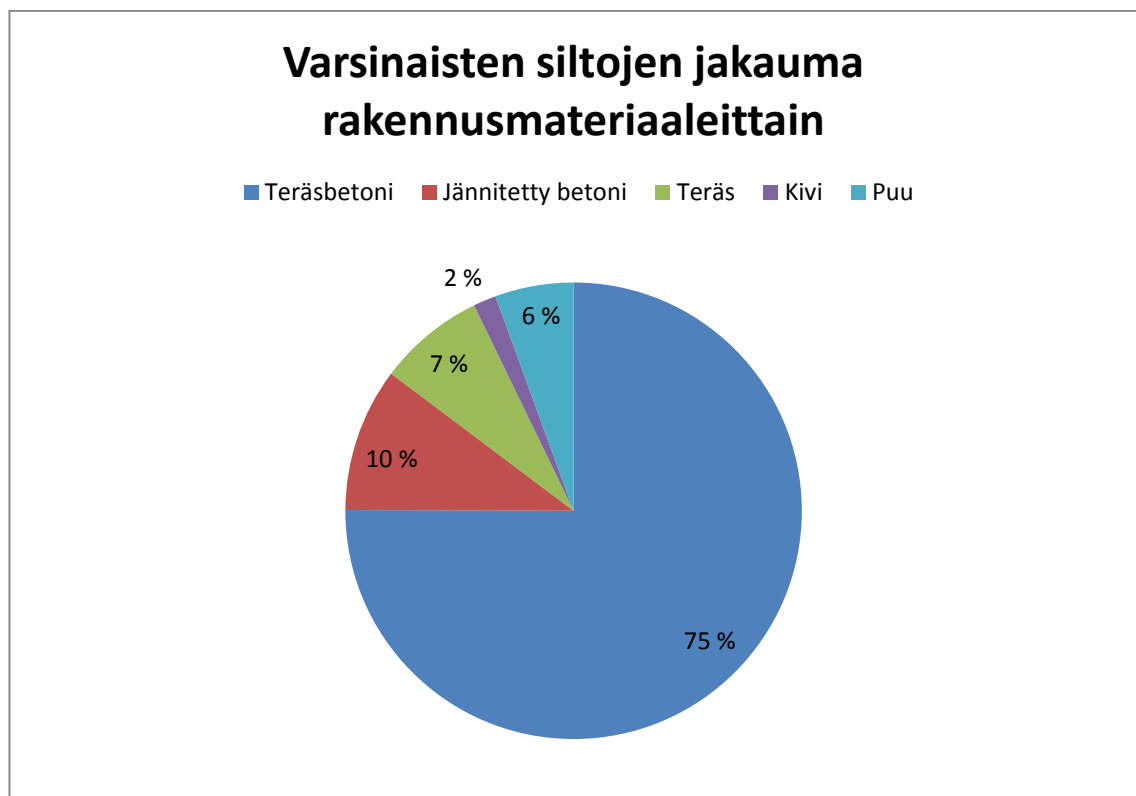
Liikenneviraston tiesiltojen jälleenhankinta-arvo on noin kuusi miljardia euroa ilman arvonnalisäveroa (Tiesillat 2010, Liikennevirasto).

Taulukko 1. Varsinaisten siltojen lukumäärä 1.1.2010 (Tiesillat 2010, Liikennevirasto).

Käyttötarkoitus	Valtatie	Kantatie	Seututie	Yhdystie	Muu tie	Siltoja yhteensä
Vesistösilta	1 025	436	1 361	3 948	76	6 846
Risteyssilta	851	141	209	193	198	1 592
Ramppisilta	4	0	0	0	69	73
Ylikulkusilta	113	37	95	174	5	424
Alikulkukäytävä	965	254	476	302	133	2 130
Ylikulkukäytävä	1	0	1	0	133	135
Pehmeikkösilta	1	0	0	0	0	1
Muu maasilta	10	0	7	8	0	25
Alikulkusilta	0	0	0	0	0	0
Raittisilta	0	0	0	0	286	286
Yhteensä, kpl	2 970	868	2 149	4 625	900	11 512



Kaavio 1. Varsinaisten siltojen ikäjakauma eri rakennusmateriaaleilla 1.1.2010. (muokattu lähteestä Tiesillat 2010, Liikennevirasto).



Kaavio 2. Varsinaisten siltojen jakauma rakennusmateriaaleittain 1.1.2010. (muokattu lähteestä Tiesillat 2010, Liikennevirasto).

Kuten kaaviosta 1. voidaan havaita, lukumääräisesti eniten teräsbetonisilloja on valmistunut vuosien 1960–1979 välillä, lisäksi vuosina 1990–1994 on valmistunut paljon teräsbetonisilloja. Kyseisinä vuosina 1960–1979 valmistuneet sillat ovat nyt 35 - 54 vuotta vanhoja.

Käytännön kokemusten perusteella silta tulee peruskorjausikään 30–40 vuoden iässä. 1960-luvun sillat ovat siis tulleet peruskorjausikään, mutta korjauksia ei ole voitu rahoituksen niukkuuden vuoksi riittävässä määrin toteuttaa. (Tiesillat 2010, Liikennevirasto).

Yleisimmät korjausta vaativat rakenteet ovat kannen rakenteet, erityisesti vedeneristyksset, sekä reunapalkit, joiden vauriot ovat aiheutuneet vedeneristyksen heikosta kunnosta sekä veden jäätymisestä rakenteisiin ja suolauksen aiheuttamista rasituksista.

2.2. Maantiesiltojen kuntoluokitus ja korjaustarve

Siltojen kuntoa seurataan keskimäärin viiden vuoden välein tehtävillä siltojen yleistarkastuksilla, jotka on ohjeistettu erittäin yksityiskohtaisesti. Siltarekisteriin kirjataan sillan vauriot, pää rakenneosien kuntoarviot ja sillan yleiskuntoarvio (Siltojen ylläpito, Toimintalinjat, Tiehallinto, Helsinki 2009).

Siltojen ylläpidossa sillaston kunnan tavoitteen asettelussa käytetään kaikkien siltojen vauriopistesummaa (VPS) ja huonokuntoisten siltojen lukumäärää. Siltakohtainen vauriopistesumma lasketaan sillan viimeisimmässä yleistarkastuksessa Siltarekisteriin kirjatusta vaurioista useiden tekijöiden funktiona (Siltojen ylläpito, Toimintalinjat, Tiehallinto, Helsinki 2009).

Päärakenneosien kuntoarvioiden painotettuna keskiarvona saadaan sillan laskettu yleiskunto (LYK). Lasketun yleiskunnon, yleiskuntoarvion ja vakavimpien vaurioiden perusteella sillat jaetaan kuntoluokituksen mukaisiin viiteen kuntoluokkaan (Siltojen ylläpito, Toimintalinjat, Tiehallinto, Helsinki 2009).

Kaikille tienpidon osa-alueille yhtenäinen tieomaisuuden kuntoluokitus perustuu julkaisuun Tieomaisuuden kunnan yhtenäinen palvelutasoluokitus (Tiehallinnon selvityksiä 32/2004) sekä Tiehallinnon johtajiston 20.8.2004 tekemään päätökseen viisiportaisen yhtenäisen kuntoluokituksen käyttöönotosta (Tiesillat 2010, Liikennevirasto).

Luokituksen keskeinen tarkoitus on jakaa sillat ylläpitotarpeiden mukaisiin luokkiin, jotka yksinkertaistettuna voidaan kuvata seuraavasti:

- Erittäin hyvä – ei ylläpitotarpeita
- Hyvä – vähäistä kunnostusta
- Tyydyttävä – peruskorjaus tulossa
- Huono – peruskorjaus nyt
- Erittäin huono – peruskorjaus myöhässä

(Tiesillat 2010, Liikennevirasto).

Taulukko 2. Siltojen kuntoluokitus (Tiesillat 2010, Liikennevirasto).

Kuvaus kunnosta	Luokittelukriteerit	
	Varsinaiset sillat	Putkisillat
5 ERITTÄIN HYVÄ Uusi tai lähes uuden veroinen silta.	LYK = 0,00–0,50 ja YKA = 0	LYK = 0,00–0,50 ja YKA = 0
4 HYVÄ Hyväkuntoinen silta, jossa on normaalia kulumista ja ikääntymistä. Sillan yleiskunto voi olla hyvä, vaikka jonkin päärakennososan kuntoarvio on tyydyttävä tai huono.	LYK = 0,51–1,25 tai YKA = 1 eikä kumpikaan huonompi	LYK = 0,51–1,25 tai YKA = 1 eikä kumpikaan huonompi
3 TYYDYTTÄVÄ On jo puutteita ja vaurioita, kuten rapautumista tai ruostumista, mutta korjaamista voidaan vielä siirtää. Yleiskunto voi olla tyydyttävä, vaikka jonkin päärakennososan kuntoarvio olisikin huono tai erittäin huono.	LYK = 1,26–2,00 tai YKA = 2 eikä kumpikaan huonompi	LYK = 1,26–2,50 tai YKA = 2 eikä kumpikaan huonompi
2 HUONO Useita selvästi havaittavia korjausta vaativia vaurioita tai jokin yksittäinen vakava vaurio. Erikoistarkastuksen ja peruskorjauksen tarve on ilmeinen.	LYK = 2,01–2,75 tai YKA = 3 eikä kumpikaan huonompi tai kansilaatan vesi- vuotovaurio vaurio- luokassa 4 tiellä, jota ei suolata	LYK = 2,51–3,25 tai YKA = 3 eikä kumpikaan huonompi tai teräsputkessa vaurio- luokan 4 korroosio- vaurio
1 ERITTÄIN HUONO Silta on täydellisen peruskorjauksen tai jopa uusimisen tarpeessa. Kunto ei ole hyväksyttävissä. Vaurioita on niin paljon, että pelkästään niiden kirjaaminen on työlästä.	LYK = 2,76–4,00 tai YKA = 4 tai kansilaatan vesi- vuotovaurio vaurio- luokassa 4 suolatulla tiellä (hoitoluokat Isk, Is ja I)	LYK = 3,26–4,00 tai YKA = 4
LYK = laskettu yleiskunto YKA = sillantarkastajan antama yleiskuntoarvio		

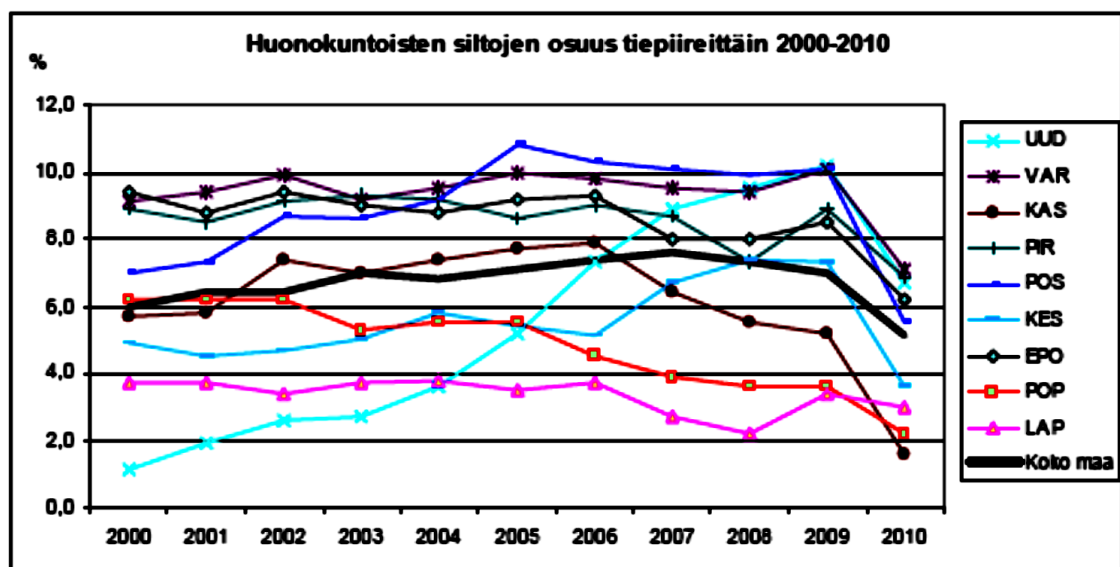
Taulukko 3. Siltojen kuntoluokka iän mukaan (Tiesillat 2010, Liikennevirasto).

Sillan kunto- luokka	Ei tietoa	< 1950	1950-1959	1960-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000- kpl	Yhteensä
Erittäin hyvä	0	6	6	16	16	30	290	1 055	1 419
Hyvä	0	357	577	1 139	1 625	1 649	2 068	618	8 033
Tyydyttävä	0	381	569	1 085	1 223	729	321	20	4 328
Huono	1	108	113	159	108	32	13	0	534
Erittäin huono	0	5	16	66	97	16	8	0	208
Ei tietoa	1	1	0	0	3	18	63	17	103
Yhteensä, kpl	2	858	1 281	2 465	3 072	2 474	2 763	1 710	14625

Taulukossa 3. on jaoteltuna eri ikäiset sillat kuntoluokkiin ja kappalemäärät kussakin kuntoluokassa. Kuntoluokitus perustuu taulukon 4. mukaiseen jaotteluun, jossa kriteereinä ovat LYK eli laskettu yleiskunto ja YKA eli sillantarkastajan antama yleiskuntoarvio (Tiesillat 2010, Liikennevirasto).

Huomio kiinnittyy taulukon 3. lukumäärissä erityisesti 1950 – 1979 vuosien huonokuntoisten siltojen lukumäärään, joita on yli sata jokaisena vuosikymmenenä.

Kuitenkin pääsääntöisesti kuntoluokissa hyvä ja tyydyttävä on valtaosa kaikista silloista.

**Kaavio 3.** Huonokuntoisten siltojen osuus tiepiireittäin 2000-2010 (Tiesillat 2010, Liikennevirasto).

Kaavion 3. mukaan tiepiireittäin huonokuntoisimmat ovat olleet Pohjois-Savon, Varsinais-Suomen ja Uudenmaan tiepiireissä. Vuonna 2010 on tapahtunut selvä pudotus, jolloin huonokuntoisten siltojen osuus on pudonnut selvästi kaikissa tiepiireissä. Tämä on johtunut osaltaan siitä, että Tiehallinto (nykyisin Liikennevirasto) esitti tavoitteekseen vähentää huonokuntoisten siltojen määrää 400 kpl vuoteen 2020 loppuun mennessä eli keskimäärin 20 siltaa vuodessa (Siltojen ylläpito, Tiehallinto 2009).

Toisaalta myös nopea Uudenmaan tiepiirin huonokuntoisten siltojen osuuden nousu vuosien 2003-2009 välillä on merkille pantavaa. Mutta niiden osuus on kuitenkin pienentynyt muiden mukana vuonna 2010.

3 TERÄSBETONISILLAN KANNEN KUIVATUSJÄRJESTELMÄ

3.1. Kuivatusjärjestelmän rakenne

Siltojen betonirakenteiden ongelmia ovat alttius veden, pakkasen ja suojojen aiheuttamalle rapautumiselle, halkeilu sekä karbonatisoituminen ilman hiilidioksidin vaikutuksesta. Vaaralliseksi tilanne alkaa muodostua, kun raudoitusta suojaava betonipeite on menettänyt emäksisyytensä tai rapautunut. Betonipeitteen paksuudella ja laadulla on siis ratkaiseva merkitys. Vauriotyyppejä ovat betonin pintavauriot ja halkeamat sekä raudoituksen korroosio. Kosteaa ympäristöä on melkein aina vaikuttamassa betonirakenteiden vaurioitumiseen (SILKO 1.201 Betonirakenteet 11/07). Tällöin kunnossa oleva sillan kannen vesieristys ja toimiva sillan kannen kuivatusjärjestelmä ovat olennaiset osat lisäämään sillan kannen pitkäaikaiskestävyyttä.

Siltakannen kuivatuksen periaate on:

1. Pintavesien poisjohto
2. Suotovesien poisjohto
3. Betonin rakennekosteuden hallinta

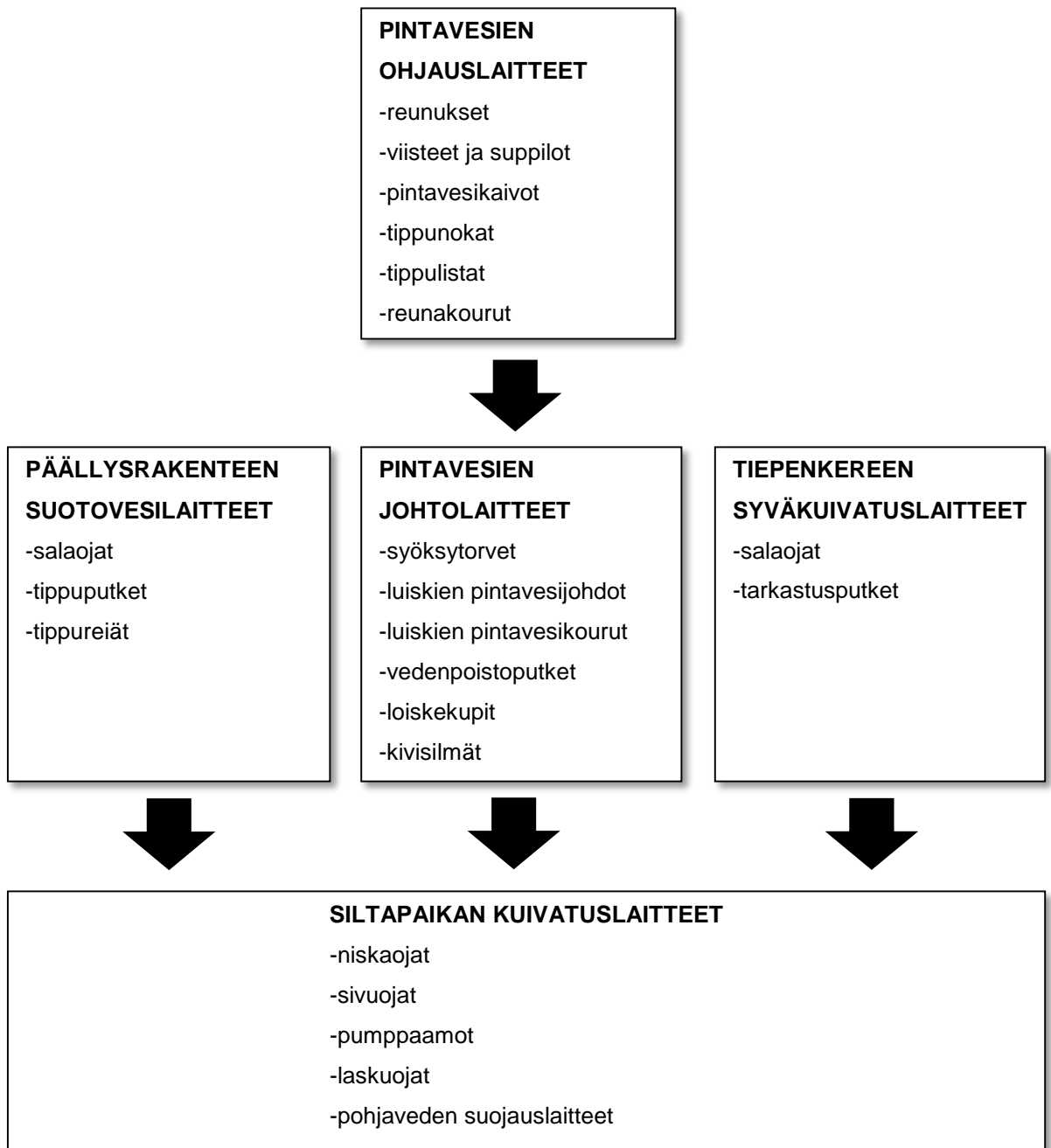
Sillan ja siltapaikan kuivatuksen liittyvien rakenteiden pääryhmittely on seuraava (kaavio 4):

1. Pintavesien ohjauslaitteet
2. Pintavesien johtolaitteet
3. Päälysrakenteen suotovesilaitteet
4. Tiepenkereen syväkuivauslaitteet
5. Siltapaikan kuivatuslaitteet

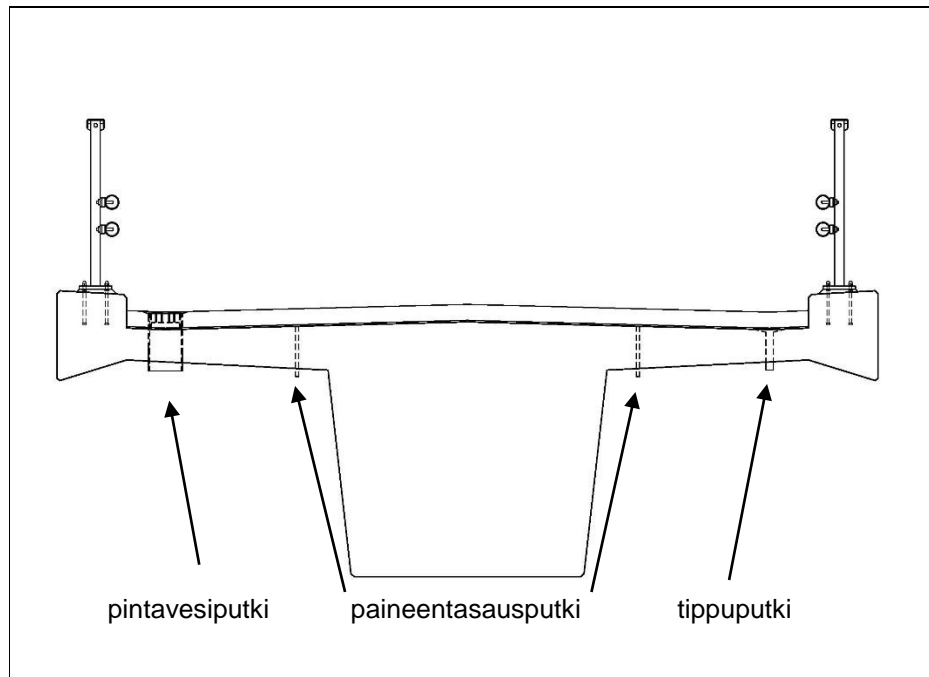
Sillan kannen kuivatuslaitteita ovat:

- pintavesiputket, syöksytorvet, tippuputket, salaojat, vedenpoistoputket ja tarkastusputket
- pintavesikaivot ja tarkastuskaivot
- reunukset ja viisteet, reuna- ja pintavesikourut, loiskekupit, reunatuet ja tippulistat

(SILKO 1.601 Kuivatuslaitteet 11/99)



Kaavio 4. Sillan ja siltapaikan kuivatuslaitteet (SILKO 1.601 Kuivatuslaitteet 11/99).



Piirros 1. Siltakannen kuivatuslaitteita (Sillanrakennus oppimateriaali).



Kuva 1. Pintavesiputki ennen kannen eristämistä (Sillanrakennus oppimateriaali).

Sillan kannen kuivatuslaitteiden materiaalit:

Luiskien pintavesiputkina ja tarkastusputkina käytetään standardin SFS 5103 mukaan polyeteenistä (PEH) valmistettuja putkia. Siltapaikan luiskiin asennettavissa pintavesiputkissa voidaan käyttää tehdasstandardien mukaan valmistettuja polyeteeni-uusiomuoviputkia: Molempien putkityyppien on täytettävä käyttöluokan T vaatimukset. PEH-putket voidaan yleensä liittää hitsaamalla, mutta uusiomuovisia ei saa hitsata. PEH-putkien väri on musta (SILKO 1.601 Kuivatuslaitteet 11/99).

Tippuputket tehdään ruostumattomasta teräksestä, jonka standardin SFS-EN 10088-1 mukainen numero on 1.4307 (X2CrNi18-9). Syöksytorvien yläosat tehdään haponkestävästä teräksestä, jonka standardin SFS-EN 10088-1 mukainen numero on 1.4432 (X2CrNiMo17-12-3) (SILKO 1.601 Kuivatuslaitteet 11/99).

Syöksytorven jatko-osa tehdään polyeteeni-uoviputkesta (PEH) taikka ruostumattomasta tai kuumasinkitystä teräsputkesta (SILKO 1.601 Kuivatuslaitteet 11/99).

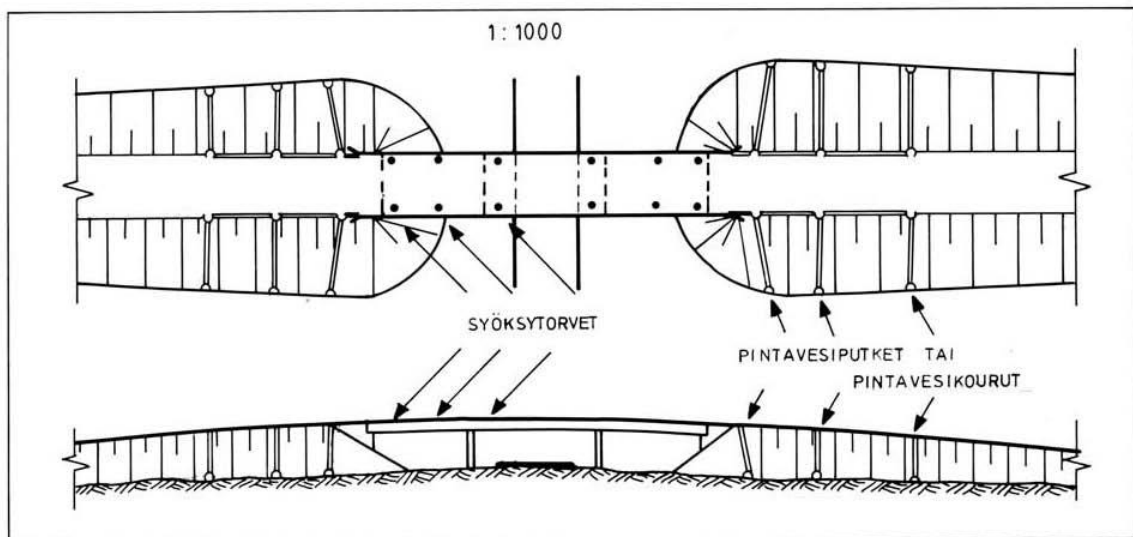
Tippuputken jatko-osa tehdään ruostumattomasta teräsputkesta tai polyeteeniputkesta. Kuumasinkittävän teräksen pitää täyttää vähintään standardin SFS-EN 10025 teräslaadun S235JRG2 (vanha merkintä Fe 37 B) mukaiset laatuvaatimukset. Kuumasinkitys tehdään standardin SFS-EN ISO 1461 liitteen F (Fe/Zn 115) mukaiseen kerrospaksuuteen (SILKO 1.601 Kuivatuslaitteet 11/99).

Salaojaputkina käytetään standardin SFS 5211 mukaisia salaojaputkia. Ajouradan alle tulevien putkien pitää olla polyeteeniä (PEH) ja muualla voidaan käyttää polyvinyylidikloridista (PVC) valmistettuja putkia (SILKO 1.601 Kuivatuslaitteet 11/99).

Sillan ajoradan kuivatus suunnitellaan viettokaltevuuksien avulla. Viettokaltevuuden pitää normaalisti olla vähintään 2 % ja poikkeuksellisestikin vähintään 1 %. Jos sillan pituuskaltevuus on alle yhden prosentin ja silta on siirtymäkaaren osalla, tien sivukaltevuudet on suunniteltava siten, että viettokaltevuudeksi tulee vähintään 1 % (SILKO 1.601 Kuivatuslaitteet 11/99).

Sillan kuivatuksen pääsääntö on, ettei vesiä johdeta tarpeettomasti sillalta tai päinvastoin. Sillan päihin joudutaan yleensä rakentamaan pintavesiputket tai pintavesikourut. Rakenteet tehdään välittömästi keilojen taakse tai niiden välittömään läheisyyteen taikka etuluiskan reunoihin (SILKO 1.601 Kuivatuslaitteet 11/99).

Jos tiepenkereellä virtaa runsaasti vettä, tehdään noin 10 metrin etäisyydelle sillan päästä toinen pintavesiputki tai pintavesikouru. Joskus näitä tarvitaan useampiakin, jolloin niiden paikat ja välimatkat voidaan määrittää syntyneiden eroosioaurioiden mukaan. Jos pintavesien virtaaminen sillan reunan yli on estetty, on siltaan tehtävä syöksytorvet 9 – 12 metrin välein (piirros 2).



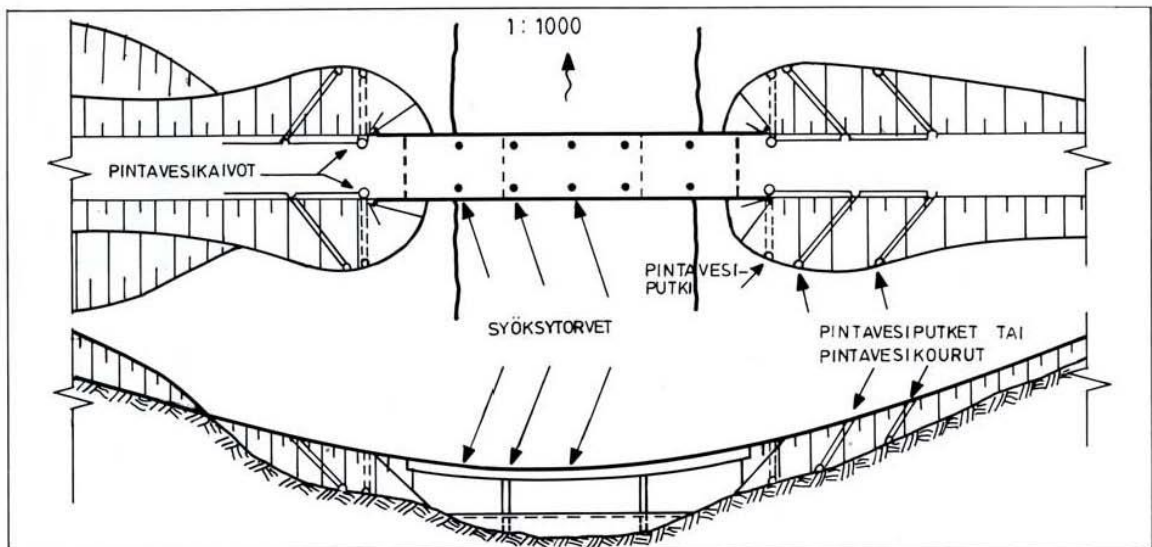
Piirros 2. Sillan syöksytorvet ja sillalta penkereille valuvien pintavesien johtaminen kaivojen kautta pintavesiputkiin tai reunusten avulla pintavesikouruihin kupeassa taitteessa olevalla sillalla (SILKO 1.601 Kuivatuslaitteet 11/99).

Jos pintavedet virtaavat sillalta liikuntasaumalaitteen tai liikuntaraon yli, viimeinen syöksytorvi on sijoitettava mahdollisimman lähelle päällysrakenteen päätä. Jos ajoradan viettokaltevuus on yli 5 %, tehdään kyseiseen kohtaan lähekkäin kaksi syöksytorvea (SILKO 1.601 Kuivatuslaitteet 11/99).

Jos silta on tasausviivan koverassa taitteessa, on syöksytorvet sijoitettava alimpaan kohtaan (piirros 3). usein on tarpeellista lyhentää syöksytorvien väliä.

Jos tiepenger viettää jyrkästi (yli 3 %) sillalle tai pintavedet eivät pääse vapaasti virtaamaan siipimuurien reunapalkkien yli, sillan ja penkereen rajakohtaan on tehtävä pintavesikaivo. Vaikeimmissa tapauksissa voidaan pintavesien virtaus ajorataa pitkin katkaista asentamalla tien poikki ritiläkantainen pintavesikouru tai asentamalla pakottavassa tapauksessa avonaisen liikuntasauaman alle teräsrakenteinen pintavesikouru

(SILKO 1.601 Kuivatuslaitteet 11/99).



Piirros 3. Sillan syöksytorvet ja sillalta penkereille valuvien pintavesien johtaminen kaivojen kautta pintavesiputkiin tai reunusten avulla pintavesikouruihin kuperassa taitteessa olevalla sillalla (SILKO 1.601 Kuivatuslaitteet 11/99).

Paineentasauskermiä saa käyttää tilaajan erikseen antamalla luvalla silloilla, joiden pituuskaltevuus on enintään 4 %. Paineentasauskermiä ei saa käyttää ramppisilloilla tai liikennevalojen lähellä olevilla silloilla. Paineentasauskermejä käytettäessä kansilaatta tulee varustaa paineentausputkilla suunnitelman mukaisesti. Kermejä asennettaessa on eristys jaettava noin 10 m:n välein kannen pituussuunnassa kannen poikki eristyksen jakaviin 0,2 ...0,3 metrin kaistoihin liimaamalla paineentasauskermi kauttaaltaan kumibitumilla kiinni alustaansa (InfraRYL 2006, osa 3).

Poikkeuksena edelliseen kohtaan voidaan vähäliikenteisten teiden silloilla (liikennemäärä (KVL) < 1500 ajoneuvoa/vrk) ohuemmilla betonikansilla (rakennepaksuus < 400 mm) betonikansi pohjustaa kumibitumiliuoksella tai käyttää epoksiivistystä. Teräs- tai betonipalkkisilloilla kuitenkin koko betoninen kansilaatta tiivistetään aina epoksilla, ellei käytetä suojabetonia (InfraRYL 2006, osa 3).

3.2. Vedeneristyksen rakenne

Pintarakenteeseen kuuluvat vesieristys ja päällystekerrokset. Pintarakenteen on tarkoitus suojata siltakansi kulutukselta, kosteudelta ja klorideilta. Kansilaatan suojaus pidentää oleellisesti rakenteen käyttöikä ja korjausväliä (Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet -NCCI 1).

Vesieristysratkaisut voidaan ryhmitellä seuraavasti:

1. Vedeneristys on kauttaaltaan kiinni alustassa.
2. Vedeneristys sekä siltakansi varustetaan paineentasausrakenteella.
3. Vedeneristys on kokonaan irti alustasta.

(Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet - NCCI 1)

Uusia siltoja rakennettaessa käytetään ensisijaisesti kauttaaltaan kannessa kiinni olevia ratkaisuja (1), joita pidetään kestävimpinä ja pitkäikäisimpinä. Paineentasausrakenteella varustettuja vedeneristyskiä (2) käytetään betonikantisilla silloilla erityisesti silloin, kun alustan riittävän alhaista kosteuspitoisuutta ei voida saavuttaa tai korjattavalla sillalla on esiintynyt toistuvasti eristyksen kuplimista (Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet - NCCI 1).

Alustasta irti olevat vedeneristykset (3) soveltuvat lähinnä maatäyttöisten siltojen korjauksiin silloin, kun vedeneristystöihin käytettävä urakka-aika on liian lyhyt ensisijaisten eristysten rakentamiseen. Nämä eristykset voidaan asentaa vanhojen betonipintojen tai eristysten päälle, mikäli tilaaja hyväksyy vanhan alustan korjaamatta jättämisen (Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet - NCCI 1).

Yhtenä pintarakennevaihtoehtona voidaan pitää rakennetta, jossa betonikanteen kiinnitetty kermieristys suojataan suojabetonilla. Suojabetonin ensisijaisena tarkoituksena on omalla painollaan estää vedeneristyksen kupliminen (Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet - NCCI 1).

Suojabetonin käyttö suolattavien teiden silloilla edellyttää aina erityisiä perusteita, koska betonin pakkas-suolarapautuminen lyhentää koko pintarakenteen käyttöikä ja rakenteen korjauskustannukset ovat vaikean poistettavuuden takia usein suuremmat kuin muilla pintarakenneratkaisuilla. Rautatiesilloilla suojabetoni on aina ensisijainen ratkaisu, josta voidaan poiketa ainoastaan tilaajan hyväksynnällä (Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet - NCCI 1).

Mikäli vedeneristys on kokonaan kiinni alustassaan, tiivistetään betonikansi yleensä eristeen kuplimisen välttämiseksi epoksilla tai muulla tuotekohtaisella tiivistys- tai esikäsitelyaineella. Alustan käsittelemistä kumibitumiliuoksella ei pidetä varsinaisena alustan tiivistysmenetelmänä vaan sen tarkoitus on lähinnä parantaa bitumipohjaisen eristeen tartuntaa vaikuttamatta sinänsä lainkaan alustan höyryntiiveyteen (Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet - NCCI 1).

3.3. Vedeneristysmateriaalit

Tyypillisimmät eristysratkaisut ovat kansimateriaalista riippumatta kaksinkertainen kermieristys, nestemäisenä levitettävä eristys sekä mastiksieristys. Nykyiset eristystyypit ovat olleet käytössä 1980-luvun alusta, jolloin moderneja kermi- ja mastiksieristyksiä ryhdyttiin valmistamaan kumibitumisista raaka-aineista. Nestemäisenä levitettävät eristykset tulivat käyttöön noin 10 vuotta myöhemmin (Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet - NCCI 1).

Betonisten siltakansien vedeneristysvaihtoehdot ovat:

1. Kaksinkertainen kumibitumikermieristys silloin, kun vedeneristykselle halutaan mahdollisimman pitkä käyttöikä. Hyväkuntoiselle betonialustalle tehdyn kermieristyksen arvioitu käyttöikä on 40 vuotta.
2. Nestemäisenä levitettävä vedeneristys samoin perustein kuin kermieristys. Arvioitu käyttöikä on 40 vuotta. Asennusmenetelmänsä ansiosta tämä on ainoa täysin työsaumaton vedeneristys.

3. Kumibitumimastiksieristys silloin, kun betonialusta on vaikea saada tasaiseksi tai kuivaksi. Mastiksieristys on nopea tehdä ja se on paineentasausrakenteensa ansiosta kuplimaton eriste. Arvioitu käyttöikä on 30 vuotta.
4. Kumimattoeristys ainoastaan maatäyttöisten rautatie- ja ajoneuvoliikenteen siltojen korjauksissa silloin, kun työt on tehtävä lyhyiden liikennekatkojen aikana eikä huonokuntoinen betonialusta sovellu alustaan kiinnitetyille vedeneristyksille. Kumimattoa ei kiinnitetä eristysalustaan, minkä takia se voidaan asentaa jopa märän betonin tai vanhan eristyksen päälle.
5. Bentoniittimattosuojaus maatäyttöisissä silloissa kuten vihersilloissa, joissa betonialusta ei sovellu alustaan kiinnitetyille vedeneristyksille ja betonirakenteiden sallitaan pysyvän kosteina (Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet - NCCI 1).

Betonikansilla kermi- ja mastiksieristyksen alusta tiivistetään yleensä epoksilla vesieristyksen kuplimisriskin vähentämiseksi. Lisäksi tiivistyskäsittely suojaa betonipintaa pakassuolarapautumiselta, mikäli vedeneristys vuotaa käytön aikana. Tiivistyskäsittely voidaan jättää kokonaan tai osittain pois silloin, kun eristys suojataan suojabetonilla, eristyksenä käytetään paineentasausrakenteella varustettua vedeneristystä tai kun kansilaatta on niin ohut tai kuiva, että kuplimista voidaan pitää epätodennäköisenä (Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet - NCCI 1).

Kuplimisen syy on betonissa oleva kosteus, jonka seurauksena sopivissa olosuhteissa syntyy tiiviin epoksin alle huomattava vesihöyrynpaine. (Siltojen ja muiden liikennöityjen alueiden vedeneristystöiden valvojan ja työnjohtajan koulutus 25. ja 26.3.2013, Hämeenlinna. Luentoaineisto, kehittämispäällikkö Jouko Lämsä, Liikennevirasto, Taitorakenneyksikkö).

Epoksitiivistystä käytetään InfraRYL mukaisesti betonikantisilla silloilla aina koko kansilaatan osalta, paitsi suojabetonia käytettäessä.

Vaihtoehtoisesti kumibitumiliuos/epoksitiivistys:

- vähäliikenteiset sillat < 1500 ajoneuvoa / vrk
- ohuet betonikannet < 400 mm

Teräs- tai betonipalkkisilloissa käytetään aina epoksitiivistystä (Siltojen ja muiden liikennöityjen alueiden vedeneristystöiden valvojan ja työnjohtajan koulutus 25. ja 26.3.2013, Hämeenlinna, luentoaineisto, kehittämispäällikkö Jouko Lämsä, Liikennevirasto, Taitorakenneyksikkö).

3.4. Vedeneristyksen toiminta

Vedeneristyksen tarkoitus on suojata siltakantta ylhäältä tulevalta kosteudelta ja suolavedeltä. Vedeneristykseltä vaaditaan vesitiiviyden lisäksi mm. seuraavia ominaisuuksia: hyvä tartunta alustaan koko käyttöiän, tällöin eristevaurioista johtuvat vuodot jäävät paikallisiksi ja niiden paikantaminen on helppoa. Hyvä leikkauslujuus (osittain sama edellisen ominaisuuden kanssa), muuten liikenteen jarruvoimat voivat aiheuttaa pintarakenteen liikkumista ja aaltoilua (SILKO 1.801 Kannen pintarakenteet, vedeneristykset 04/11).

Elastisuus alhaisissa lämpötiloissa estää rakennebetoniin tulevien halkeamien välittymisen eristekerrokseen ja takaa eristeen toimintakelpoisuuden myös kovilla pakkasilla. Kestävyys rakentamisaikaisia rasituksia vastaan, kyse on lähinnä päällystekerrosten levityksen aikaisesta lämpöshokista ja levityksen aiheuttamasta mekaanisesta rasituksesta. Suojakerroksia käytettäessä ei tätä ongelmaa ole, paitsi jos suojakerroksena käytetään asfalttia, niin sen maksimilämpötila levityksessä on otettava huomioon. Taloudellisuus, eristeiden kustannuksia laskettaessa tulisi selvittää elinkaarikustannukset (SILKO 1.801 Kannen pintarakenteet, vedeneristykset 04/11).

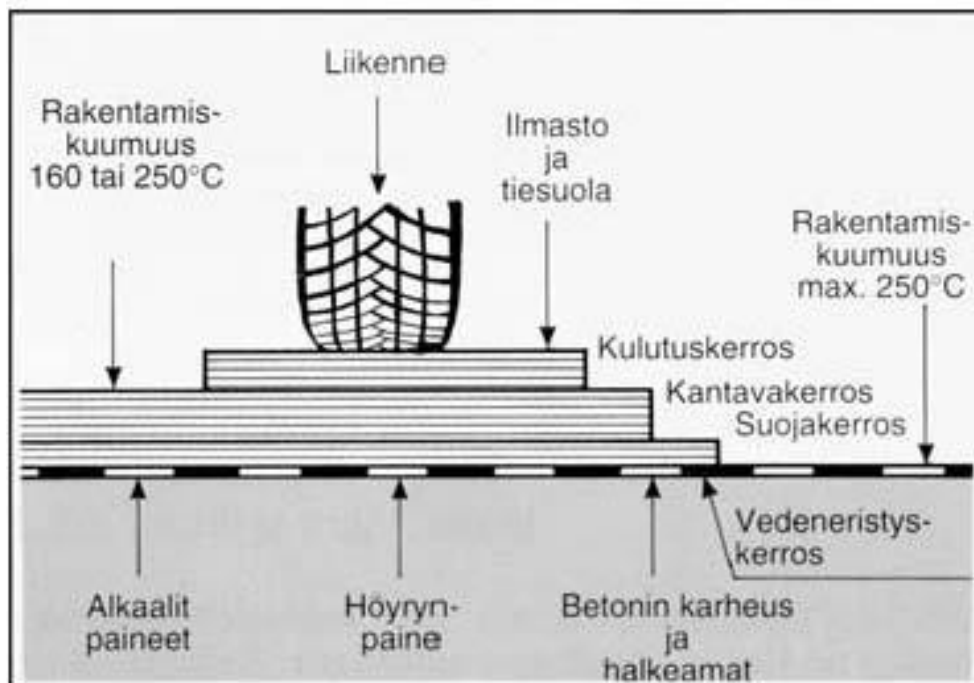
3.5. Vedeneristyksen rasitukset

Jos sillan vedeneristys ei ole kunnossa, kosteus ja tiesuolat aiheuttavat seuraavia haitallisia, raudoituksen korroosioon johtavia ilmiöitä kansilaatan betonissa: kapillaarinen kosteus lisääntyy (betonin pinnassa olevan jään sulaessa), kosteuden haihtuminen hidastuu (sitoo kosteutta), vaurioita aiheuttava sisäinen paine kasvaa rakenteen jäätyessä, jäätymis-sulamisjaksot lisääntyvät talven aikana (SILKO 1.801 Kannen pintarakenteet, vedeneristykset 04/11).

Sillan pintarakenne eroaa tien muista osista siinä, että alusta on painumaton. Kantavan laatan päällä on vedeneristys, jonka päällä ovat muut kannen pintarakenteet: suojakerros, sidekerros ja kulutuskerros. Sillan kannen vesieristykseen kohdistuu suuria rasituksia (kuva 2.), jotka sen on kestettävä (SILKO 1.801 Kannen pintarakenteet, vedeneristykset 04/11).

Yksilöidymmin nämä rasitustekijät vaikuttavat sillan rakentamisen ja käytön aikana seuraavasti, eristämisen ja päällystämisen aikana vaikuttavat:

betonipinnan epätasaisuudet, sementtikalvo betonin pinnassa, erilaiset betonin pintakäsittelyt, työnaikaisesta liikenteestä johtuvat kuormat, irtokivien painuminen vedeneristykseen pintaan, polttoaineiden vuodot työkoneista, terävien työvälineiden putoamisesta aiheutuvat vauriot, pinnan likaantuminen tartuntaa heikentävästi, päällysteen levityslämpötila ja päällystemassan kuumen kiviaineksen tunkeutuminen vedeneristykseen, päällysteen levityksen ja tiivistyksen aiheuttamat leikkausvoimat, suuret vaihtelut lämpötilassa, kosteudessa ja säätilassa, sade, tuuli ja pöly (SILKO 1.801 Kannen pintarakenteet, vedeneristykset 04/11).



Kuva 2. Sillan kannen pintarakenteeseen kohdistuvia kuormituksia.

(SILKO 1.801 Kannen pintarakenteet, vedeneristykset 04/11)

Vedeneristyksen tulee olla vesitiivis ja kestävä vuotamatta vallitsevat ilmasto-olosuhteet, vedenpaineen ja liikenteen aiheuttamat rasitukset sekä lämpötilasta ja kutistumasta aiheutuvat rakenteiden muodonmuutokset (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus, Tiehallinto, 2009).

Jos vedeneristys on tarttunut hyvin alustaansa, jäävät yksittäisen eristysvauriokohdan haitat olla olevalle rakenteelle paikallisiksi. Alustasta irti olevan eristyksen alla pääsee vesi leviämään mahdollisesta vuotokohdasta laajalle alueelle ja voi johtaa laaja-alaisiin betonin tai sen raudoituksen vaurioihin (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus, Tiehallinto, 2009).

Yleensä vedeneristyksen ja sen alustan välille pyritään saamaan aikaan hyvä tartunta. Tällaisia eristysrakenteita, joissa pyritään hyvään tartuntaan, ovat esim. kauttaaltaan alustaan kiinnitetty kermi- tai nestemäisenä levitettävä eristys. Mastiksieristysten tartunnalle ei ole asetettu vaatimuksia (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus, Tiehallinto, 2009).

Käytön aikana vedeneristys saattaa joutua alttiiksi seuraaville rasituksille:

Lämmönvaihtelu ja lämpötilaerot ovat suuria, suhteellinen kosteus vaihtelee, vesi, jää ja lumi, pinnan läpi välittyvät kiihdytys-, jarrutus- ja kääntövoimat, rakenteelliset liikkeet ja vaakasuorat vetovoimat (lämpöliike), kansilaatan ja päällysteen halkeamat, lammikoituneen veden ja liikenteen aiheuttama hydraulinen paine, veden ja liuotteiden aiheuttama höyrynpaine, tiesuolat, uudelleenpäällystys- ja kannenkorjaustyöt (SILKO 1.801 Kannen pintarakenteet, vedeneristykset 04/11).

Materiaalin vanheneminen sekä suunnittelu-, materiaali- ja työvirheet aiheuttavat laajoja vaurioita, jotka johtavat vedeneristyksen uusimiseen. Tavallisia syitä vaurioihin ovat: eristysalusta ei ole ollut ohjeiden mukainen, usein alusta on ollut liian kostea. Alustassa on ollut haitallisia aineita, työkoneista valunutta öljyä tms. Kermien levittäminen liian kostealle alustalle aiheuttaa kermin kuplimisen ja irtoamisen alustastaan. Joskus vauriot ilmenevät vasta muutaman vuoden kuluttua. Eristyskermin lasikankainen tukikerros on vaurioitunut alkalisen (emäksisen) veden vaikutuksesta. Mastiksin sekoittuminen päällysteeseen ja halkeilu. Kaidepylväät lävistävät vedeneristyksen. Kansilaatan rakenteelliset halkeamat rikkovat myös vedeneristyksen. Sillassa ei ole kuivatusjärjestelmää tai se ei toimi. Suolakorroosio on vaurioittanut suojabetonin. Päällysteen vauriot. (SILKO 1.801 Kannen pintarakenteet, vedeneristykset 04/11).

Vedeneristyksen kunto on syytä arvioida ennen päällystystä. Yksittäisissä vauriotapauksissa harkitaan paikkausmahdollisuuksia. Muuten pintarakenteet uusitaan kokonaan (SILKO 1.801 Kannen pintarakenteet, vedeneristykset 04/11)

Jos kannen pintarakenteet uusitaan, kannen alapinnasta poistetaan kalkkiläiskät, jotta jatkossa voidaan seurata vesivuotojen uusiutumista. Liikennevirasto arvioi siltojen vedeneristysten kuntoa systemaattisesti (SILKO 1.801 Kannen pintarakenteet, vedeneristykset 04/11).

3.6. Vedeneristyksen kupliminen

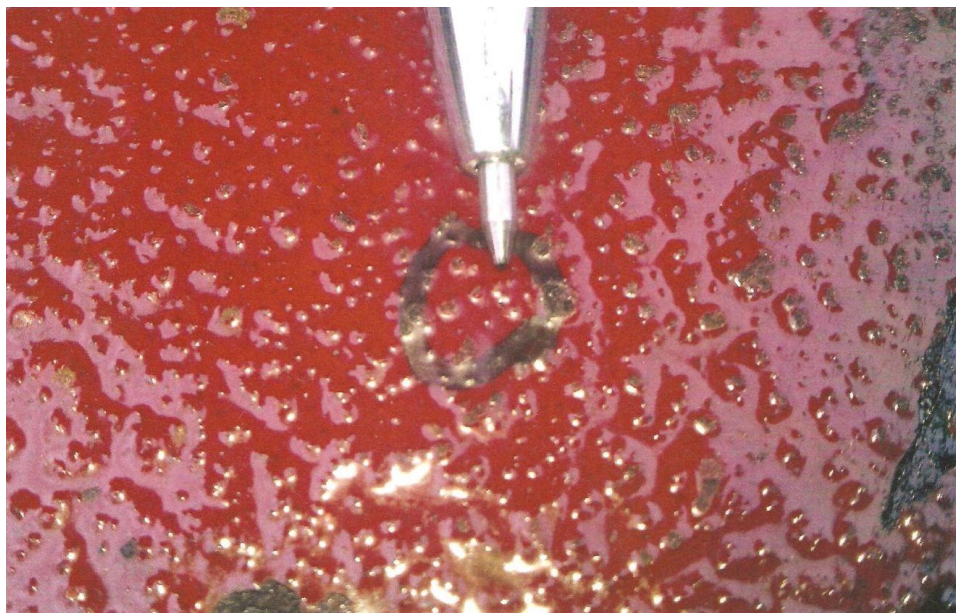
Vedeneristyksen kuplimista on tutkittu 1990-luvulla, jolloin selvitettiin useilla silloilla sekä laboratoriossa tehdyillä kokeilla kuplimisen syitä. Useimmiten kuplimisen syy on betonissa oleva kosteus, jonka seurauksena sopivissa olosuhteissa syntyy tiiviin epoksin alle huomattava vesihöyrynpaine. Ellei epoksi ole riittävän kovaa ja tiivistä, purkautuu höyry epoksiin jääneistä huokosista eristyksen alle ja irrottaa eristyksen alustastaan muodostaen kuplan. Kupla voi tulla vaikka epoksi olisi tiivis, jos epoksin päälle on jäänyt kosteutta ennen aluskermin asennusta, aluskermi on varastoitu väärin ja päässyt kastumaan kondenssiveden tai sateen johdosta tai kupla voi tulla alus- ja pintakermin väliinkin.



Kuva 3. Tavallinen huokosreikä epoksissa. (Kuva: Siltojen ja muiden liikennöityjen alueiden vedeneristystöiden valvojan ja työnjohtajan koulutus 25. ja 26.3.2013, Hämeenlinna. Luentoaineisto, kehittämisspäällikkö Jouko Lämsä, Liikennevirasto, Taitorakenneyksikkö).

Kuplasta otetuissa näytteissä kaasussa on typpeä, happea ja hiilidioksidia yht. n. 98,8 til.-%, vettä n. 1,20-1,80 til.-% ja hiilivetyjä 0,0005-0,0009 til.-%. Nykyisistä betonimasan lisäaineista ei pitäisi muodostua muita kaasuja. Tutkituissa kohteissa paljastui myös lähes aina työvirheitä. Vanhan vedeneristeen vuotaessa, mikä näkyy kannen alapinnassa kalkkihärmeenä, poistetaan yleensä koko vanha eristys ja kannen yläpinnassa oleva kloridipitoinen betoni. (Siltojen ja muiden liikennöityjen alueiden vedeneristystöiden valvojan ja työnjohtajan koulutus 25. ja 26.3.2013, Hämeenlinna. Luentoaineisto, kehittämispäällikkö Jouko Lämsä, Liikennevirasto, Taitorakenneyksikkö).

Oikein tehdyn ja laatuvaatimukset täyttävän epoksitiivistyksen on todettu olevan paras keino poistaa eristyskuplimisongelmat. Jollei epoksitiivistys ole vedenpitävä, se ei toimi suunnitellulla tavalla kuplimisen estämiseksi. Kovettuneen tiivistysepoxin vesitiiveys todetaan eristysvastusmittauksella (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus, Tiehallinto, 2009).



Kuva 4. Mikrohuokosreikä epoksissa (Kuva: Siltojen ja muiden liikennöityjen alueiden vedeneristystöiden valvojan ja työnjohtajan koulutus 25. ja 26.3.2013, Hämeenlinna. Luentoaineisto, kehittämispäällikkö Jouko Lämsä, Liikennevirasto, Taitorakenneyksikkö).

4 TERÄSBETONISILLAN KANNEN VEDENERISTYKSEN TYYPILLISET VAURIOT JA KORJAUSMENETELMÄT

4.1. Vedeneristyksen tyypillisiä vaurioita

Joidenkin siltatyypien kansilaatan yläpinta on tehty kaukaloksi, josta vesi ei pääse poistumaan. Tällaisiin tapauksiin on puututtava rakentamalla siltaan kuivatuslaitteita (Sillantarkastusohje, Tiehallinto 2004).

Jos päällysteessä on kauttaaltaan tai paikallisesti halkeamia, myös alapuoliset kannen pintarakenteet ovat melko varmasti vaurioituneet, kuva 3. Kysymyksessä on jäätymisvaurio, joka aiheutuu useimmiten siitä, että vesi ei pääse poistumaan vedeneristyksen päältä. Joskus syynä on alustastaan irti olevan suojabetonin murtuminen (Sillantarkastusohje, Tiehallinto 2004).

Jos sillan päällysteenä on ohutkerrospäällyste, se toimii samalla vedeneristyksenä. Päällysteen eheyteen on kiinnitettävä erityistä huomiota (Sillantarkastusohje, Tiehallinto 2004).



Kuva 5. Verkkohalkeamaa päällysteessä (Kuva: Sillantarkastusohje, Tiehallinto 2004).

Materiaalin vanheneminen sekä suunnittelu-, materiaali- ja työvirheet aiheuttavat laajoja vaurioita, kuva 6. (SILKO 1.801 Kannen pintarakenteet, vedeneristykset 04/11).



Kuva 6. Vuotavat halkeamat, kalkkipuikot ja kalkkiläiskät ovat merkkejä laajoista vedeneristyksen vaurioista (Kuva: SILKO 1.801 Kannen pintarakenteet, vedeneristykset 04/11).

Yleisimmin kuivatuslaitteissa esiintyvät vauriot aiheutuvat suunnittelu- tai työvirheistä, jolloin vesi leviää rakenteen pinnalle väärin muotoillun tai puuttuvan tippunokan vuoksi taikka valuu kuivatuslaitteen ulkopuolelta, kuva 7 (Sillantarkastusohje, Tiehallinto 2004).



Kuva 7. Vesivuoto tippuputken ulkopuolelta (Kuva: Sillantarkastusohje, Tiehallinto 2004).

Teräsbetonikannen pintarakenteiden vauriot ilmenevät vesivuotona kansilaatan läpi tai päällysteen rikkoutumisena. Vesi suotautuu vedenjohtolaitteiden ulkopuolelta tai halkeamista, kuva 8 (Sillantarkastusohje, Tiehallinto 2004).



Kuva 8. Kansilaatan vesivuoto (Kuva: Sillantarkastusohje, Tiehallinto 2004).

Jos vesivuotoa esiintyy, vedeneristys on vaurioitunut esimerkiksi seuraavista syistä:

- Jos mastiksieristyksessä tai jutekankaalla vahvennetussa bitumieristyksessä on käytetty kovaa bitumilaatua, rakenteelliset halkeamat lävistävät yleensä myös vedeneristyksen.
- Betonin alkalisuus tuhoaa lasikangasmaton tukikerroksen. Tilannetta pahentaa, jos vesi ei pääse poistumaan vedeneristyksen päältä.
- Jos vedeneristyksen reuna on tiivistetty huonosti, vesi pääsee eristyksen alle.
- Mastiksieristys on arka työvirheille, jolloin eristykseen jää helposti huonosti tiivistyneitä (harvoja) kohtia tai eristys jää liian ohueksi.
- Sillan reunan massaeristys on jäänyt korjaustyössä liian ohueksi ja liitoskohtaa ei ole saatu tiiviiksi (Sillantarkastusohje, Tiehallinto 2004).

4.2. Kannen vedeneristykset

Siltojen vedeneristykset on 1970-luvulle asti useimmiten tehty siten, että kuumabitumi-sivelyjen välissä on juuttikangas. Myöhemmin on käytetty lasikangasbitumimattoja ja vuodesta 1983 lähtien kumibitumikermejä ja kumibitumimastiksia. Vedeneristys on yleensä suojattu suojabetonilla 1980-luvun puoliväliin asti. Vedeneristysmateriaalien kehittyä on sittemmin siirrytty suojabetonittomiin rakenteisiin (taulukko 4) suojabetonin rapautumisvaurioiden sekä kustannussyiden vuoksi. Siltoja korjattaessa suojabetonia ei kuitenkaan poisteta, jos se on kunnossa eikä kansilaatan läpi ole vesivuotoa. Perustellusta syystä suunnittelija voi edelleen käyttää suojabetonia (SILKO 1.801 Kannen pintarakenteet, vedeneristykset 04/11).

Sillan kannen kermin ja asfaltin kuplimisilmiön takia käytetään nykyään epoksitiivistystä kannen betonipinnassa. Epoksitiivistys suojaa myös betonikantta suolarasitukselta sekä tunkeutuu huokosiin ja lujittaa betonia (RATEKO-koulutus, epoksitiivistys siltakansilla, Jorma Sikstus, Sto Finexter Oy).

Taulukko 4. Silloissa käytettävät vedeneristysmenetelmät ja –materiaalit (SILKO 1.801 Kannen pintarakenteet, vedeneristykset 04/11).

VEDENERISTYS-MENETELMÄ	TARTUNTA- TAI TIIVISTYSAINE *)	ERISTYS-MATERAALI	SUOJA-MATERIAALI
Kermieristys	Kumibitumiliuos tai epoksitiivistys	Alus- tai pintakermi	Asfaltti AA 5/50 tai AB 5/50 tai kuitukangas ja hiekka
Mastiksieristys	Kumibitumiliuos niille osille, joille ei tule paineentasauserkkoa tai epoksitiivistys	Kumibitumimastiksi, jonka alla käytetään yleensä paineentasauserkkoa	Asfalttisuojakerros AB 11/60
Nestemäisenä levitettävä eristys (massaeristys)	Tuotekohtainen tartunta- ja tiivistysaine	Eristysmassa (PUR tms.)	Valuasfaltti KBVA 11/50 (PUR) tai tuotekohtaisesti hyväksytty suojaus

*) Eristysalusta käsitellään tarvittaessa *InfraRYL:n osan 3/1/* kohdan 42310.3.2.1 mukaan (kermi), *InfraRYL:n osan 3/1/* kohdan 42310.3.2.2.2 mukaan (mastiksi) tai *InfraRYL:n osan 3/1/* kohdan 42310.3.2.3 mukaan (nestemäisenä levitettävä eristys).

Periaateratkaisu tehdään vaihtoehtoja vertailemalla. Vedeneristys voidaan vaihtoehtoisesti uusina kermieristysnä, mastiksieristysnä tai nestemäisenä levitettävänä eristysnä (aikaisempi termi massaeristys). Niistä on laadittu eri SILKO-ohjeet 2.811, 2.812 ja 2.813. Tällöin verrataan kerma- mastiksi- ja nestemäisenä levitettävää eristystä toisiinsa laadun ja kustannusten suhteen (SILKO 1.801 Kannen pintarakenteet, vedeneristykset 04/11).

- Mastiksieristys tulee kysymykseen, jos sillassa on aikaisemmin ollut mastiksieristys ja paineentasauspätket. Jos sillassa ei ole paineentasauspätkiä ja kansilaatta on paksu, mastiksieristystä ei yleensä käytetä, koska mahdollisia vesivuotoja ei tällöin voida havaita ja paineentasauspätkien teko nostaa kohtuuttomasti kustannuksia. Epätasainen eristysalusta taas puoltaa mastiksin käyttöä.
(SILKO 1.801 Kannen pintarakenteet, vedeneristykset 04/11).

- Nestemäisenä levitettävä eristys tulee yleensä kysymykseen, jos
 - eristysalustassa on paljon halkeamia
 - sillassa on useita liikuntasauvoja, joiden kokonaisliikemäärä on alle 5 mm
 - sillassa on kiviset reunapalkit, jolloin ainakin reunojen vedeneristys tehdään yleensä nestemäisenä levitettävänä eristysnä
 - kansilaatassa on paljon tiivistettäviä läpivientejä.(SILKO 1.801 Kannen pintarakenteet, vedeneristykset 04/11).

Nestemäisenä levitettävä eristys tulee kysymykseen myös vedeneristysnä korjauksen yhteydessä (SILKO 1.801 Kannen pintarakenteet, vedeneristykset 04/11).

4.3. Kannen päällysteet

Liikennemäärätietoja tarvitaan päällysteen uusimista ja urapaikkausta ohjelmoitaessa. Lisäksi saattaa poikkeuksellisen suuri raskaan liikenteen määrä aiheuttaa päällysteessä muodonmuutoksia (plastinen deformaatio), jotka voidaan ennustaa liikennetietoja analysoimalla.

Päällysteen uusimista suunniteltaessa on otettava huomioon seuraavat kolme uusimisen vaihtoehtoa:

1. Uusitaan vain kulutuskerros. Tällöin vanha päällyste jyrsitään ja tehdään uusi kulutuskerros.
2. Uusitaan kaikki päällystekerrokset, mutta mahdollinen suojabetoni tai muu suojakerros jää paikoilleen.
3. Uusitaan kaikki kannen pintarakenteet.

(SILKO 1.802 Kannen pintarakenteet, päällysteet 02/2014).

Päällystekerrosten lisääminen entisten päälle ei ole suositeltavaa, koska ne lisäävät sillan omaa painoa. Sillalla saa olla korkeintaan yksi ylimääräinen päällystekerros, jos sillan kantavuus tämän sallii. Suunnittelija varmistaa, että pintarakenteen paino, pinnan korkeusasemat ja sillan kantavuus ovat vaatimusten mukaiset. Päällysteen pinnan korkeusaseman nousu pienentää myös sillan kaiteen korkeutta (SILKO 1.802 Kannen pintarakenteet, päällysteet 02/2014).

Taulukossa 5. on esitetty eri päällystetyyppien ohjeelliset käyttöalueet silloilla.

Taulukko 5. Siltojen päällystetyyppien ohjeelliset käyttöalueet
(SILKO 1.802 Kannen pintarakenteet, päällysteet 02/2014).

Päällystetyyppi	Maksimi- raekoko mm	Alue
Kumibitumivaluasfaltti KBVA	16	Auto- kaistat
Asfalttibetoni AB	16–22	
Kivimastiksiasifaltti SMA	16–22	
Asfalttibetoni AB	11	Jalka- käytävät
Kumibitumivaluasfaltti KBVA	11	

Sillan päällystystyyppiä valittaessa lähtökohtana on tieosan yleinen päällystetyyppi. Tästä voidaan poiketa silloin, kun sillan päällysteeltä vaaditaan poikkeavaa kulutuskestävyyttä, tiiviyyttä, muodonmuutoskykyä tai tärinänkestävyyttä tms.

(SILKO 1.802 Kannen pintarakenteet, päällysteet 02/2014).

- Vilkaasti liikennöidyillä teillä ($KVL > 5000$ ajon/vrk) päällysteen kulumiskestävyttä voidaan parantaa erityisesti käyttämällä asfaltissa kovaa (I-lk) kiviainesta. Suuri maksimiraekoko (22 mm) ja kulutuspinnassa oleva suuri karkean kiviaineksen määrä (SMA-rakeisuus) parantavat myös kulutuskestävyyttä.
- Koska kumibitumiasfaltti on tiivis ja kestää hyvin kulutusta, se on suositeltavaa ottaa vertailuun mukaan, koska sillan päällysteiden yhtenä tehtävänä on alapuolisten rakenteiden suojaaminen suolavedeltä.
- Jos vaaditaan erityisen hyvää pakkasenkestävyyttä, voidaan sideaineena käyttää kumibitumia (SILKO 1.802 Kannen pintarakenteet, päällysteet 02/2014).

Betonipäällyste uusitaan entisen kaltaisena, jos liikuntasaumalaitteet tai muut sillan rakenteet rajaavat käytettävissä olevan rakennepaksuuden vain betonipäällysteelle sopivaksi. Muuten on syytä vertailla eri päällystemenetelmiä. Betonipäällysteiden käyttöä on syytä välttää voimakkaasti suolattavilla silloilla (SILKO 1.802 Kannen pintarakenteet, päällysteet 02/2014).

Yleensä siltapäällyste pyritään korjaamaan samalla kun siltaan liittyvä tiepäällyste.

Sillan päällysteen uusimista ja paikkaamista varten laaditaan työselitys, jossa tulee olla tarvittaessa ohjeet seuraavista toimenpiteistä:

(SILKO 1.802 Kannen pintarakenteet, päällysteet 02/2014)

- vanhojen päällystekerrosten purkaminen tai paikattavan kohdan esikäsittely
- päällysteen alapuolisten rakenteiden tai kuivatusjärjestelmän kunnostaminen
- vedeneristyksen uusiminen tai kunnostus
- päällysteen laatuvaatimukset
- työssä noudatettavat vaatimukset ja ohjeet
- saumat ja muut viimeistelytyöt
- laadunvarmistus

(SILKO 1.802 Kannen pintarakenteet, päällysteet 02/2014). Teräsbetonisillan kannen päällysteet

Siltaa uudelleen päällystettäessä noudatetaan asfalttipäällysteiden EN-tuotestandardeja ja voimassa olevia asfalttinormeja. Jos sillan päällystäminen kuuluu osana laajempaan tienpäällystystyöhön, valvonta tapahtuu urakkakokonaisuuden yhteydessä. InfraRYL osassa 1 on myös laadunvalvontaa ja kelpoisuuden osoittamista koskevia määräyksiä ja vaatimuksia (SILKO 1.802 Kannen pintarakenteet, päällysteet 02/2014).

Asfalttimassan koostumuksen tärkeimmät tekijät ovat kiviaineksen rakeisuus ja massan sideainepitoisuus. Jos rakeisuuskäyrälle on urakka-asiakirjoissa asetettu vaatimus, sen on oltava ohjealueella. Jos asfalttimassan toiminnallisille ominaisuuksille, kuten kulumis-, deformaatio-, vedenkestävyys-, pakkasenkestävyys- tai tiivistettävyysominaisuuksille asetetaan urakka-asiakirjoissa laatuvaatimuksia, ne on tutkittava asfalttimassan suunnittelun yhteydessä (SILKO 1.802 Kannen pintarakenteet, päällysteet 02/2014).

5 TERÄSBETONISILTOJEN VEDENERISTYSTEN LAADUNVARMISTUS

5.1. Ohjeisto

Siltojen korjausohjeita eli SILKO-ohjeita laaditaan Tiehallinnon (nykyisin Liikenneviraston) SILKO-projektissa. SILKO-projekti on ollut käynnissä jo 80-luvulta, ohjeita päivitetään jatkuvasti.

SILKO-projektin tavoitteet ovat

- korjausrakentamisen kehittäminen
- rakenteiden säilyvyyden parantaminen
- tietoa materiaalien, menetelmien ja rakenneratkaisujen pitkäaikaiskestävyydestä
- vaikuttaminen siltojen uudisrakentamiseen ja ylläpitoon

(SILKO 1.101 Yleisohjeet, ohjeiston tarkoitus, käyttö ja tilaaminen 12/02).

SILKO-projekti liittyy läheisesti Siltojen hallintajärjestelmään (SIHA). Tiedot korjaustoimista tallennetaan Siltarekisteriin ja korjaustöiden onnistumista seurataan siltojen tarkastusjärjestelmästä saatavien tietojen perusteella

(SILKO 1.101 Yleisohjeet, ohjeiston tarkoitus, käyttö ja tilaaminen 12/02).

SILKO-projektin tärkeä osa on koulutus. Koulutustilaisuuksissa esitellään

- suositeltavat korjausmenetelmät
- hyväksytyt korjausaineet
- kokemuksia korjauskokeiluista

(SILKO 1.101 Yleisohjeet, ohjeiston tarkoitus, käyttö ja tilaaminen 12/02).

InfraRYL laadunohjaushanke käynnistyi osana TEKES:n Infra -teknologiaohjelmaa ja sen tavoitteena oli laatia alan yhteistyönä lopputuotteen laatuvaatimukset parantamaan koko infra-alan menetelmien ja lopputuotteiden laatua. Uudella tavalla aseteltujen laatuvaatimusten tarkoituksena oli päästä tilaamaan kokonaisuuksia, joiden puitteissa on tilaa ideointiin ja tuotekehitykseen (www.rts.fi, haettu 11.9.2015).

Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset, RYL on yleisesti saatavilla oleva, kaikkien rakennushankkeen osapuolten etukäteen hyväksymä kirjallinen hyvän rakennustavan kuvaus (www.rts.fi, haettu 11.9.2015).

Koko alan yhteinen Infra -nimikkeistö on laadittu alan yhteistyönä. Nimikkeistökehitystyön tavoitteena oli tehdä sellainen yleisesti hyväksyttävissä oleva Infra -nimikkeistö, joka:

- kattaa infrarakentamisen kaikki keskeiset lopputuotteet,
- mahdollistaa organisaatiokohtaisten sovellusten teon ja
- on rakenteeltaan systemaattinen ja yhteensopiva muiden infrarakentamista sivuavien nimikkeistöjen kanssa (esim. Talo 2000 nimikkeistön ja teknisten järjestelmien nimikkeistöjen kanssa) (www.rts.fi, haettu 11.9.2015).

InfraRYL laadunohjaushankkeessa on laadittu ja julkaistu koko alalle yhteiset hyvät ja helposti ylläpidettävät laatuvaatimukset, niin että lopputuloksen laatu pysyy samana siirryttäessä tontilta kadulle ja sieltä edelleen yleisille teille yms. Laatuvaatimusten laadinnan yhteydessä muodostuneen tietokantaratkaisun pohjalta syntyi yhteinen infra-alan tietopalvelujärjestelmä, jota pidetään jatkuvasti yllä. Sen kautta voi saada tietoa esimerkiksi infra-alalla kulloinkin voimassa olevista säännöksistä (www.rts.fi, haettu 11.9.2015).

Hanketta johtamaan on Rakennustietosäätiöön perustettu valvova toimikunta sekä tarvittavat työryhmät, joissa koko infra-ala on edustettuna. Alan suostunta hankitaan valmistelun aikana pidettävillä lausuntokierroksilla. Työn aikana on muodostettu toimikuntalaitoksen myötä myös nimikkeistön ja laatuvaatimusten ylläpito-organisaatio.

Projekti toteutettiin pääosin vuosina 2002 – 2008 ja projektin tulokset saatiin kyseisinä vuosina vaiheittain käyttöön. Ylläpitovaihe aloitettiin keväällä 2008 (www.rts.fi, haettu 11.9.2015).

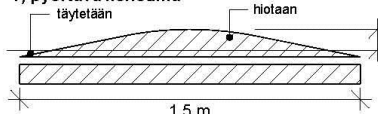
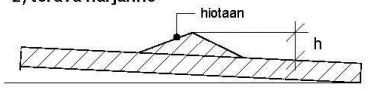
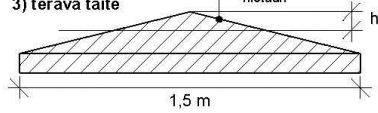
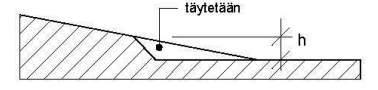
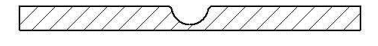
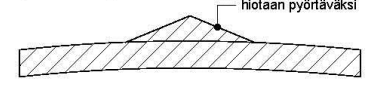
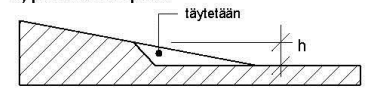
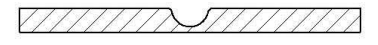
5.2. Vedeneristyksen yleiset laatuvaatimukset betonisilloilla

Kannen vedeneristyksen on oltava vesitiivis. Vesitiiveydellä tarkoitetaan sitä, että eristys ja saumat kestävät vuotamatta siltapaikalla vallitsevat ilmasto-olosuhteet, vedenpaineen ja liikenteen aiheuttaman rasituksen sekä lämpötilasta ja kutistumasta aiheutuvat rakenteiden muodonmuutokset. Vedeneristyksen on kestävä sillalla esiintyvien tiesuolojen, laimeiden happojen ja emästen vaikutuksia. Vedeneristysmateriaalin on Tiehallinnon käyttöönsä hyväksymä. Vedeneristysmateriaalien ja vedeneristysrakenteiden SILKO-hyväksyntävaatimukset on esitetty Siltojen vedeneristysten SILKO-hyväksyntätutkimusohjeen liitteissä 2...9. Eristyskerrosten tulee tarttua alustaansa ja toisiinsa siten, etteivät ne liu'u eristysalustan tai toistensa suhteen sillan käyttöönoton jälkeen (InfraRYL 2006, osa 3).

Valmis vedeneristys suojataan luvun 42320 mukaisesti, ellei tilaaja ole erikseen hyväksynyt muuta menettelytapaa. Suojaustapa ja -materiaali esitetään suunnitelma-asiakirjoissa. Suojaus on tehtävä mahdollisimman pian, kuitenkin viimeistään viikon kuluessa eristyksen valmistumisesta. Eristys suojataan esim. vanerilla, jos sen pinnalla kuljetaan autolla ennen suojauskerroksen tekemistä. Materiaalien SILKO-hyväksyntä on voimassa 5 vuotta, ellei Tiehallinto muuta sovi. Eristystyöt on tehtävä sääsuojan sisällä (InfraRYL 2006, osa 3).

5.2.1 Eristysalusta

Eristysalustan laatuvaatimukset ovat tasaisuus, oikea karheus, sopiva kosteus ja riittävä puhtaus. Teräsbetonisillan eristysalustalle on annettu laatuvaatimuksia InfraRYL 2006 osa 3, luvussa 42310.2.1. Ohjearvoja tasaisuudelle on esitetty sivun 45 kuvassa 9. Alustan tasaisuus mitataan oikolaudalla (SFS-EN 130-36-7, laudan pituus 1,5 m). Liitteessä 42300:liite 1 esitetyt yksittäiset kolot tasoitetaan kuumuutta kestäväällä tiivistysepoxin ja kuivan hiekan seoksella (tilavuusosina 1:5) tai Tiehallinnon käyttöönsä hyväksymillä paikkausmassoilla (ks. SILKO-ohje 3.231). Epoksipohjaisten massojen etuna on niiden nopea kovettuminen ja kuivuminen. Jos tasoitettava alue on suurehko ja yhtenäinen, käytetään jyrhintää ja lopputasointia tehdään epoxin ja hiekan seoksella tai Tiehallinnon käyttöönsä hyväksymillä polymeerisideaineisilla juotosmassoilla (ks. SILKO-ohje 3.231). Epoksitasoitetta käytettäessä sirotellaan tuoreen massan pinnalle hienoa, kuivaa kvartsihiekkää eristyksen tartunnan varmistamiseksi. (InfraRYL 2006, osa 3).

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

Kuva 9. Betonikantisen sillan eristysalustan tasaisuuden ohjearvoja ja korjausmenetelmiä (InfraRYL 2006, osa 3, 42300: liite 1).

Jos tasoitettava alue on suurehko ja yhtenäinen, käytetään jyrshintää ja lopputasoitus tehdään epoksin ja hiekan seoksella tai Tiehallinnon käyttöönsä hyväksymillä polymeerisideaineisilla juotosmassoilla (ks. SILKO-ohje 3.231). Epoksitasoitetta käytettäessä sirotellaan tuoreen massan pinnalle hienoa, kuivaa kvartsihiekkää eristyksen tartunnan varmistamiseksi (InfraRYL 2006, osa 3).

Lisäksi eristysalustan kolojen paikkaus voidaan tehdä SILKO-hyväksytyllä (SILKO 3.231) paikkaus- tai juotoslaasteilla SILKO 2.231 paikkausohjeita noudattaen (InfraRYL 2006, osa 3).

Eristettävä pinta on kuiva ja puhdas ennen eristämistä. Tartunnan varmistamiseksi eristettävästä pinnasta poistetaan sementtiliima, jälkihoitoaine, liuottimet, öljy, rasva ja muut epäpuhtaudet sinko- tai hiekkapuhalluksella ja pinta imuroidaan ennen eristystä. Sinkopuhdistuksella ei pystytä puhdistamaan reunapalkin sisäreunan pystypintoja (InfraRYL 2006, osa 3).

Puhdistuksen jälkeen kannen yläpinnassa olevat halkeamat suljetaan (imeyttämällä, tarvittaessa injektoimalla) tarkoitukseen soveltuvalla, Tiehallinnon käyttöönsä hyväksymällä epoksilla. Epoksin tulee olla kuumuutta kestävä ja kumibitumin kanssa yhteensopivaa materiaalia (InfraRYL 2006, osa 3).

Eristysalustan betonipinnan karheus (makrokarheuden) ennen epoksikäsittelyä ja eristämistä on välillä 0,3...1,2 mm. Eristysalustan pinnan karheus mitataan lasihelmimenetelmällä (SFS-EN 13036-1) jokaista alkavaa 500 m² kohden kolmesta kohdasta siltakannta (InfraRYL 2006, osa 3).

Vaatimusrajaa (1,2 mm) karheampi betonikannen pinta korjataan hyväksytyllä tasoitteella. Tasoitteella käsitellyn kohdan tulee olla täysin kovettunut ja täyttää eristysalustan enimmäiskosteusvaatimus ennen eristyksen asentamista. Jos pinnan karheus on alle 0,3 mm, pinta karhennetaan sinko- tai hiekkapuhalluksella siten, että se täyttää 0,3...1,2 mm vaatimuksen (InfraRYL 2006, osa 3).

Useimmat vedeneristysmateriaalit eivät tartu kunnolla märkään eristysalustaan.

Jos uusi eristys ei tartu kunnolla alustaansa, se voi irrota myöhemmin siitä kokonaan. Eristyksen irtoaminen lisää sen vuotoriskejä ja mahdollistaa vuotokohdasta eristyksen läpi päässeen suolaveden leviämisen laajalle alueelle siltakannella.

Eristysalustan kosteusvaatimukset ovat välillisiä vaatimuksia, jotka vaikuttavat käyttökään (vaurioitumisriskiin). Luotettavaa tietoa eristysalustan kosteudesta tarvitsevat sekä eristysurakoitsija että tilaaja. Urakoitsijalla on tarve varmistaa oman työnsuorituksen laatu ja tilaajalla on tarve pyrkiä rakenteen pitkään käyttöikään (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus, Tiehallinto, 2009).

Kannen betoni täyttää taulukon 42310:T1 mukaiset enimmäiskosteusvaatimukset ennen eristämistä, ellei tilaaja ole erikseen hyväksynyt että eristysalueelle käytetään korkeampaa kosteutta sisältävää materiaalia. Betonisen eristysalustan pintakerroksen kosteus mitataan absoluuttisena kosteutena esim. pintakosteusmittaria käyttäen. Kosteus saa olla eristystöitä aloitettaessa enintään taulukon 42310:T1 mukainen, paitsi kun kannen pinta-ala on alle 100 m² ja rakennepaksuus on alle 400 mm. Tällöin pinnan kosteutta ei yleensä todeta mittauksin, vaan betonin annetaan kuivua jälkihoidon päättymisen jälkeen vähintään 3 viikkoa ennen eristystöiden aloittamista (InfraRYL 2006, osa 3).

Ainetta rikkomattomalla menetelmällä (pintakosteusmittarilla) kansilaatan koko alueelta mitatut absoluuttisen kosteuden mittaustulokset varmistetaan aina vähintään kahdella betonin pinnasta 50 mm syvyydelle asti irrotetulla näytteellä, jotka kuivataan ja punnitaan (ns. kuivatus-punnitus menetelmä(VTT-2650)). Jos kannen pinta-ala on yli 500 m², lisätään kuivaamalla ja punnitsemalla tehtäviä kosteuden määrittämiä yksi jokaista alkavaa 500 m² kohti (InfraRYL 2006, osa 3).

Taulukko 6. Eristysalustan suurin sallittu kosteus ennen eristystöiden aloitusta (InfraRYL 2006 osa 3, taulukko 42310:T1).

Materiaali	Eristysalustan suurin sallittu kosteus Absoluuttinen kosteus (VTT-2650) m-%
Kauttaaltaan kiinnitetty kermi, nestemäisenä levitettävä eristys tai epoksitiivistys	5,0
Paineentasauskermi tai kumibitumimastiksi	6,0

Edellä esitetyt vaatimukset koskevat myös kannen pinnan paikattuja kohtia. Ennen eristystöiden aloitusta pidetään eristysalustan vastaanottotarkastus, josta pääurakoitsija laatii pöytäkirjan, jonka katselmukseen osallistujat allekirjoittavat (InfraRYL 2006, osa 3).

5.2.2 Epoksitiivistys

Eristettävä betoninen kansilaatta esikäsitellään aina vedeneristyksen hyvän tartunnan aikaansaamiseksi ja betonin sisältämän kosteuden aiheuttaman rasituksen vähentämiseksi tai sen aiheuttaman kuplimisen estämiseksi. Eristettävä betonikansi joko pohjustetaan kumibitumiliuoksella (ainemenekki 0,2...0,3 kg/m²) tai tiivistetään epoksilla *kohdan 42310.3.2.1 alakohtien 4...6* mukaisesti. Kumibitumiliuos tai tiivistysepoksi valitaan *kohdan 42310.3.2 alakohdissa 2 ja 3* esitetyin perustein (InfraRYL 2006, osa 3).

Betoninen kansilaatta tiivistetään betonikantisilla silloilla aina koko kansilaatan osalta epoksilla *kohdan 42310.3.2.1 alakohtien 4...6* mukaisesti. Poikkeuksen tekevät vain sellaiset kansilaatat, joissa eristyksen suojakerroksena käytetään *kohdan 42310.1.2* mukaista suojabetonia, jolloin kansilaatta pohjustetaan kumibitumiliuoksella.

Vedeneristysalustan epoksitiivistystä ei tarvitse tehdä rautatiesilloilla (InfraRYL 2006, osa 3).

Epoksitiivistys tehdään kahtena kerroksena Liikenneviraston hyväksymän valmistajan tuotekortin ohjeita noudattaen. Epoksin levitysmäärän tulee olla yhteensä vähintään 1 kg/m² jakautuen seuraavasti:

Ensimmäinen epoksikerros 300 - 500 g/m² + sirotehiekkä (pinnan huokoisuudesta ja karheudesta riippuen) ja toinen epoksikerros vähintään 600 g/m².

Valmiin epoksitiivistyksen tulee olla vesitiivis. Vesitiiviyys mitataan ensin matalajännitemenetelmällä (*VTT 2654*), jolloin vastuksen tulee olla vähintään 500 MΩ. Sen jälkeen etsitään ns. kipinäharavalla korkeajännitemenetelmää käyttäen (*menetelmä VTT-S-05050-09; ASTM D 4787-08*) samassa kohdassa se jännitteen volttimäärä, jolla harava lyö läpi epoksikerroksen. Mittausta jatketaan koko kansilaatan alueelta alentamalla kyseistä läpilyöntijännitettä 200...300 V. Mittaajan tulee olla perehtynyt laitteen käyttöön ja mittauksen aikana on noudatettava laitteen valmistajan turvallisuusohjeita.

Valmis epoksitiivistys on eristettävä vähintään yhden viikon kuluessa epoksitiivistyksen jälkeen. Epoksitiivistetty pinta on puhdistettava huolellisesti ennen eristystyön tekemistä. Suojaamattomalla valmiilla epoksitiivistetyllä pinnalla ei saa liikkua.

Epoksitiivistyksen ja alustan välinen tartuntalujuus on joka kohdassa vähintään $1,0 \text{ N/mm}^2$ ja keskimäärin $1,5 \text{ N/mm}^2$ *menetelmä SFS-EN 1542 (InfraRYL 2006, osa 3)*. Tartuntalujuus mitataan vetokokeella kts. luku 7.3 Tartuntavetomittaukset.

5.2.3 Kermieristys

Liikenneviraston käyttämien kermieristysrakenteiden tulee olla *kohdassa 42310.1.7.1.1* esitetyt vaatimukset täyttäviä tuotteita.

kaksikerroskermieristyksen molemmat kermit täyttävät tuoteluokan SL vaatimukset.

Liikenneviraston käyttämät rakenteet on lueteltu *SILKO-ohjeessa 3.811*. Suunnittelija esittää siltasuunnitelmassa sillan eristysalustan käsittelytavan, eristysrakenteen ja eristykseen suojauksen. Yksittäisen kermin materiaalivaatimukset on esitetty taulukossa 7. Kermien laatuvaatimukset 42300 Liite 2 (InfraRYL 2006, osa 3) ja kermieristysrakenteiden materiaalivaatimukset liitteessä *42300: Liite 3*.

Kermieristystuotteen kelpoisuus osoitetaan ensisijaisesti standardin *SFS-EN 14695* mukaisella CE-merkinnällä, kun asetetut kansalliset vaatimustasot tuotteen käyttökohteessa täytetään. Tuotteen kelpoisuus voidaan osoittaa myös muulla hyväksyttävällä tavalla, kuten Liikenneviraston antamalla määräaikaisella luvalla. Siltakermit merkitään merkinnällä SL (InfraRYL 2006, osa 3).

Taulukko 7. Kermien laatuvaatimukset 42300 Liite 2 (InfraRYL 2006, osa 3).

Ominaisuudet	Yksikkö	Vaatus	SL	Menetelmä
Vetolujuus +23 °C - pituussuunt./ poikkisuunt.	N/50mm	min	500 / 400	SFS-EN 12311-1
Venymä +23 °C - pituussuunt./ poikkisuunt.	%	min	30	SFS-EN 12311-1
Taivutettavuus				SFS-EN 1109
- liimattava kermit, pinta ja pohja	°C/Ø mm	maks/Ø 30 mm	-25/30	
- hitsattava kermit, pinta	°C/Ø mm	maks/Ø 30 mm	-20/30	
- hitsattava kermit, pohja	°C/Ø mm	maks/Ø 30 mm	-10/30	
Nimellispaino ¹⁾	g/m ²	nimell.	valm. ilm.	SFS-EN 1849-1
- liimattava pintakermit			(≥ 4000)	
- hitsattava pintakermit			(≥ 5000)	
- aluskermit			(≥ 3000)	
- hitsattava aluskermit			(≥ 4000)	

- 1) Nimellispainon minimivaatimuksella varmistetaan kermien asennettavuus ja vesitiiviys. Arvoista voidaan poiketa, mikäli ennakkokokein, työnäyttein tai muilla hyväksyttävillä menettelytavoilla osoitetaan tuotteen työstettävyys ja vesitiiviys. Muut vaatimukset ovat tällöinkin voimassa. Tuotteen valmistaja ilmoittaa tuotteen nimellispainon ja sen toleranssin (MDV).

Kermieristys tehdään siltakohtaisissa laatuvaatimuksissa määrätyllä kermirakenneyhdistelmällä. Kermit asennetaan sillan pituussuuntaan ja niiden asennus aloitetaan korkeusasemaltaan alimpana olevasta siltakannen kohdasta.

Kermit on oikein limitettyjä ja tasaisia, poimuja ei saa esiintyä. Kermin limityksen on oltava vähintään 100 mm pituussuuntaan (sivusauma) ja 150 mm poikkisuuntaan (päätsauma). Vierekkäisten kermien päiden jatkoskohdat porrastetaan. Päälle tuleva kermit on limitettävä vähintään 100 mm alla olevan kermin saumoihin verrattuna (InfraRYL 2006, osa 3).

Liimausrullan pitkittäislimitys tehdään pääsääntöisesti kohtisuoraa viettosuuntaa vasten paitsi kaukalopalkkisilloissa, joissa sauman pitkittäislimitys on raiteen suunnassa kaukalon pohjan poikittaiskallistuksen vuoksi. Alustan ja kermin väliin ei saa jäädä ilmataskuja. Saumat on tiiviitä ja limitetyt saumakohdat kauttaaltaan alustaan kiinnitettyjä, ts. kermien limitetyt saumat on kauttaaltaan telattava alustaansa (InfraRYL 2006, osa 3).

Jos aluskerminä käytetään paineentasausermiä, asennetaan sillan molemmille reunoille ensimmäinen kermikaista kauttaaltaan alustaan kiinnitettynä tavallisena aluskerminä ja vasta sitä seuraavat paineentasausermeinä. Paineentasausermit kiinnitetään alustaansa pisteittäin. Paineentasausermillisessä rakenteessa sillan kansi varustetaan paineentasauserputkilla suunnitelman mukaan. Paineentasausermiä ei käytetä rautatiesilloilla (InfraRYL 2006, osa 3).

Aluskermin tartuntalujuusvaatimus yli 100 m² siltakansilla eri lämpötiloissa on esitetty sivun 53 taulukossa 8, joka koskee kaikkia kermieristysrakenteiden käyttöluokkia. Taulukon mukaisista tartuntalujuusarvoista saa vähentää 0,10 N/mm², jos tartuntavetoko-keessa irtoaminen tapahtuu kiinnitysbitumin sisäisenä koheesiomurtumana ja eristystyön jälkeen kiinnitysbitumista otettujen näytteiden testitulokset täyttävät Siltojen vedeneristysten SILKO-hyväksyntätutkimusohjeen liitteen 2 taulukon 2 vaatimukset. Paineentasausermin tartunta mitataan kermin liimatulta osalta, jossa tartuntalujuuden tulee täyttää taulukon 42310:T2 vaatimukset. Jos kannen pinta-ala on alle 100 m², mitataan kermin tartunta eristysalustaan käsin vetäen kohdan 42310.5.2.3 mukaisesti (InfraRYL 2006, osa 3).

Tällöin tartunta on riittävä, jos

- kermikaista ei irtoa käsin vetämällä tai
- kermikaista irtoaa siten, että yli 50 %:lle irrotuskohdan pinta-alasta jää bitumia kiinni betoniin (InfraRYL 2006, osa 3).

Muussa tapauksessa poistetaan alustasta irti oleva osuus ja tehdään eristys siltä osin uudestaan. Rautatiesilloilla esieristysalustan kumibitumieristyskermin tartuntavetokokeita ei tarvitse tehdä (InfraRYL 2006, osa 3).

Jokaisesta yksittäisestä kermieristyksen tartuntalujuuden mittaustuloksesta lasketaan, kuinka monta prosenttia mittaustulos on taulukon 42310:T2 mukaisesta vaatimuksesta. Jos kaikista tartuntalujuuden mittaustuloksista näin laskettujen prosenttilukujen keskiarvo on alle 60 % (enimmäispoikkeama), on eristys poistettava ja kermi uusittava. Kuplineet kermikohdat on aina korjattava. Ylikuumennuksen seurauksena vaurioituneet tai poimuuntuneet kermit poistetaan heti ja korvataan virheettömillä (InfraRYL 2006, osa 3).

Taulukko 8. Kermieristyksen tartuntavetolujuusvaatimus siltakannella (yli 100 m²). (menetelmä SFS-EN 13596, väliarvot interpoloidaan. (InfraRYL 2006 osa 3, taulukko 42310:T2).

Eristysalustan pintalämpötila (°C)	Tartuntalujuusvaatimus (N/mm ²)
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

Reunapalkin sisäreunaan ja siitä lukien eristyksen päälle 250 mm leveydeltä tehdään aina eristyksen kiinnitystavasta riippumatta kaksinkertainen kumibitumisively (KB100) 2 x 1,5 kg/m². Kumibitumin on täytettävä Siltojen vedeneristysten SILKO-hyväksyntätutkimusohjeen liitteen 2 taulukon 2 mukaiset SILKO-hyväksyntävaatimukset (InfraRYL 2006, osa 3).

Kermieristys suojataan suunnitelmassa esitetyllä suojakerroksella kohdan 42320 mukaisesti. Kermieristyksen päällä ei saa ajaa autolla ennen kuin eristys on suojattu. Pakottavassa tapauksessa tästä voidaan poiketa vain levittämällä kermien päälle vähintään 5mm paksut vanerilevyt auton pyörien alle. Tällöinkään autoa ei saa seisottaa eristyksen päällä. Kermin päälle tulevaa ensimmäistä asfalttikerrosta (AB 5 tai AA 5) jyrättäessä käytetään jyrää, jonka molemmat valssit vetävät ja jonka paino on enintään 4 t.

Täryjyrän käyttö on kielletty (InfraRYL 2006, osa 3).

Vedeneristys muodostuu seuraavista kermikerroksista:

- aluskermi, käyttöluokka 2
- pintakermi, käyttöluokka 2
- eristyksen mekaaninen suojaus.

Pintakermin päälle levitetään vähintään 100 mm paksuinen salaojasorakerros, jonka päälle käyttöluokan N4 suodatinkangas. Siltakannelle on mahdollista raidesepeä vähintään 550 mm paksu kerros. Jos sillalla on pintavesiputkia (syöksytorvia), pintavesiputken ritilän päälle on ensin asennettava keskeisesti noin 0,5 x 0,5 m₂ jäykkä salaojamatto (InfraRYL 2006, osa 3).

5.2.4 Kannen vedeneristysten vaatimustenmukaisuuden varmistaminen

Erityistä huomiota on kiinnitettävä eristystyön aikaisiin olosuhteisiin. Ilman kosteuden ja lämpötilan samoin kuin eristysalustan kosteuden ja lämpötilan on oltava sallituissa rajoissa. Tiedot eristystyön aikaisista oloista, olosuhde- ja laatumittaustulokset, tiedot käytettävistä materiaaleista tuotenimitietoineen ja materiaalimenekeistä liitetään sillan laaturaporttiin. Urakoitsija osoittaa vedeneristystöiden vaatimustenmukaisuuden laatimansa laatusuunnitelman, taulukon 9. mukaan (SILKO 1.801 Kannen pintarakenteet, vedeneristykset 04/11).

Vaatimustenmukaisuuskokeita tekevän henkilön pitää olla riittävän kokenut ja hyvin perehtynyt tutkimusmenetelmiin. Betonialustan, tiivistysepoksin ja kermieristeen tartuntavetokokeessa pitää käyttää vain tarkistettuja, säännöllisesti kalibroituja ja tarkkoja mitauslaitteita ja noudattaa tarkoin annettuja menetelmäohjeita kuormitusnopeuden ja veto-laipan koon suhteen. Näytteenottoreiät on aina paikattava. Eristystöiden vaatimustenmukaisuuskokeet ja tarkastukset tehdään urakoitsijan laatiman laatusuunnitelman mukaan, jonka pitää perustua InfraRYL osan 3 taulukkoon 9. (SILKO 1.801 Kannen pintarakenteet, vedeneristykset 04/11).

Taulukko 9. Eristystöiden vaatimustenmukaisuuskokeet ja tarkastukset
(InfraRYL2006, osa 3, taulukko 42310:T3)

Rakenneosa ja näyte	Ominaisuus	Milloin tutkitaan	Näytemäärä
Eristysalusta	tasaisuus	aina	epätasaiset kohdat
	kosteus	aina	3..6 kohtaa/silta
	karheus	aina	3 kohtaa/alkava 500 m ²
	tiivistysepöksiin tai muun tiivistysaineen tiiviys ja tartunta	aina	≥ 3 kohtaa/silta
	lätkäköityminen	tarvittaessa	≥ 1 vesikoe/silta
Kermieristys	tartunta	aina	3 x 2 kpl/alkava 1000 m ²
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 ² :n pala
Mastiksieristys			
massanäyte	sideainepitoisuus	aina	} 1 massanäyte/1500 m ² ja vähintään 2 kpl/silta Näytekoko: 5 kg massaa
	rakeisuus	aina	
	painuma	aina	
	palautuma	tarvittaessa	
	sideaineen ominaisuudet	tarvittaessa	
valmis eristys	paksuus	aina	≥ 1 kpl/alkava 250 m ² kuitenkin vähintään 3 kpl
	vedenpitävyys	aina	≥ 1 kpl/silta, kastelu 2h ja ≥ 1 kpl/silta, vesipatsaskoe
Nestemäisenä levitettävä eristys			
koelevitys	tiheys	aina	1 kpl/työvuoro
valmis eristys	tartunta	aina	3 x 2 kpl/alkava 1000 m ²
	paksuus	aina	5 kpl/alkava 250 m ² *)
osa-aineet		tarvittaessa	1 kpl/silta 2,5 kg massaa varten
		tarvittaessa	2 kpl/silta, näytepalat 250 mm x 400 mm

*) myös tartuntavetokohdat voidaan hyväksyä paksuuden mittauskohdiksi.

Jos nestemäisenä levitettävän eristyksen paksuuden mittauskohdat valitaan käyttäen kipinäharavaa, riittää paksuuden mittausmääräksi 1 kpl/ alkava 250 m², kuitenkin vähintään 3 kpl/silta.

5.2.5 Eristystyönaikaiset olosuhteet

Sääsuoja mitoitetaan, pystytetään ja kiinnitetään siten, että se kestää tuulen, sateen ja lumen aiheuttaman kuormituksen murtumatta. Sääsuojaa ei saa tukea eristysalustaan kohdista, joissa eristystyö on käynnissä. Sääsuojan on oltava vesitiivis kaikissa sääolosuhteissa koko alueellaan ja se ulottuu reunapalkin ulkopuolella vähintään reunapalkin pystypinnan puoliväliin asti. Sääsuojan esteettömän korkeuden kannesta mitattuna sääsuojan sisäpuolelle tulee olla vähintään 2,5 m. Sääsuojan on ulotuttava sillan päästä päähän, kun sillan kokonaispituus on enintään 40 m. Sitä pitemmällä silloilla voidaan käyttää siirrettävää sääsuojaa (InfraRYL 2006, osa 3).

Eristystyön aikana ilman suhteellinen kosteus saa olla enintään 85 %. Kastepistelämpötila määritetään työvuoron alussa ja sitä seurataan työn aikana, jolloin eristettävän pinnan lämpötilan tulee olla vähintään 3 °C ilman kastepistelämpötilan yläpuolella. Alhaisin eristystyön aikainen alustan pintalämpötila on epoksin levitys- ja kovettumisen aikana vähintään + 10 °C. Kermi- ja nestemäisenä levitettävän eristyksen levityksen aikana pintalämpötilan tulee olla aina vähintään + 5 °C ja mastiksieristyksen levitysaikana vähintään + 2 °C. (InfraRYL 2006, osa 3).

5.3. Vedeneristystöiden valvojan ja työnjohtajan koulutus

Koulutus antaa käytännön pätevyyden sekä siltojen vedeneristäjille toimia siltojen ja muiden liikennöityjen alueiden vedeneristäjänä että työnjohtajille sekä valvojille saman toimialan työtehtävissä. Liikennevirasto edellyttää, että 1.5.2014 alkaen silloilla epoksitiivistystöitä ja eristystöitä tekevillä vedeneristäjillä tulee olla VTT Expert Services Oy:n myöntämä henkilösertifikaatti kyseiseen työhön. Työnjohtajien ja valvojien osalta Liikennevirasto edellyttää, että urakoitsijoiden työnjohtajien ja tilaajan valvojien tulee osallistua vedeneristyskoulutukseen (www.rakennusteollisuus.fi, haettu 15.11.2014).

Koulutusta järjestää Rakennusteollisuuden Koulutuskeskus RATEKO ja se kestää kolme päivää. Sisältöön kuuluu siltatyypit, siltojen vedeneristysten määräykset ja ohjeet, siltojen vedeneristysten vaurioituminen ja betonipinnan puhdistus. Lisäksi koulutuksessa käydään läpi erilaiset vedeneristeet, työvälineet ja menetelmät, sääsuojaus ja työturvallisuuden varmistaminen. Sillan vedeneristystyömaan laadunvalvontamittaukset kuuluvat lisäksi ohjelmaan. Kurssin lopuksi on kirjallinen koe henkilöille, jotka hakevat henkilösertifikaattia (RATEKO kurssiohjelma 25.–27.11.2014).

Koulutuksella ja sertifioinnin käyttöönotolla on haluttu varmistaa, että henkilöllä on asiaankuuluva tietämys sillan vedeneristämisestä, sekä minimoida mahdolliset työvirheet ja niistä aiheutuvat ongelmat.

6 TAVALLISIMPIA TYÖVIRHEITÄ VEDENERISTYSTYÖSSÄ

Sillan vedeneristystyössä voi tehdä työvirheen monella eri tavalla ja monessa eri työvaiheessa. Työjärjestyksessä edeten näitä ovat muun muassa:

- Siltakannen liiallinen kosteuspitoisuus epoksointia tai kumibitumiliuostusta aloitettaessa.
- Siltakannen epätasaisuus, pinnan tasaisuutta ei ole mitattu lasihelmimenetelmällä (EN 13036-1).
- Sinkopuhdistus on jätetty tekemättä.
- Betonin jälkihoitoaineen poistoa ei ole tehty tai ainakaan todettu.
- Sinkopuhdistuksen jälkeen esiin tulleiden betonin halkeamien sulkeminen on jätetty tekemättä.
- Eristysalustan katselmusta ei ole tehty tai ainakaan siitä ei ole osapuolten allekirjoittamaa pöytäkirjaa.
- Olosuhdetekijöiden (ilman lämpötila ja kosteuspitoisuus, alustabetonin lämpötila ja kosteus, kastepiste) määrittäminen ja dokumentointi ovat jääneet kokonaan tekemättä tai tehty vain työvuoron alussa.
- Epoksointityö tehty väärässä lämpötilassa, liian kosteassa ilmassa, kastepistettä ei ole mitattu tarpeeksi usein ja se on ylittynyt työn aikana, epoksikerros ei ole ehtinyt kuivua ennen kuin seuraava kerros on levitetty, kastepiste on ylittynyt tai vesisade yllättänyt ennen kuin epoksikerros on ehtinyt kuivua, välikerrokseen tuleva kvartsihiekkä ollut kostea.
- Tiiviys- ja tartuntamittaukset on laiminlyöty tai tehty huolimattomasti tai väärin.
- Valmista ja tiivistä epoksipintaa ei ole huolellisesti suojattu ennen erityksen tekoa. Suojana suositellaan esim. valkeaa geokangasta tai jos epoksin päällä on pakko kulkea ennen eristystä niin suojaus solumuovilevyillä.

(Siltojen ja muiden liikennöityjen alueiden vedeneristystöiden valvojan ja työjohtajan koulutus 25. ja 26.3.2013, Hämeenlinna. Luentoaineisto, kehittämisspäälikkö Jouko Lämsä, Liikennevirasto, Taitorakenneyksikkö).

6.1. Vedeneristystyön laadunvarmistuksessa huomioitavia asioita

- Tarkastetaan, että olosuhdetekijät eristeen levityksen aikana oikein.
- Ei levitetä epoksia nousevan lämpötilan aikana.
- Työ sijoittuu yleensä iltapäivälle.
- Epoksin pinta puhdas ja kuiva.
- Tarvittaessa pölyn imurointi ja kosteuden kuivaus
- Tarkastetaan, että kermirullat on varastoitu oikein ja että kermit ovat kauttaaltaan kuivia.
- Tarkastetaan, että liimausbitumipata on asianmukainen (sekoitin, toimiva termostaatti ja lämpömittari) ja sulatettu kumibitumi ei ole päässyt ylikuumentumaan.
- Kermit on levitetty ja limitetty väärin. Levityksen aikana kermin ja kermisaumojen telausta ei ole tehty

(Siltojen ja muiden liikennöityjen alueiden vedeneristystöiden valvojan ja työnjohtajan koulutus 25. ja 26.3.2013, Hämeenlinna. Luentoaineisto, kehittämispäällikkö Jouko Lämsä, Liikennevirasto, Taitorakenneyksikkö).

Suurimpaan osaan työvirheistä on saattanut olla syynä kiireinen aikataulu, ongelmat on saatettu tiedostaa, mutta asioihin ei ole ehditty puuttua. Esimerkiksi ulkoilman olosuhteet on nykyisin helppo mitata ohjelmoitavalla, säännöllisesti tallentavalla dataloggerilla. Niiden hinta on nykyään suhteellisen pieni ja käyttö on helppoa. Työmaalla nykyään poikkeuksetta käytössä olevat sääsuojat ovat varmastikin auttaneet pitämään sillan kannen olosuhteet kuivina. Sääolosuhteet ovat monestikin vaativia, sopivia lämpötiloja ja kosteusolosuhteita ei aina osu sopivasti vaativan työvaiheen kohdalle ja aikataulu ei anna kuitenkaan myöten työvaiheen siirtämiselle. Tämän takia päivän säätila on syytä aina varmistaa ja siirtää vedeneristystyön ajankohta tarvittaessa.

Laadunvalvontamittaukset ovat tärkeitä työvaiheiden onnistumisen dokumentointia varten. Niistä ei ole varaa tinkiä, koska kokonaisuuden kannalta niiden tilaaminen on melko matala kustannuserä. Muutenkin työmaan eri vaiheiden dokumentointi digikameralla on erityisen tärkeää, jos ja kun tarvitaan jälkeenpäin selvittää työvaiheen onnistumista. Digikuvaan tallentuu päivämäärä ja kellonaika, jolloin ajankohtaa on helppo verrata työmaapäiväkirjaan ja sen hetkisiin ulkoilman olosuhteisiin. Vedeneristystyö on sellainen työvaihe siltatyömaalla, jossa pienellä työvirheellä voidaan pilata laaja-alainen pinta, siksi huolellisuus ja riittävä työaika ovat ehdottoman tärkeitä työvaiheen onnistumiselle.

7 TAMK RAKENNUSLABORATORION MITTAUSPALVELU

TAMK:n rakennuslaboratorion mittauspalvelu on toiminut vuodesta 1997 alkaen ja se tarjoaa riippumatonta tutkimuspalvelua, jonka tilaajina ovat urakoitsijat, taloyhtiöt, suunnittelutoimistot ja yksityishenkilöt. Mittauslaitteita huolletaan ja uusia hankitaan tarpeiden mukaisesti sekä kalibroidaan vuosittain tai useammin. Osa mittalaitteista on myös opetuskäytössä ja opiskelijoiden tutkintotöitä tai projektitöitä varten käytössä. Mittauspalvelussa on ollut vuosittain rakennustekniikan opiskelija töissä harjoittelijana vähintään kesälomien aikana. Erilaisia mittauspalveluita on useita asiakkaiden tarpeiden mukaisesti. Niitä ovat esimerkiksi:

- Rakenteiden kosteusmittaukset ja – kartoitukset työmailla
- Kuntotutkimuksiin liittyvät näytetutkimukset betonirakenteista
- Tartuntavetomittaukset julkisivu- ja parveketyömailla sekä siltatyömailla
- Rakennusten lämpökamerakuvaukset
- Rakennusten äänimittaukset
- Rakennusten ilmatiiviysmittaukset
- Rakennusten ilmanvaihdon mittaukset
- Sisäilman mikrobinäytteet
- Kiviainesten rakeisuusmääritykset seulonnalla

Mittauspalveluista osa on vuodenaikaan sidonnaisia, kuten näyteporaukset ja tartuntavetomittaukset työmailla kesäaikaan ja lämpökamerakuvaukset sekä sisäilman mikrotutkimukset talviaikaan. Tämän työn tekijällä on VTT Expert Oy:n voimassaolevat sertifikaatit kosteusmittauksia, lämpökamerakuvauksia ja ilmatiiviysmittauksia varten. Maantiesiltakohteita on yksittäisiä, lähinnä kysymyksessä on betonialustan ja pinnoitteiden tartuntavetokokeet. Seuraavissa luvuissa on esitelty vain siltojen vedeneristyksen laadunvarmistukseen liittyvät mittauspalvelut.

7.1. Eristysalustan kosteusmittaukset

Absoluuttisen kosteuden raja-arvot (menetelmänä VTT-2650) eristysalustalle ovat kauttaaltaan kiinnitetyille kermille, nestemäisenä levitettävälle eristykselle tai epoksitiivistykselle 5,0 m-% ja paineentasauskermille tai kumibitumimastiksille 6,0 m-%. Tiehallinto (nykyisin Liikennevirasto) voi hyväksyä SILKO-testitulosten perusteella tiivistysepoxin tai nestemäisenä levitettävän eristyksen asennettavaksi myös kosteammalle alustalle (Siltan vedeneristystyömaan laadunmittaus, Tiehallinto, 2009).

Betonisen siltakannen absoluuttisen kosteuden mittaus on selostettu VTT:n ohjeessa VTT 2650-2013. Menetelmässä kosteuspitoisuus ilmoitetaan painoprosenteina kuivapainosta. Periaatteena on kosteuden määrittäminen siltakannesta irrotetuista näytteistä kuivattamalla ja punnitsemalla. Mittausten määrästä annetaan ohjeet urakka-asiakirjoissa (VTT 2650-2013). Määrä on kuitenkin 3...6 kohtaa/silta (InfraRYL 2006 osa 3).

Absoluuttisen kosteuden mittausmenetelmä VTT 2650-2013

Kosteus määritetään siltakannesta irrotetuista näytteistä kuivattamalla ja punnitsemalla.

Laitteet ja tarvikkeet

Laboratoriovaaka, punnitustarkkuus 0,1 g

Lämpökaappi, ilmanvaihdolla varustettu, tarkkuus ± 2 °C.

Mahdollisesti raudoituksen ilmaisin

Tehokas porakone

Näytteenottoporanterä, jolla irrotetun betonilieriön läpimitta \varnothing noin 55 mm

(terän tulee kestää poraus betoniin ilman vesikastelua)

Poralieriön irrotuskiiloja

Painava vasara

(Porauskaluston vaihtoehtona on piikkauskone varusteineen)

Näytepusseja ja pakkaustarvikkeita

Kuulosuojaimet

Suojalasit

Metrimitta (≥ 5 m)

Sähkövirtaa (verkkovirtaa tai aggregaatti)

Näytteenottoreikien paikkaustarvikkeet

Näytteenotto

Mittausten määrystä annetaan ohjeet urakka-asiakirjoissa.

Yhdestä kohdasta tehtävää absoluuttisen kosteuden määrittystä varten otetaan 3 rinnakkaisnäytettä samalta etäisyydeltä reunapalkista ja noin 50 cm etäisyydeltä toisistaan.

Näytteenottokohdat valitaan siten, että niiden perusteella saadaan riittävä käsitys siltakannen kosteudesta. Vähäisen näytemäärän vuoksi näytteet otetaan erityisesti kohdista, joissa betonin kosteus on todennäköisesti muita kohtia suurempi. Tällaisia ovat esim. kohdat, joihin pintavedet valuvat, kuten reunapalkin vierustat ja kourumaiset taitteet sekä kannella mahdollisesti olevat rakenteiden tai rakennustarvikkeiden varjostamat kohdat tai rakennusjätteiden kosteina pitämät kohdat yms. Näytteitä ei tule ottaa kohdista, joissa esijännitysteräket nousevat lähelle pintaa (VTT 2650-2013).

Ennen porausta paikallistetaan raudoituksen sijainti raudoituksen ilmaisimella mahdollisuuksien mukaan. Näytteenottoporalla porataan siltakanteen ura valittuun syvyyteen (30 mm). Porattaessa ei saa käyttää vesikastelua. Porauksen jälkeen näyteliieriö irrotetaan lyömällä kiila porattuun uraan. Yksittäisen pora-lieriönäytteen koko on noin 150 g.

Merkitään muistiin näytteenottokohta (esim. etäisyys reunapalkista ja sillan päässä olevasta liikuntasaumasta). Näytteeseen merkitään tunnistetiedot. Se pakataan ja säilytetään siten, ettei sen kosteus muutu säilytyksen ja kuljetuksen aikana.

Siltakannen näytteenottoreiät paikataan tarkoitukseen soveltuvalla tavalla heti näytteenoton jälkeen (VTT 2650-2013).

Koemenettely

Jos lieriö sisältää rautaa, poistetaan rauta näytteestä rikkomalla näyte lyömällä. Näytteet punnitaan. Näytteet kuivataan lämpökaapissa 105 ± 2 °C:ssa, kunnes peräkkäisin punnituksin todetaan, ettei paino enää muutu. Kuivatusaikana näytteet punnitaan kerran päivässä.

Näytteen absoluuttinen kosteus lasketaan seuraavasta kaavasta massaprosentteina kuivan näytteen massasta:

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

jossa m_1 = näytteen massa ennen kuivatusta, m_2 = näytteen massa kuivauksen jälkeen (VTT 2650-2013).

7.2. Eristysalustan karheuden mittaus, lasihelmimenetelmä

Eristysalustan karheudelle on annettu raja-arvot 0,3...1,2 mm, joiden välissä pinnan karheuden on oltava epöksin riittävän tartunnan varmistamiseksi.

Lasihelmimenetelmän avulla tutkitaan asfaltti- tai betonipäällysteen pinnan tai muun niiden kaltaisen pinnan makrokarkeus. Menetelmä soveltuu monille pintatyypeille sekä kentällä että laboratorioissa tehtävissä mittauksissa.

Menetelmä ei mittaa pinnan muotoa, pintarakeiden kokoa ja jakaumaa. Menetelmää ei suositella pinnoille, joiden makrokarkeuden syvyys jää alle 0,25 mm tai ylittää 5 mm eikä huokoisille tai syväuurteisille pinnoille (PANK-5103).

Määritelmät

Makrokarkeus on pinnan epätasaisuutta, jonka aallonpituus on välillä 0,5-50 mm. Lasihelmimenetelmällä mitattu makrokarkeus ilmoitetaan pinnan karkeuden keskimääräisenä syvyytenä (PANK-5103).

Periaate

Menetelmä perustuu tunnetun lasihelmimäärän levittämiseen tutkittavalle pinnalle mahdollisimman laajalle, ympyrän muotoiselle alueelle. Lasihelmillä peitetyn alueen halkaisija mitataan ja levitetty lasihelmimäärä jaetaan peitetyn alueen pinta-alalla, jolloin saadaan arvo, joka edustaa lasihelmikerroksen keskimääräistä paksuutta ja samalla pintakarkeuden keskimääräistä syvyyttä (PANK-5103).



Kuva 10. Eristysalustan karheuden mittaus lasihelmien avulla.

(Kuva: SILKO 1.801 Kannen pintarakenteet, vedeneristykset 04/11)

Mitattava pinta tarkastetaan huolellisesti ja mittauskohdaksi valitaan kuiva, tasalaatuinen alue ilman yksittäisiä paikallisia eroja kuten halkeamia tai saumoja.

Mittauskohdan pinta puhdistetaan huolellisesti pölystä, roskista ja irrallisista pintakiviainesarakeista ensin teräsharjalla ja sen jälkeen pehmeällä jouhiharjalla. Mittauskohdan suojaksi asetetaan tämän jälkeen tuulensuojus, jos mittauskohta on alttiina tuulelle tai liikenteen aiheuttamille ilmavirtauksille (PANK-5103).

Menetelmäkuvauksen mukainen mitta-astia täytetään kuivilla lasihelmillä ja astian pohjaa napautetaan kevyesti useita kertoja (esim. 3 kertaa) kovaa alustaa vasten. Sen jälkeen lasihelmiä lisätään, kunnes astia on täynnä. Lasihelmien yläpinta tasataan lieriön yläreunan tasalle viivoittimen särmällä. Jos käytettävissä on laboratoriovaaka, lieriön täyttävän lasihelmiannoksen massa voidaan punnita ja käyttää saman painoista lasihelmiannosta kaikissa mittauksissa (PANK-5103).

Mitattu lasihelmimäärä kaadetaan puhdistetulle koealueelle kasaan ja levitetään levitystyökalulla pitäen kumipintaa alaspäin. Levitystyökalua kuljetetaan kasvavaa ympyränmuotoista rataa pitkin siirtäen lasihelmiä tasaisesti ympyrän muotoiselle alueelle siten, että lasihelmet täyttävät täysin pinnan kiviaineksen rakeiden väliin jäävät kolot ja lasihelmikerroksen yläpinta tulee samaan korkeustasoon päällystepinnan rakeiden huippujen kanssa. Levitystyökalua painetaan kädellä alustaa vasten vain sen verran, että levitin koskettaa pintakiviaineksen osasten huippuja ja materiaali levittyy kunnolla.

Lasihelmillä peittyneen ympyrän halkaisija mitataan tasavälein vähintään neljästä kohdasta. Tuloksista lasketaan halkaisijan keskiarvo (PANK-5103).

Saman testaajan tulee mitata kohteen makrokarkeus vähintään neljästä satunnaisesti valitussa mittauskohdassa. Suurissa kohteissa mittauksen määrää lisätään. Yksittäisten karkeusmittaustulosten aritmeettinen keskiarvo on testattavan betonipinnan pintakarkeuden (makrokarkeuden) keskiarvo (PANK-5103).

7.3. Tartuntavetomittaukset

Tartuntavetomittauksia voidaan tehdä sillan kannen betonipinnasta, epoksinpinnasta ja kermipinnasta. Korjattavissa silloissa tartuntavetoja voidaan tehdä myös betonisista reu-
napalkeista ja maatuista.

Tartuntalujuuden mittauksia tehtäessä pintalämpötilan tulee olla välillä +5...+25 °C. Tartuntalujuuteen vaikuttavat eristysolosuhteet ja eristystyömenetelmä. Jos osalla siltakan-
ttaa eristysolosuhteet tai liimausbitumin lämpötilat eivät ole täyttäneet eristysalustalle
asetettavia vaatimuksia, on tällä alueella mahdollisesti odotettavissa tartuntaongelmia. Viitteitä työn laadusta ja siten myös eristyksen tartunnasta antavat silmämääräiset havain-
not eristystyön tekijän materiaalin käsittelystä, työn suorituksesta ja valmiista eristyksestä
(Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus, Tiehallinto, 2009).

Käsin tehtävät kokeet

Irti olevia kohtia voidaan paikallistaa koputtelemalla eristyksen pintaa esim. puu- tai me-
tallitangolla. Täysin irti olevan kohdan erottaa koputusäänen perusteella.

Jos epäillään kermieristyksen tarttuneen heikosti alustaansa, voidaan työmaalla todeta
viiltokokeella käsin repimällä, onko eristys lainkaan kiinni. Menetelmä on kuvattu Infra-
RYL 2006 osa 3:n kohdassa 42310 seuraavasti: Kermiin tehdään mattoveitsellä noin
(30*200) mm² alueelle viillot kermin läpi alustaan. Kunkin (viilletyn) kaistan toista päätä
irrotetaan siten, että siihen pystyy tarttumaan. Kaistan päästä molemmin käsin kiinni pi-
tään vedetään kaista irti alustasta kohtisuoraan siltakannta vastaan. Myös viiltokokeen yh-
teydessä tulee mitata ja esittää tutkimusselostuksessa eristysalustan lämpötila. Sen tulee
olla viiltokokeen aikana välillä +5...+25 °C (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus,
Tiehallinto, 2009).

Heikosti tarttuneen eristyksen tartuntalujuuden suuruudesta saadaan näin vain suuntaa-
antava tulos. Pienillä, kansipinta-alaltaan alle 100 m² silloilla viiltokoe on korvannut tar-
tuntavetolaitteella tehtävän kokeen (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus, Tiehal-
linto, 2009).

Vetolaitteella tehtävät kokeet

Viiltokoetta huomattavasti luotettavamman kuvan eristyksen tartunnasta antaa tartunnanmittauslaitteella tehty vetokoe. Vetolaitteen varusteineen tulee olla mittaustarkoitukseen soveltuva, riittävän tarkka ja sen käyttäjän tulee olla hyvin perehtynyt mittausten tekemiseen ja ko. laitteella tehtävien mittausten tekemiseen. (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus, Tiehallinto, 2009).

Käsi­käyttöiset tartuntavetolaitteet

Vetolaitteista yksinkertaisimmat (ja halvimmat) ovat käsi­käyttöisiä ja ne soveltuvat eristyksen tekijän oman työn laadunohjaukseen. Niillä voidaan todeta tartunnan suuruusluokka. Niiden antama tulos ei kuitenkaan ole riittävän tarkka valmiin eristyksen kelpoiskokeiden tekemiseen. Käsi­käyttöisille laitteille on ominaista, että niissä saadaan aikaan eristystä kuormittava voima kiertämällä käsin kampea tai kuormitusruuvia. Parhaissa käsi­käyttöisissä laitteissa voidaan kuormaa nostaa nykyksittä ja pitää kuormituksen kasvunopeus vakiona. Halvimman luokan käsi­käyttöisillä laitteilla joudutaan kuormitus nostamaan portaittain käden otetta välillä vaihtaen, jolloin kuormituksen kasvunopeus ei ole hallittua. Myös käsi­käyttöisten laitteiden avulla tehtävissä mittauksissa tulee osata vetokokeen tekemiseen oleellisena osana liittyvät valmistelutyöt (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus, Tiehallinto, 2009).

Koneelliset tartuntavetolaitteet

Vetolaite valitaan niiden olosuhteiden ja voimanmittausalueiden mukaan, joissa laitetta tullaan käyttämään. Olosuhdetekijöitä ovat ensisijaisesti pinta- ja pinnoitetyypit, joiden veto- tai tartuntavetolujuutta halutaan tutkia. On otettava huomioon myös, tarvitseeko mittauksia tehdä samalla laitteella pystypinnoilta.

Voimanmittausalueen tulee kattaa sopivasti tutkittaville materiaaleille ominaiset tartuntalujuusalueet. Laitteen maksimivetokyvyn tulee ylittää tutkittavan eristyksen suurin tartuntavoima käytännön mittausolosuhteissa. Toisaalta tarpeettoman suuren maksimivetokyvyn omaavilla laitteilla mittaustarkkuus heikkenee pienillä tartuntavoimilla. On huomattava, että menetelmäkuvaukset säätelevät käytettävän vetolaikan minimikoon, jota pienempää vetolaikkaa ei saa käyttää (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus, Tiehallinto, 2009).

Tartuntavetolaitteen vetolaikat, jotka valitaan tutkittavan eristyskerroksen mukaan:

- kermille pyöreä vetolaikka \varnothing 50 mm tai neliönmuotoiset vetolaikat, sivu 50 tai 44 mm
- massaeristyksille ja ohutkerrospäällysteelle edellä mainittujen lisäksi \varnothing 28 mm vetolaikat
- tiivistysepoksille \varnothing 28 mm tai \varnothing 20 mm vetolaikat (VTT 2651-2001)

Vetokokeen aikana lisätään laitteen vetovoimaa vakionopeudella. Tämä kuormituksen lisäsnopeus vaikuttaa mittaustulokseen ja siksi sen on oltava menetelmäkuvauksen mukainen. Monipuolisimmissa laitteissa tämä nopeus on valittavissa. Voiman tulee kasvaa tasaisesti (nykäyksittä).

Ellei laitteella voida käyttää menetelmäkuvauksen mukaista kuormituksen lisäsnopeutta, se ei kelpaa eristyksen kelpoisuuskokeisiin, koska tartunnalle asetettu laatuvaatimus on sidoksissa määrättyyn kuormitusnopeuteen.

Tartuntavetolaitteelta vaadittava tarkkuus riippuu mittauksen tarkoituksesta. Kelpoisuuskokeissa vaaditaan vähintään ± 2 %:n mittaustarkkuus laskettuna laitteen osoittamasta lukemasta. Parhaille laitteille valmistajat lupaavat ± 1 %:n tarkkuuden. Suurempi tarkkuus antaa luotettavamman tuloksen. Se pienentää myös tulosten hajontaa ja helpottaa siten käytännössä mittausten tekemistä, kun turhilta lisämittauksilta vältytään (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus, Tiehallinto, 2009).

Tartuntavetokokeen menetelmäkuvauksessa on esitetty VTT:n ohjeessa VTT 2651-2001 Vedeneristyksen ja eristysalustan välisen tartuntalujuuden mittaus työmaalla. Tartuntakoe. Epoksiivistyksen ja alustan välinen tartuntalujuus on oltava joka kohdassa vähintään $1,0 \text{ N/mm}^2$ ja keskimäärin $1,5 \text{ N/mm}^2$ (menetelmä SFS-EN 1542) (InfraRYL 2006 osa 3). Kermieristyksen tartuntavetolujuus on riippuvainen eristysalustan pintalämpötilasta, kts. taulukko 8 sivulla 53.



Kuva 11. Tiivistysepoxsin tartuntavetomittaus.
(Kuva: SILKO 1.801 Kannen pintarakenteet,
vedeneristykset 04/11)

8 EPOKSIIN VESITIIVEYDEN MITTAUSPALVELU

8.1. Epoksitiivistyksen vesitiiveydenmittaus

Epoksitiivistyksen vesitiiveys voidaan tutkia joko:

- Matalajännitemenetelmällä (VTT 2654) tai
- Korkeajännitemenetelmällä ("kipinäharavamenetelmä" VTT-S-05050-09).

Molemmilla menetelmillä mitataan epoksin sähköneristyskykyä ts. eristysvastusta. Sähköneristyskyky on heikompi kohdissa, joissa epoksikerros on ohut, huokoinen tai erityisesti, jos siinä on (neulamaisia) reikiä (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus, Tiehallinto, 2009).

8.2. Palvelun sisältö

Sillan kannen epoksin vesitiiveyden mittauspalvelu käsittää tilaajakontaktin ja mahdollisen tarjouksen jättämisen ja sen hyväksymisen jälkeen seuraavat asiat:

- Kohteeseen perehtyminen ja lähtötietojen kerääminen urakoitsijalta, sisältäen työpiirustukset sillan kannesta CAD muodossa, työselostuksen, sillan kannen vesieristysmateriaalitiedot ja määrät.
- Mittauspäivästä sopiminen urakoitsijan aikataulun ja säätilanteen mukaisesti.
- Mittauskäynti kohteessa, sisältäen valmistelutoimenpiteet ja mittaukset sekä mittauspöytäkirjan laatiminen. Alustavia mittauksia on mahdollista ilmoittaa tilaajalle jo tässä vaiheessa.
- Jos epätiiviyyskohtia havaittiin mittauksissa, niin jälkimittausten aikataulusta sopiminen tilaajan ja urakoitsijan kanssa.
- Mahdolliset jälkimittaukset paikatusta kohdista kohteessa.
- Tutkimusselostuksen laatiminen valokuvineen ja liitteineen.
- Tutkimusselostuksen toimittaminen tilaajalle.
- Mittauspalvelun laskuttaminen tilaajalta.

8.3. Epoksin vesitiiveyden mittausmenetelmät

8.3.1 Matalajännitemenetelmä

Matalajännitemenetelmällä (VTT 2654) mittaus tehdään 500 V jännitteellä. Suhteellisen alhaisen jännitteen etu on, että se on turvallisempi käyttäjälleen eikä se vaurioita pinnoitetta mittausreikiä lukuun ottamatta. Haittapuolena on mittausten pistekohtaisuus (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus, Tiehallinto, 2009).

Mittaustuloksena saadun eristysvastuksen suuruusluokka kertoo, onko epoksi vesitiivis. Valmis, kauttaaltaan kovettunut epoksi, on riittävän tiivis, jos matalajännitemenetelmässä eristysvastus on vähintään 500 M Ω . Epoksin eristysvastuksen mittaustuloksia kannattaa verrata pelkän betonin eristysvastukseen. Vertailuarvoja voidaan mitata esim. betonisesta reunapalkista. Tällöin molemmilla elektrodeilla kosketetaan betonia. Jos mittauspisteiden väli on noin 30 cm, pelkän betonin sähkövastuksen tyypilliset arvot ovat alle 60 k Ω (eli 0,06 M Ω). Tämä on alle kymmenestuhannesosa tiiviin epoksikerroksen päältä mitatusta tyypillisestä arvosta (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus, Tiehallinto, 2009).



Kuva 12. Tiivistysepoksin eristysvastuksen mittaus matalajännitemenetelmällä VTT 2654. (Kuva: SILKO 1.801 Kannen pintarakenteet, vedeneristykset 04/11).

Tarvittava kalusto

- Sähkövastuksen mittauslaite, jonka mittausalueen tulee ulottua vähintään 2000 M Ω :n ja jonka mittausjännite mittauksen aikana ei saa ylittää 500 V
- 2 piikkimäistä mittauselektrodia johtoineen. Toisen elektrodin on suositeltavaa olla varustettu virtakytkimellä
- Kuparinen levyelektrodi, joka muodostuu neliönmuotoisesta kuparilaatasta (laatan paksuus vähintään 10 mm, neliön sivut 100 mm)
- Imukykyisiä (kapillaarisia) suodatinkankaan palasia (mitat 100 mm x 100 mm)
- Testinestettä. Se valmistetaan tislatususta vedestä, joka tehdään sähköä johtavaksi suolanlisäyksellä (n. 10 g ruokasuolaa NaCl yhteen litraan vettä) ja jonka tunkeutumiskykyä lisätään tavallisen astianpesuaineen avulla
- Tippanokalla varustettu pullo testinesteen annostelua varten
- Porakone ja \varnothing 8 – 10 mm betoniporanteriä (VTT 2654-2001).

Valmistelutyöt ja olosuhdevaatimukset

Epoksin läpi betoniin porataan halkaisijaltaan 8-10 mm reikä. Reikä porataan ainoastaan niin syväksi, että se ulottuu epoksin läpi koko reiän alueella.

Suodatinkangas kastellaan läpimäräksi testinesteellä ja asetetaan noin 30 cm etäisyydelle poratusta reiästä. Suodatinkankaan ja reiän välille jäävää aluetta epoksipinnasta ei saa kastella missään tapauksessa. Kuparilevy asetetaan märän huopapalan päälle. Porareikään tiputetaan vähän testinestettä siten, että neste kastelee porareian betonipinnan imeytymällä betonin pintaan, mutta ei jää lammikoksi porareikään (VTT 2654-2001).

Epoksin pinnalla ei saa olla esim. sateen tai kasteen aiheuttamaa kosteutta, koska kostea, yhtenäinen pinta elektrodien välillä johtaisi sähköä. Sama henkilö ei saa koskettaa samanaikaisesti molempien elektrodien metalliosia. Mittaajalla on oltava riittävät valmiudet mittauksen suoritukseen ja hänen on hallittava käytettävä menetelmä (VTT 2654-2001).

Mittauksen suoritus

Laitteen käyttöohjeessa on laitekohtaiset ohjeet mittauksen suorituksesta. Testinestettä ei saa päästä piikkielektrodeihin tai näyttölaitteeseen korroosiovaurioiden välttämiseksi. Mittausreiät paikataan samasta epoksista ja kvartsihiekasta sekoitetulla massalla. Tavallisia epoksiliimoja ei saa käyttää, koska ne eivät kestä riittävästi kuumuutta (VTT 2654-2001).

Mittaustuloksena saadun eristysvastuksen suuruusluokka kertoo, onko epoksi vesitiivis. Valmis, kauttaaltaan kovettunut epoksi on riittävän tiivis, jos vähintään 95% mittaustuloksista ylittää 500 000 k Ω (=500 M Ω) ja loput tulokset täyttävät vähimmäisvaatimuksen 10 000 k Ω (= 10 M Ω). (Pelkän betonin sähkövastuksen tyypilliset arvot ovat alle 60 k, jos elektrodien välinen etäisyys on 30 cm) (VTT 2654-2001).

8.3.2 Korkeajännitemenetelmä eli ”kipinäharava”

Korkeajännitemenetelmää voidaan käyttää betonin päälle nestemäisenä levitetyn, sähköä johtamattoman vedeneristyksen tai tiivistysepoksi vesitiiveyden mittaukseen.

Korkeajännitemenetelmässä haetaan mittauslaitteen jännitettä säätämällä kohdat, joissa jännite riittää läpäisemään pinnoitteen. Tämä ns. läpilyöntijännite riippuu pinnoitemateriaalista, pinnoitteen paksuudesta, huokoisuudesta ja eheydestä. Menetelmän etuna on, että sillä saadaan kattava kuva koko siltakannesta. Menetelmän riski on, että liian korkean jännitteen käyttö voi vaurioittaa pinnoitetta. Korkea jännite sisältää turvallisuusriskejä käyttäjälleen ja mittauksessa syntyvät kipinät voivat aiheuttaa paloturvallisuusriskejä (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus, Tiehallinto, 2009).

Mittaustuloksena saadaan paikallistettua kohdat, joista sähkövirta kulkee pinnoitteen läpi alhaisimmalla jännitteellä. Korkeajännitemenetelmällä mitatulle epoksitiivistyksen läpilyöntijännitteelle ei ole asetettu minimivaatimusta. Näiden kohtien vaatimustenmukaisuus voidaan todeta tekemällä niissä matalajännitemenetelmän mukaisia eristysvastusmittauksia (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus, Tiehallinto, 2009).

Nestemäisenä levitettävän eristyksen paksuus voidaan tutkia joko

- irrottamalla eristyksestä kolikon kokoisia näytteitä ja mittaamalla niiden paksuus työntötulkilla
- korkeajännitemenetelmällä ("kipinäharavamenetelmä" VTT-S-05050-09)

(Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus, Tiehallinto, 2009).

Näitä menetelmiä voidaan käyttää yhdessä siten, että ensin haetaan korkeajännitemenetelmällä nestemäisenä levitetystä eristyksestä ne kohdat, joissa läpilyöntijännite on alhaisin ja irrottamalla näytepaloja näistä kohdista alkaen. Korkeajännitemenetelmä ilmaisee pinnoitteen heikoimmat kohdat. Jos heikoimmat kohdat täyttävät paksuusvaatimuksen eikä niissä todeta huokoisuutta eristys täyttää paksuusvaatimuksen myös näissä kohdissa. Erityisen alhainen läpilyöntijännite voi johtua joko pinnoitepaksuuden alituksesta, huokoisuudesta tai reiästä (Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus, Tiehallinto, 2009).



Kuva 13. Periaatekuva korkeajännitemenetelmällä mittaamisesta.
(Kuva: www.pinteco.fi, © YTM-Industrial Oy / Pinteco).

Tarvittava kalusto

- Sähkövastuksen mittauslaite, jonka mittausjännite on säädettävissä välille 1 – 20 kV.
- Maadoituskaapeli, jolla voidaan yhdistää mittauslaite siltakanteen tai sen kanssa hyvin sähköä johtavassa yhteydessä olevaan rakenneosaan
- Mittalaitteeseen kytketty mittausanturi, jossa on metalliharjaksia ja varsi.

Mittausanturiksi valitaan 0,5-0,6 m levyinen anturi, koska 1 m anturilla jää kallistuksissa helposti katvealueita (RATEKON kurssi 26.3.2013).

Valmistelutyöt ja olosuhdevaatimukset

Yleensä korkeajännitemenetelmällä tehdään koko siltakannen kattava pinnoitteen läpilyöntijännitteen mittaus, ellei muuta sovita (VTT-S-05050-09).

Erittäin suurissa kohteissa voidaan erikseen sovittaessa kohdistaa mittaukset ulkonäöltään erilaisilta näyttäville alueilla siltakannella. Mittauskohdat valitaan siten, että mittauksella saadaan riittävä käsitys siltakannen nestemäisenä levitetyn eristyksen tai epoksitiivistyksen vesitiiviyydestä. Erityisesti mittauksia tehdään kohdista, joissa pinnoite näyttää silmämääräisesti ohuemmalta kuin muualla (VTT-S-05050-09).

Sillan kannen epoksipinnan tulee olla puhdas ja kuiva. Sateen jälkeen mittauksia ei voida tehdä vaan sillan kannen epoksipinnan on annettava kuivua ensin. Myöskään sateen aikana mittauksia ei voida tehdä jo pelkästään työturvallisuuden takia. Nykyisin siltatyömailla käytetyt sääsuojat ovat poistaneet tämän ongelman. Korkeajännitemenetelmää varten tehdään aluksi mittausjännitteen valinta. Se voidaan tehdä kahdella tavalla VTT:S-05050-09 mukaan:

Mittauksen suoritus

A. Mittausjännitteen valinta kalibrointikoealueen avulla

Koealue voidaan tehdä sellaiseen kohtaan sillan kannella, jossa se vähiten haittaa työmaan toimintaa.

Koealueen epoksitiivistyksen eristysalustan ja eristysolosuhteiden tulee täyttää samat vaatimukset kuin eristysalustalle ja eristysolosuhteille on asetettu InfraRYL osassa 3 epoksitiivistyksen levityksen ja lujittumisen aikana. Siltakannelta valitaan koealue, jonka pinta-ala on vähintään 1-2 m². Koealueen epoksissa ei saa olla neulamaisia reikiä tai puolipallon muotoisia kuoppia eikä poikkeavan suurta huokoisuutta (VTT-S-05050-09).

Koealueelle levitetään tiivistysepoksi kahtena kerroksena:

Ensimmäinen kerros ja tartuntasirote levitetään InfraRYL osan 3 levitysmenekin mukaan. Toinen epoksikerros levitetään esim. telalla siten, että koealueelle muodostuu pinnoitekerros, joka paksunee kiilamaisesti.

Kiilamaisen paksuuden muutoksen avulla pyritään koealueelta paikallistamaan matalajännitemenetelmän VTT 2654 avulla kalibrointikohta, jonka eristysvastus on vaihteluvälillä 500 – 1000 M Ω (VTT-S-05050-09).

Epoksin viskositeetti vaikuttaa siihen, pystytäänkö epoksista tekemään kiilamaisesti paksuneva koealue. Viskositeetti vaihtelee epoksikohtaisesti ja riippuu myös epoksin lämpötilasta. Jos kiilamaisesti paksunevaa koealuetta ei pystytä tekemään epoksituotteen itsetasaavan ominaisuuden vuoksi, valitaan mittausjännite menetelmällä B (VTT-S-05050-09).

Kalibrointikohta merkitään koealueen epoksipintaan (esim. tussilla) ja sen sijainti kirjataan mittauspöytäkirjaan (kalibrointikohdan sijainti ilmoitetaan reunapalkista mitatun kohtisuoran etäisyyden ja liikuntasaumasta mitatun etäisyyden avulla).

Korkeajännitemenetelmällä määritetään kipinäharavan läpilyöntivastus kalibrointikohdassa. Kalibroinnissa on suositeltavaa käyttää kapeaa harjamaista kipinäanturia (VTT-S-05050-09) (VTT-S-05050-09).

Jos matalajännitemenetelmällä mitattu eristysvastus oli kalibrointikohdassa välillä 500-800 M Ω , valitaan korkeajännitemenetelmässä käytettäväksi kipinäharavan mittausjännitteeksi kalibrointikohdassa todettu läpilyöntijännite (VTT-S-05050-09).

Jos kalibrointikohdassa eristysvastus on välillä 801-1000 M Ω matalajännitemenetelmällä mitattuna, valitaan korkeajännitemenetelmässä käytettäväksi kipinäharavan mittausjännitteeksi kalibrointikohdassa todettu korkeajännitemenetelmän mukainen läpilyöntijännite, josta on ensin vähennetty 200-300 V (VTT-S-05050-09).

Jos koealueen joka kohdassa matalajännitemenetelmällä mitattu eristysvastus on suurempi kuin 1000 M Ω , kalibrointia ei voida suorittaa tällä koealueella menetelmän A mukaisesti. Tällöin kalibrointi suoritetaan menetelmän B perusteella (VTT-S-05050-09).

B. Mittausjännitteen valinta ilman koealuetta

Mittausjännite voidaan valita vaihtoehtoisesti myös ilman erillistä koealuetta siten, että Epoksitiivistyksen asentamisen ja riittävän lujittumisen jälkeen valitaan silmämääräisen tarkastuksen perusteella valmiista pinnasta esim. värierojen tai läpikuultavuuden perusteella kohtia, joiden välillä on todennäköisiä paksuuseroja (VTT-S-05050-09).

Mitataan ulkonäköerojen perusteella valituissa siltakannen kohdissa matalajännitemenetelmän VTT 2654 mukainen eristysvastus, kunnes löydetään kohta, jonka eristysvastus on vaihteluvälillä 500-1000 M Ω . Tämä kohta valitaan kipinäharavan mittausjännitteen kalibrointikohdaksi (VTT-S-05050-09).

Jos matalajännitemenetelmän mukainen eristysvastus ohuimmalta näyttävästä kohdasta on huomattavasti yli 1000 M Ω , haetaan tämän kohdan läheisyydestä silmin havaittava epoksin reikä. Mitataan ilmavälin läpilyöntijännite kipinäharavalla tämän epoksissa olevan reiän kohdalta. Valitaan tämä läpilyöntijännite epoksin mittausjännitteeksi tällä sillalla. HUOM. Läpilyöntijännite reiän kohdalla on tyypillisesti välillä 2-3 kV. Korkeajännitemittaus tehdään aina kuivasta kohdasta (VTT-S-05050-09).

Jos matalajännitemenetelmän mukainen eristysvastus ohuimmalta näyttävästä kohdasta on huomattavasti yli 2000 M Ω eikä silmin havaittavia reikiä löydy, mitataan tämän kohdan läpilyöntijännite korkeajännitemenetelmällä. Läpilyöntijännitteestä vähennetään tämän jälkeen 1 kV ja valitaan näin saatu arvo kipinäharavan mittausjännitteeksi (VTT-S-05050-09).

(Menettely B voidaan joutua valitsemaan myös niissä tapauksissa, että ensin tehdyttä Menettelyn A mukaiselta koealueelta ei ole voitu paikallistaa matalajännitemenetelmän avulla sopivaa eristysvastuksen vaihteluväliä, jonka perusteella olisi voitu valita korkeajännitemenetelmän mittausjännite) (VTT-S-05050-09).

Auringon UV-säteily vaikuttaa suojaamattomaan epoksitiivistykseen ja voi muuttaa epoksin sähkönjohtavuutta. Jos samalla sillalla tehdään useana eri päivinä epoksin tiiviysmittauksia, on uuden mittauspäivän alussa suositeltavaa tarkastaa mittauksin, ovatko epoksin mittausjännitteen kalibrointi-arvot muuttuneet ja tarvittaessa uusita kalibrointi. (VTT-S-05050-09).

Kalibrointi on tehtävä jokaiselle mittauskohteelle erikseen, koska eri epoksilaaduilla on erilaiset sähkövastusominaisuudet. Lisäksi kokemukseräisesti on havaittu, että pitempään suojaamattomana olleen epoksitiivistyksen sähkövastus on pienentynyt. Tällä tavalla haettua läpilyöntijännitteen arvoa voidaan käyttää mittalaitteessa myös seuraavana päivänä, kun mitataan paikattuja kohtia uudelleen. Jos mittauksista kuluu useampi päivä, suositellaan säätämään uudelleen kyseinen läpilyöntijännitteen arvo mittalaitteeseen kalibrointimenettelyä käyttäen (RATEKON kurssi, HAMK, 26.3.2013).

Mittaaminen korkeajännitemenetelmällä

Mittalaitteen läpilyöntijännite on syytä kääntää aina ensin nolnaan, ettei vahingossa mitata liian suurella säädöllä. Laitte maadoitetaan maadoitusjohdolla sillan betonikanteen. Maadoitusjohtoa on välillä siirrettävä tarpeen mukaan. Maadoitusjohtoa on välillä katsottava, ettei ole irronnut kiinnityksestään.

Maadoituskohta voi olla sillan teräskaide (yhteys betonikanteen varmistettava) tai kanteen ammuttu (esim. Hilti) naula. Saumojen kohdalla on varmistettava, että mittausanturi ja maadoitusjohto ovat samalla puolella saamaa (VTT-S-05050-09).

Mittausten aikana tehdään myös silmämääräisiä havaintoja huonoista epoksin pinnan kohdista. Korkeajännitemenetelmällä havaitut läpilyöntikohdat haetaan lähestymällä harava-anturilla kyseistä kohtaa kahdesta risteävästä suunnasta, jolloin sijainti saadaan paikannettua tarkasti. Läpilyöntikohdan sijainti merkitään liukenemattomalla tussilla epoksin pintaan. Silminnähten heikot kohdat epoksin pinnassa, kuten huokokset, puutteellisesti käsitellyt tai epäilyttävän näköiset kohdat, merkitään tussilla vaikka korkeajännitemenetelmällä ei läpilyöntiä olisi tapahtunutkaan eli jos epäillään siitä huolimatta heikkoa kohtaa epoksitiivistyksessä. Kuljettu harava-anturin kaista on syytä merkitä välillä kanteen tussilla, että varmistetaan koko kannen epoksialueen mittaus. Kokemukseräisesti yhdessä tunnissa pystyy mittaamaan n. 200 m² sillan kantaa. Korkeajännitemenetelmän läpilyöntikohdat ja silminnähten heikot kohdat paikataan sillalla käytetyn epoksin ja kvartsihiekan sekoituksella siltakannen betonin laskevan lämpötilan aikana. Paikatut kohdat mitataan uudestaan esim. seuraavana päivänä. Läpilyöntijännitteenä voidaan käyttää tällöin samaa säätöarvoa. Jos mittauksien välissä on useampia päiviä, esimerkiksi vesisateiden takia, täytyy läpilyöntijännitteen arvo hakea kuitenkin uudelleen kalibrointimenettelyä käyttäen (RATEKON kurssi, HAMK, 26.3.2013).

8.3.3 Vesitiiveyden mittauksen virhetekijöitä

Virhetekijöitä ovat:

- pinnan kosteus
- virheellinen kalibrointi
- mittauksessa jäävät katvealueet
- epätiiviyiskohtien merkintä

Epoksin vesitiiveyden mittaukseen tarvittavien mittalaitteiden käyttö vaatii käyttäjältään kokemusta ja asiaankuuluvaa perehtyneisyyttä. Kipinäharavan eli korkeajännitemenetelmän mittalaitteen käyttöön liittyy tiettyjä riskejä. Jos läpilyöntijännite on säädetty liian suureksi, epoksiin palaa läpi reikiä ja epoksi rikkoutuu. Jos läpilyöntijännite on säädetty liian pieneksi, mittalaitteella ei havaita epoksissa olevia huokosia. Tämän takia tehdään mittalaitteen kalibrointi luvussa 9.3.2 esitetyillä tavoilla. Nykyaikaisissa mittalaitteissa on sisäänrakennettuna automatiikka, joka estää epoksipinnan reikiintymisen.

Menetelmän käyttäjän tulee pitää huoli siitä, että käyttää turvallista ja terveydelle haitatonta mittaustapaa ja selvittää menetelmän käytön rajoitukset ennen sen käyttöä. Korkea mittaussjännite ja kipinäointi edellyttävät erityistä varovaisuutta työmaan paloturvallisuudessa. Henkilö, jolla on sydämentahdistin tai sydänvika, ei saa käyttää laitetta jolla mitataan korkeajännitemenetelmällä (VTT-S-05050-09).

Sateisena päivänä ja epoksipinnan ollessa kostea, ei mittauksia saa tehdä. Liian leveällä mittausturilla voi jäädä katvealueita esimerkiksi kallistuksissa. Suositus mittausturin leveydeksi on 0,5 – 0,6 m. Läpilyöntijännitteen kalibrointi voidaan tehdä kapealla ns. ”pullasuti” anturilla (RATEKON kurssi, HAMK, 26.3.2013).

Mittaukset on tehtävä koko siltakannen epoksin alueelta. Tällöin on tärkeää merkitä jo mitattu alue, esimerkiksi tussimerkinnöin epoksin pintaan. Merkitään esim. mitattu harjanleveys kaistana epoksin pintaan. Näin varmistetaan, että koko pinta tulee mitattua eikä mitataan samaa kohtaa useampaan kertaan. Mittalaitteen maadoitusjohto on oltava kiinni ja yhteydessä mitattavaan betonikanteen. Maadoitusjohtoa on tarpeen mukaan siirrettävä uuteen maadoituspisteeseen ja sen kiinnitys on välillä tarkastettava. Maadoitusjohdon kunto on säännöllisesti tarkastettava, samoin mittalaitteen anturien johdot ja liittimet (RATEKON kurssi, HAMK, 26.3.2013).

8.4. Epoksitiivistyksen vesitiiveyden mittauksen tutkimusselostus

Mittauksen tilaajalle toimitetaan kirjallinen tutkimusselostus liitteineen.

Tutkimusselostuksessa on esitetty työn tilaajan ja mittaajan yhteystietojen ja sillan kohdetietojen lisäksi lomaketietona ja sillan kansipiirustukseen merkittynä epoksitiivistyksen epätiiviyshkohdat. Myös valokuvat epätiiviyshkohdista tai muutama niistä valokuvattuna voidaan liittää tutkimusselostukseen (VTT-S-05050-09).

Tutkimusselostuksessa ilmoitetaan kohdetietoina tien numero, työmaan nimi, sillan nimi, ELY-keskus ja kunta. Mittaajan tietoina ilmoitetaan mittaustyön tilaaja, tilausnumero, tilauspäivämäärä, mittauksen suorittaja ja hänen työnantajansa (VTT-S-05050-09).

Mittaustietoina ilmoitetaan epoksitiivistyksen tai nestemäisenä levitetyn eristyksen levityspäivämäärät, kipinäharavamittauksen päivämäärä, kipinäharavamittauksella tutkitun materiaalin tuotemerkki, kipinäharavamittauksen suorittajan nimi, koemenetelmä (viittaus tämän menetelmän numeroon) ja onko mittaus tehty sääsuojassa (VTT-S-05050-09).

Lisäksi tarkempina mittaustietoina ilmoitetaan korkeajännitemittauksissa käytetyn laitteen merkki ja malli, harjamaisen mittauselektrodin leveys, maadoituselektrodin kiinnitystapa siltakanteen, korkeajännitemenetelmällä mitatun alueen laajuus ja sijainti siltakannella, mittausjännite ja sen valintamenettely, korkeajännitemenetelmän mittausjännite ja valintatapa, kalibrointikohdissa tehdään mittaukset sekä korkeajännitemenetelmän että matalajännitemenetelmän mukaan (VTT-S-05050-09).

Näiden vertailumittausten tulokset raportoidaan esim. liitteenä olevan lomakkeen taulukossa, korkeajännitemittauksessa todetut kipinäharavan läpilyöntikohdat ja niiden sijainti kuvataan esim. kenttälomakkeen kääntöpuolella siltakannesta tehdyn piirroksen avulla. Samalla tavoin raportissa esitetään nestemäisenä levitetyn eristyksen paksuusvaatimuksen alituskohdat ja niiden sijainti siltakannella tai alue, joilla alituksia on havaittu, lisäksi esitetään mahdolliset poikkeamat tämän menetelmäkuvauksen mukaisesta koemenetelystä (VTT-S-05050-09). Mittaamista ja tulosten kirjaamista varten on ainakin alkuvaiheessa hyvä olla kaksi henkilöä. Epätiiviyshkohtien dokumentointia varten esimerkiksi GPS mittaukseen perustuva tallennusmuoto voisi olla kehitettävä vaihtoehto.

Taulukko 10. Esimerkki mittauspöytäkirjasta (VTT-S-05050-09).

Mittauspöytäkirja					Mittauspvm.		Sivu ____
VESITIIVIYSMITTAUS, KORKEAJÄNNITEMENETELMÄ							
ELY-keskus:							
Mittauksen tilaaja:					Tilaus n:o		
Työmaan nimi							
Mittauspaikka: tie n:o, silta, kunta							
Mittauksen suorittaja							
Sillan pinta-ala	m ²			Tutkittavan pinnoituksen levitys pvm			
Tutkitut materiaalit (tuotemerkit)							
Mittausmenetelmän n:o							
Mittauslaite (merkki, malli)				Laite kalibroitu (pvm)			
Maadoituselektrodin kiinnitys							
Mittausjännite kV							
Mittausolosuhteet		Ilman lämpötila [°C]			Ilman suht. kosteus [%RH]		
Huomautuksia							
Mittauskohdan sijainti		Mittaustulos kalibrointikohdissa tai tulosten vaihteluväli vaatimusten alitusalueilla				HUOM. Sarakkeisiin merkitään kalibrointikohdan sijainti ja mittausarvot. Alueet, joilla oli alituksia numeroidaan ja piirretään kuvaan ja merkitään alueen mittaustulosten vaihteluväli	
Kohta tai alue n:o	Pituus-suunta	Leveys-suunta	Korkeajännitemenetelmä	Matalajännitemenetelmä (tiivistysepoksi)	Nestem. levit. eristyksen kerrospaksuus		
	m	m	kV	MΩ	mm		

Lomakkeen kääntöpuolelle piirretään kuva siitakannesta ylhäältä päin. Kuvaan merkitään likimääräisesti alueet, joilla tiivistysepokikerroksen vesitiiviyys tai nestemäisenä levitetyn eristyksen kerrospaksuus alittavat vaatimuservot. Alueet numeroidaan ja kuvaan merkitään alittavien arvojen vaihteluväli kullakin alueella. Lisäksi kuvaan merkitään korkeajännitemenetelmän kalibrointikohdan tarkka sijainti ja, mihin (esim. kaupunkiin tai muuhun taajamaan) sillan päistä jatkuvat tielinjat johtavat.

8.5. Markkinointi

Sillan kannen epoksin vesitiiveydenmittausta voitaisiin markkinoida erilaisia markkinointikanavia pitkin. Tärkein kanava on suoraan urakoitsijoille markkinoiminen eli soitokierros asioista päättävälle henkilölle sekä kirjallisen tai sähköisen mainoksen lähettäminen. Myös muita markkinointikanavia voidaan käyttää eli mainostaminen infra-alan verkkosivuilla sekä säännöllisesti ilmestyvissä lehdissä ja muissa julkaisuissa. Valtakunnalliset ja paikalliset rakennusalan messut ovat myös hyvä vaihtoehto markkinointia varten. Vuosittain järjestettävät Siltatekniikan päivät tarjoavat myös kohtauspaikan alan asiantuntijoille. Pohtia voisi myös kannattaisiko TAMK:n rakennuslaboratoriossa järjestää iltapäivä alan urakoitsijoille, jossa esiteltäisiin mittauspalveluja, mittausmenetelmiä ja –laitteita.

9 POHDINTA

9.1. Mittauspalvelun toimintaedellytykset

Mittauslaitteiston puolella tarjontaa ja vaihtoehtoja ei juurikaan ole ainakaan korkeajännitemenetelmällä tehtävään mittaukseen. Toisaalta mittalaitteiden hankintahinta ei varmaankaan ole kynnyksikysymys, varsinkaan jos samoja laitteita voisi käyttää opetuksessa ja laboratoriotyössä. Mittalaitteiden kalibrointia varten kannattaisi selvittää sähkölaboratorion mahdollisuudet niiden tekemiseen. Laitteiden käyttäminen vaikuttaa tämän hetkisen kokemuksen perusteella olevan helposti omaksuttavissa, mittaaminen vaatii kuitenkin ne ensimmäiset harjoituskohteet jotta tietynlaiset rutiinit tulevat selviksi. Erityisesti jännitteen säätäminen sopivaksi korkeajännitemenetelmässä vaatii useamman harjoittelukerran. Mittausten peruseriaatteet on mahdollista omaksua Siltojen ja muiden liikennöityjen alueiden vedeneristystöiden valvojan ja työnjohtajan koulutuksessa, jonka RATEKO vuosittain järjestää.

9.2. Mittauksen kannattavuus

Mittauspalveluna epoksin vesitiiveyden mittaus voisi olla hyvä lisäys nykyiseen palvelutarjontaan. Kohteiden määrä on kuitenkin Pirkanmaan alueella rajallinen. Mittauskohteita voisivat olla korjattavat sillat uusien siltojen lisäksi. Myös pihakansista, sekä uusista että vanhoista korjattavista, voisi löytyä kohteita. Mittaukset olisivat ympäri maata ja se edellyttää matkustusvalmiutta. Se on lisäkustannus tilaajalle, koska matkakulut ja päivärahat on laskettava mukaan palvelun hintaan.

9.3. Mittauksen kriittiset tekijät ja haasteet

Epoksin vesitiiveydenmittauksen kriittisimpänä tekijänä voidaan pitää työmaan aikataulua. Työmaalla on varauduttava paikkaustoimenpiteisiin epoksitiivistyksen osalta, mikäli epätiiviyiskohtia mittausten perusteella havaitaan. Epoksin paikkaaminen ja niiden uudelleenmittaukset aiheuttavat aikatauluviiveitä, mikäli niitä havaitaan paljon ja niihin ei olla varauduttu työmaan aikataulussa. Epoksityön tekijänä voi olla eri urakoitsija. Haasteita aiheuttavat edelleen aikataulukysymykset sekä mittausten raportointi tilaajalle mahdollisimman selkeästi, mutta kuitenkin nopealla tavalla. Mittaustulosten automatisoinnissa raporttia varten on kehittämismahdollisuuksia. Harjoittelijoiden käyttö työvoimana avustavissa ja raportointityössä on mahdollista.

9.4. Mittauksen kilpailuetu

Epoksin vesitiiveyden mittauksen kilpailuetuna voidaan ehkä pitää sitä, että siltojen kansien laadunvalvontamittauksista on jo aikaisempaa kokemusta eri toimijoiden kesken lähinnä tartuntavetojen osalta. Mittauspalveluja voidaan tarjota useampaan työvaiheeseen samalta tekijältä. Kosteusmittauksiin on olemassa jo palvelu punnitus-kuivausnäytteiden osalta. Työn tekijällä on kokemusta alalta 15 vuoden ajalta, jolloin asiakaskontakteihin, mitausten tekemiseen ja työn tulosten raportointiin on tullut rutiinia. Lisäksi kilpailuetuna voidaan pitää oppilaitoksen statusta, jolloin voidaan tarjota aidosti puolueetonta mittauspalvelua. Opettajakunnan ammattitaitoa ja näkemystä varmastikin voi ja kannattaa hyödyntää.

10 LÄHTEET

- /1./ Siltojen korjaus, SILKO 1.801, Kannen pintarakenteet, vedeneristykset, yleiset laatuvaatimukset 04/11, Helsinki 2011
- /2./ Tiesillat 1.1.2010, Liikenneviraston tiesillaston rakenne, palvelutaso ja kunto, 3/2010 Liikenneviraston tilastoja, Liikennevirasto, Helsinki 2010
- /3./ Siltojen ylläpito, Toimintalinjat, Tiehallinto, Helsinki 2009
- /4./ Sillantarkastuskäsikirja, Liikenneviraston ohjeita 26/2013, Liikennevirasto, Helsinki 2013
- /5./ Siltojen korjaus, SILKO 1.201, Betonirakenteet, betoni sillankorjausmateriaalina, yleiset laatuvaatimukset 11/07, Helsinki 2007
- /6./ Siltojen korjaus, SILKO 1.601, Kuivatuslaitteet, sillan ja siltapaikan kuivatus, 11/99, Helsinki 1999
- /7./ Sillanrakennus oppimateriaali, Jorma Kylliäinen, TAMK.
- /8./ Liikenneviraston ohjeita 24/2014, Eurokoodin soveltamisohje, Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI (5.9.2014)
- /9./ Siltojen korjaus, SILKO 1.802, Kannen pintarakenteet, päällysteet, yleiset laatuvaatimukset 02/2014, Kuopio 2014
- /10./ Sillantarkastusohje, Tiehallinto, Helsinki 2004
- /11./ RATEKO-koulutus, epoksitiivistys siltakansilla, Jorma Sikstus, Sto Finexter Oy
- /12./ Siltojen korjaus, SILKO 1.101, yleisohjeet, ohjeiston tarkoitus, käyttö ja tilaaminen, yleiset laatuvaatimukset 12/02
- /13./ www.rts.fi, haettu 11.9.2015
- /14./ InfraRYL 2006, Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, osa 3, sillat ja rakennustekniset osat, Rakennustieto Oy, Hämeenlinna 2008
- /15./ www.rakennusteollisuus.fi, haettu 15.11.2014
- /16./ Siltojen ja muiden liikennöityjen alueiden vedeneristystöiden valvojan ja työnohtajan koulutus 25. ja 26.3.2013, RATEKO kurssiohjelma 25.-27.11.2014
- /17./ Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus, Toteuttamisvaiheen ohjaus, Tiehallinto, Helsinki 2009
- /18./ VTT 2650-2013, Betonisen siltakannen absoluuttisen kosteuden mittaus. Kuivatuspunnitusmenetelmä. Muutettu 6.6.2013
- /19./ PANK-5103, Päällysteen pintaominaisuudet, makrokarkeus, lasihelmimenetelmä, hyväksytty 30.01.1997

- /20./ VTT 2654-2001, Betonisen siltakannen tiivistysepoxsin vesitiiveyden mittaus. Matalajännitemenetelmä
- /21./ VTT-S-05050-09, Siltakannen nestemäisenä levitetyn vedeneristyksen tai tiivistysepoxsin vesitiiveyden mittaus. Korkeajännitemenetelmä, päivitetty 30.5.2013
- /22./ Videokuvattu materiaali 26.3.2013, RATEKON kurssi, HAMK
- /23./ Siltojen ja muiden liikennöityjen alueiden vedeneristystöiden valvojan ja työnjohtajan koulutus 25. ja 26.3.2013, Hämeenlinna. Luentoaineisto, kehittämispäällikkö Jouko Lämsä, Liikennevirasto, Taitorakenneyksikkö

11 LIITTEET

Liite 1. TAMK raporttimalli



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

RAKENNUSLABORATORIO

SILLAN KANNEN EPOKSIIN VESITIIVIYSMITTAUS

kohde

pvm

raportti pvm

RAKENNUSLABORATORION MITTAUSPALVELU

SILLAN KANNEN EPOKSIIN VESITIIVIYSMITTAUS PVM

Tilaja

Kohde

Tien numero, työmaan nimi, sillan nimi, ELY-keskus, kunta.

Kohteessa suoritettiin sillan kannen epoksin vesitiiviyksmittaukset korkeajännitemenetelmällä (menetelmä VTT-S-05050-09).

Mittalaite kalibroidiin matalajännitemenetelmää (menetelmä VTT 2654-2001) käyttäen. Mittalaitteina olivat matalajännitemenetelmässä Megger MIT 400 ja korkeajännitemenetelmässä Elcometer 266.

Mittauksien suorittaja:

Mittaustiedot

Epoksiivistyksen levityspäivämäärä:

Mittauspäivämäärä:

Epoksin tuotemerkki:

Mittaus on tehty sääsuojassa.

Korkeajännitemenetelmällä mitatun alueen laajuus: m²

Mittausjännite on valittu kalibrointialueen avulla.

Korkeajännitemenetelmän mittausjännite :

Harjamaisen mittauselektrodin leveys 500 mm

Maadoituselektrodi kiinnitetty kaidetolppiin.

Mittausolosuhteet: ilman suhteellinen kosteus RH-%

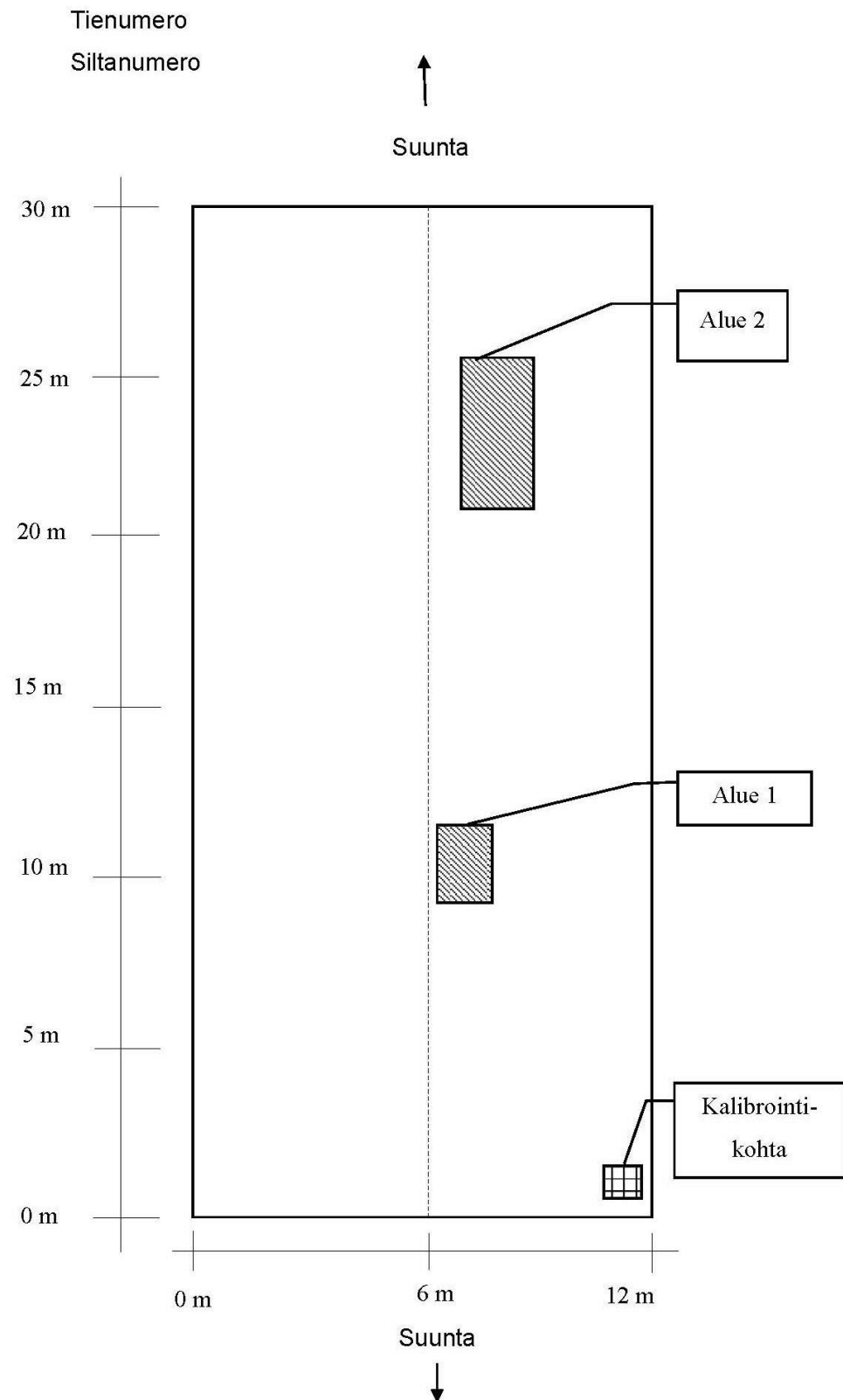
ilman lämpötila °C

Mittaustulokset

Taulukko 1. Mittaustulokset.

Mittauskohdan sijainti				Mittaustulos kalibrointi- kohdassa tai tulosten vaihteluväli vaatimusten alituskohdissa		Huomioita
Alueen mitat				Korkea- jännite- menetelmä: läpilyönti- jännite	Matala- jännite- menetelm ä: eristys- vastus	
Kohta tai alue nro	Pituus- suunta	Leveys- suunta	Pinta- ala			kV
	m	m	m ²	12	500	...
Kalibrointi	1-2	10-12	2	12	500	...
Alue 1	8-12	6-7	4	-,,-	-,,-	Huokosia.
Alue 2	21-25	7-9	8	-,,-	-,,-	Huokosia.

Mittauskohdat ja aluenumerot on merkitty seuraavan sivun kuvaan 1.



Kuva 1. Piirros siltakannesta. Kalibrointikohdan ja alituskohtien sijainnit.

Paikka ja päivämäärä

Allekirjoitus

Allekirjoitus